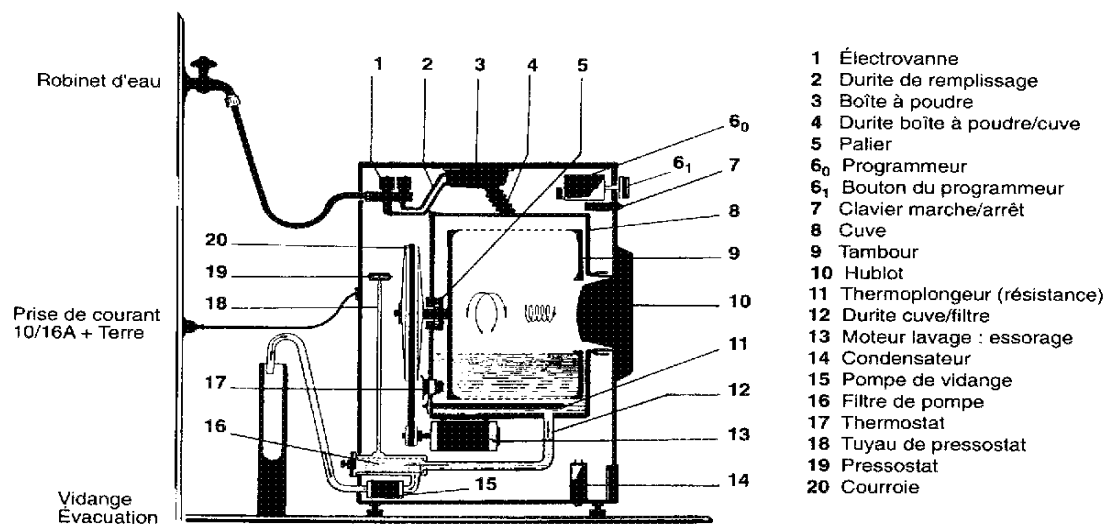


HAMDI HOCINE

AUTOMATISMES LOGIQUES
modélisation et commande

VOLUME 2
exercices corrigés

2^e édition revue et augmentée



Machine à laver à chargement frontal. Principaux éléments (doc. MERENTIER)

Les éditions de l'université Mentouri-Constantine

- AUTOMATISMES LOGIQUES : modélisation et commande -

VOLUME 2 : EXERCICES CORRIGES

- 2° édition revue et augmentée -

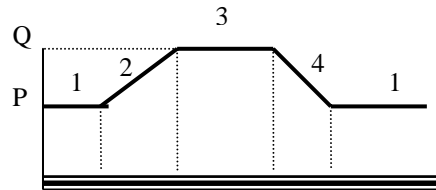
<u>SOMMAIRE</u>	<u>PAGE</u>
PARTIE I: DIMENSIONNEMENT DE VERINS ELECTROPNEUMATIQUES ET UTILISATION DES DISTRIBUTEURS	1
PARTIE II: MODELISATION D'AUTOMATISMES PAR GRAFCET	19
PARTIE III: COMMANDE PAR SEQUENCEURS ELECTRIQUES Annexe: compléments sur le câblage des séquenceurs électriques	66
PARTIE IV: COMMANDE PAR API	82
PARTIE V: MODELISATION D'AUTOMATISMES PAR RDP	98
PARTIE VI: MODELISATION GEOMETRIQUE DE ROBOTS	114
PARTIE VII: COMMANDE DE MACHINES ASYNCHRONES : MODES SEMI-AUTOMATIQUE ET AUTOMATIQUE	138

- PARTIE I -
DIMENSIONNEMENT DE VERINS PNEUMATIQUES
ET UTILISATION DES DISTRIBUTEURS ELECTROPNEUMATIQUES

<u>SOMMAIRE</u>	<u>PAGE</u>
<i>Exercice 1.1</i> : fonctionnement des distributeurs monostables et bistables	1
<i>Exercice 1.2</i> : calcul des paramètres de vérins simple effet et double effet	3
<i>Exercices 1.3 & 1.4</i> : fonctionnement logique de dispositifs à base de cellules et distributeurs pneumatiques	5
<i>Exercices 1.5 & 1.6</i> : dimensionnement de vérins simple et double effet	7
<i>Exercice 1.7</i> : chronogramme d'une installation à base de vérin double tige et distributeurs 3/2	11
<i>Exercice 1.8</i> : dimensionnement de vérins simple et double effet	12
<i>Exercice 1.9</i> : choix de vérins et de leurs distributeurs pour réaliser un cycle cubique	15

Exercice 1.1 (pour le dessin et la schématisation, on utilisera un distributeur à tiroirs)

Un vérin commandé par un électro distributeur doit effectuer un aller-retour complet (extrémités des fins de course P et Q) décomposé en cinq phases, selon le diagramme donné par la figure. Dans chacun des 4 cas exposés au paragraphe III-3 du chapitre 3 (distributeur monostable 3/2, bistable 5/2, monostable 5/2, monostable 5/3), donner le diagramme des phases, c'est à dire donner dans chaque cas les signaux de commande nécessaires sur les bobines (A0, A1), B, C, (D1, D2) pour réaliser dans l'ordre les 5 phases du dessin intitulées 1, 2, 3, 4, 1.

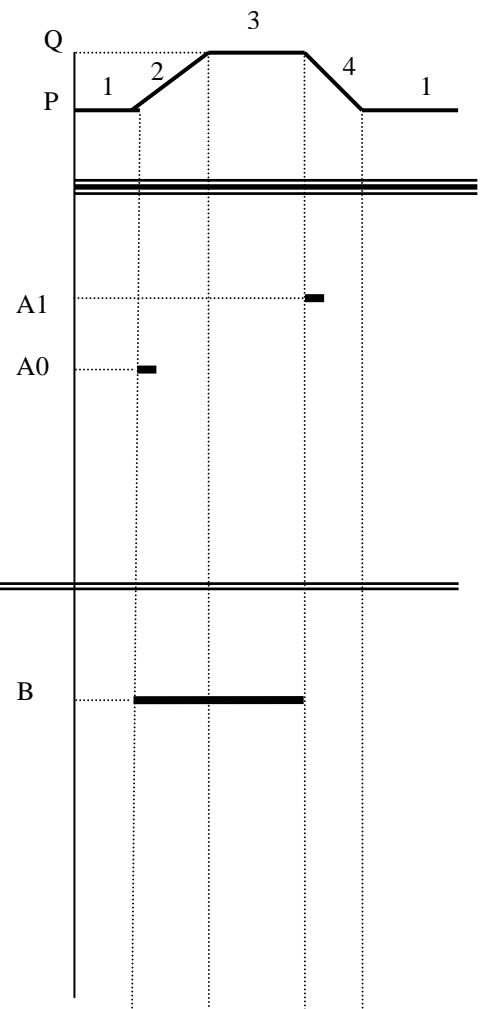
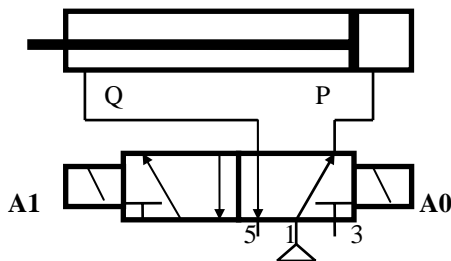


Principe

Diagramme des phases

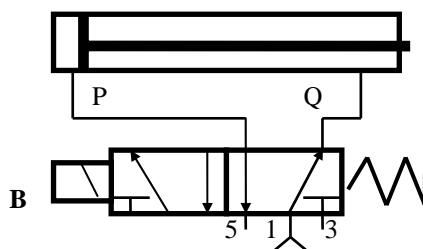
Cas a

- *Vérin double effet.
- *Distributeur 5/2 bistable à 4 voies, à double pilotage, commandé par 2 bobines A0 et A1.
- *Même une impulsion sur A0 provoque le changement d'état du distributeur, et l'enchaînement des étapes 2 et 3.
- *Une simple impulsion sur A1 provoque le retour du vérin aux conditions initiales (passage par les phases 4 puis 1).



Cas b

- *Vérin double effet.
- *Distributeur 5/2 monostable à 4 voies, commandé par une bobine B et un ressort de rappel.
- *Pour le déplacement du vérin, le maintien de B est nécessaire. Dès la suppression de B, le tiroir du distributeur revient à sa position initiale, de même que le vérin.



Principe

Cas c

- *Vérin simple effet et ressort de rappel.
- *Distributeur 3/2, 2voies, commandé par une électrovanne (bobine C) et un ressort de rappel.
- *Même principe de fonctionnement que dans le cas b.

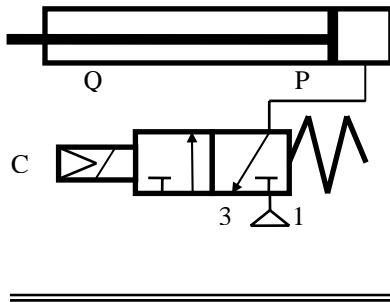
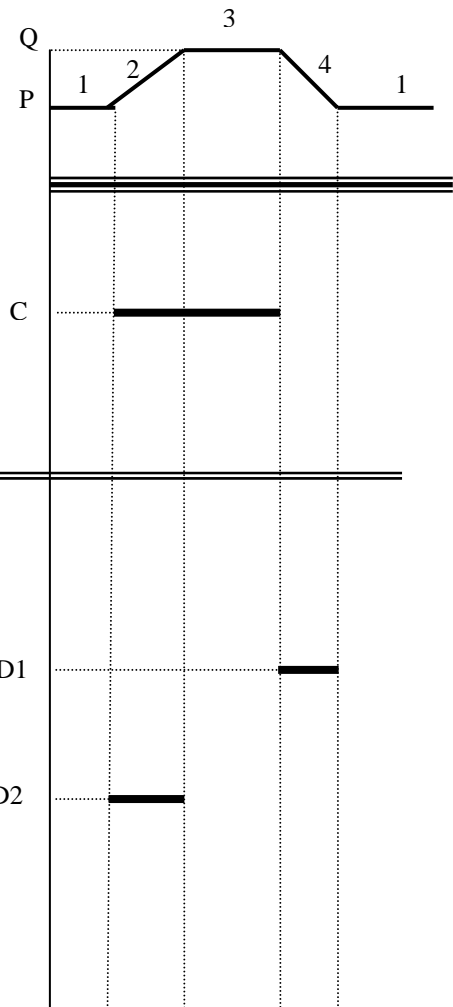
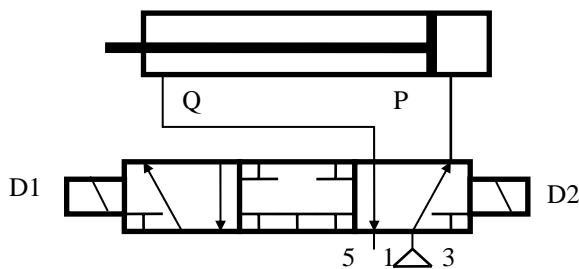


Diagramme des phases



Cas d

- *Vérin double effet.
- *Distributeur 5/3 monostable, 4 voies, avec **point milieu bloqué**; commandé par 2 bobines et deux ressorts de centrage.
- *Dès la disparition du signal de commande, le tiroir du distributeur revient à la position médiane stable, et le vérin commandé reste figé dans la position à laquelle il est arrivé.
- *Le maintien de la commande des bobines pour les phases 3 et 1 est inutile car le point milieu est bloqué.
- *On aurait obtenu exactement le même résultat en remplaçant ce distributeur 5/3 par 2 distributeurs 3/2 monostables, et en rajoutant deux bloqueurs sur le vérin.



Exercice 1.2

Un chariot déplace des pièces entre 2 positions A et B distantes de 1 mètre. Le chariot est poussé par un vérin double effet VD. Il est alimenté en pièces par un vérin simple effet VT. La masse à vide du chariot est de 110kg et celle des pièces est de 70kg.

Le diamètre de la tige du vérin double effet est de 40mm, et la longueur de la tige du vérin simple effet est de 50cm, alors que la force de rappel de son ressort est de 200N. Sachant que la pression de travail est de 3.14 bars, le taux de charge de 0,5, et que les vérins travaillent à une cadence de 1 aller/retour toutes les 6 secondes, calculer:

- 1°) Les diamètres des pistons des vérins simple effet et double effet.
- 2°) Les forces développées par les deux vérins en sortant et en rentrant.
- 3°) Le volume d'air consommé par minute par chaque vérin en sortant et en rentrant.
- 4°) Le volume d'air global consommé par minute.

Diamètre (en mm)	40	65	70	80	100	120	125	140	150
Consommation (en l/cm) (pour pression de travail de 3,14 bars)	0.04	0.1	0.125	0.16	0.24	0.3	0.4	0.5	0.6

Solution**1° -a- Vérin simple effet**

$$F_{utile} = 70 \times 10 = 700N$$

$$F_{théorique} = F_{ut}/T = 700/0.5 = 1400N$$

$$F_{th} = P \times S - F_{ress} = P \times \pi \times D^2 / 4 - F_{ress} \Rightarrow D^2 = 4 (F_{th} + F_{ress}) / P \times \pi$$

$$P = 3.14 \text{ bars} = 0.314 \text{ N/mm}^2$$

$$D^2 = 4 \times 1600 \Rightarrow D = 2 \times 40 = 80 \text{ mm.}$$

-b- Vérin double effet

$$F_{ut} = (110+70) \times 10 = 1800N \Rightarrow F_{th} = F_{ut}/T = 1800/0.5 = 3600N$$

$$F_{th} = P \times S = P \times \pi \times D^2 / 4 \Rightarrow D^2 = 4 F_{th} / P \times \pi = 4 \times 3600 \Rightarrow D = 120 \text{ mm}$$

2° -a- Vérin simple effet

$$\text{en sortant : } F_{th} = 1400 \text{ N}$$

$$\text{en rentrant : } F_{rent} = F_{ress} = 200 \text{ N}$$

-b- Vérin double effet

$$\text{en sortant : } F_{th} = 3600 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{en rentrant : } F_{rent} &= P (S - s) = P \times (\pi \times D^2 / 4 - \pi \times d^2 / 4) = P \times \pi / 4 (D^2 - d^2) \\ &= 1/4 (4 \times 3600 - 1600) = 1/4 \times 4 (3600 - 400) = 3200 \text{ N} \end{aligned}$$

3° -a- Vérin simple effet

$$D = 80\text{mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation } C = 0.16 \text{ l/cm}$$

$$V_{\text{sortie}} = C \times L \text{ (Course)} = 0.16 \text{ l/cm} \times 50 \text{ cm} = 8 \text{ litres.}$$

$V_{\text{rentrée}} = 0$ car vérin simple effet et retour par ressort de rappel.

$$V_{\text{total}} = V_{\text{sort}} + V_{\text{rent}} = 8 \text{ l}$$

Cadence 1 aller/retour en 6 secondes \Rightarrow 10 allers/retours en 1 minute.

$$V_{\text{tot/min}} = 8 \times 10 = 80 \text{ litres.}$$

-b- Vérin double effet

$$D = 120\text{mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation } C = 0.3 \text{ l/cm}$$

$$\phi_{\text{tige}} = 40\text{mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation tige } c = 0.04 \text{ l/cm}$$

1° méthode

$$V_{\text{sort}} = C \times L = 0.3 \times 100 = 30 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tige}} = c \times L = 0.04 \times 100 = 4 \text{ litres}$$

$$V_{\text{rent}} = V_{\text{sort}} - V_{\text{tige}} = 30 \text{ l} - 4 \text{ l} = 26 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{sort}} + V_{\text{rent}} = 30 \text{ l} + 26 \text{ l} = 56 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot/min}} = 56 \times 10 = 560 \text{ litres.}$$

2° méthode

$$C_{\text{sort}} = C = 0.3 \text{ l/cm}$$

$$C_{\text{rent}} = C_{\text{sort}} - C_{\text{tige}} = C - c = 0.3 \text{ l/cm} - 0.04 \text{ l/cm} = 0.26 \text{ l/cm}$$

$$C_{\text{tot}} = C_{\text{sort}} + C_{\text{rent}} = 0.56 \text{ l/cm}$$

$$V_{\text{tot}} = C_{\text{tot}} \times L = 0.56 \times 100 = 56 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot/min}} = 56 \times 10 = 560 \text{ litres.}$$

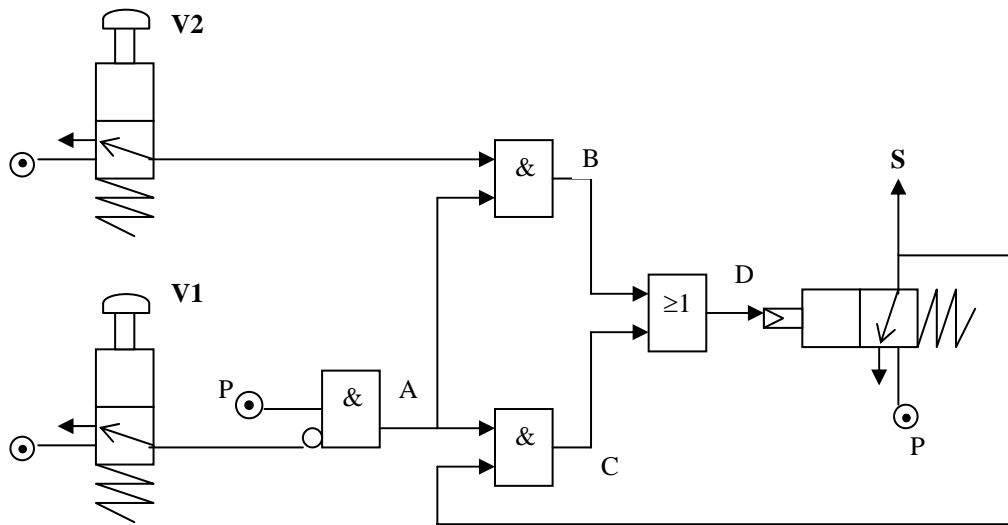
4° Volume global horaire

$$V_{\text{global/min}} = V_{\text{simple effet}} + V_{\text{double effet}} = 80 + 560 = 640 \text{ litres}$$

$$V_{\text{horaire}} = V_{\text{min}} \times 60 = 640 \times 60 = 38400 \text{ litres} = 38.4 \text{ mètres cubes.}$$

Exercice 1.3

Considérons le schéma de câblage indiqué par la figure, et constitué de distributeurs 3/2 et de cellules pneumatiques.



1° Donner l'expression de S en fonction de V1, V2, et P.

2° Remplir la table de vérité en considérant que les ordres V1 et V2 sont donnés dans l'ordre indiqué sur la table.

V1	V2	S
0	0	
0	1	
0	0	
1	0	
0	0	

Solution exercice 1.3

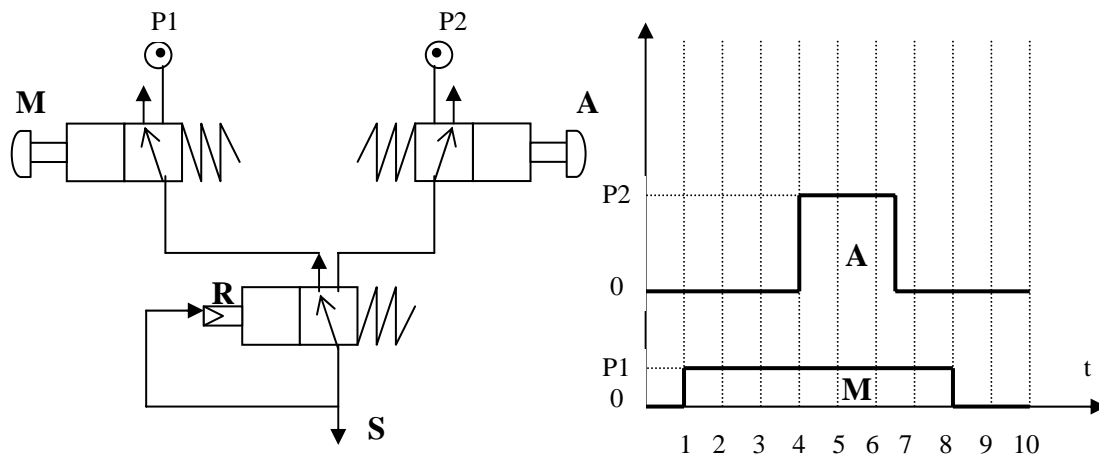
$$\left. \begin{aligned}
 A &= \bar{V1} \\
 B &= V2 \cdot V1 \\
 C &= S(t - \Delta t) \cdot V1
 \end{aligned} \right\} \rightarrow D = B + C = \bar{V1} \cdot (V2 + S(t - \Delta t))$$

$$S = D \cdot p = \bar{V1} \cdot (V2 + S(t - \Delta t)) \cdot p$$

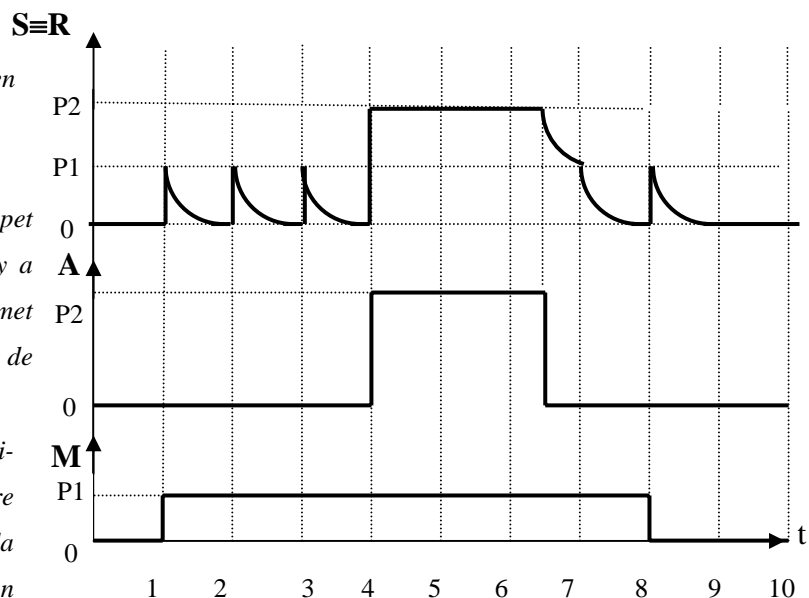
V1	V2	S
0	0	0
0	1	p
0	0	p
1	0	0
0	0	0

Exercice 1.4

Considérons le schéma suivant de câblage de distributeurs. Si on suppose que $P2 > P1$, et que les commandes des distributeurs A, M et R mettent instantanément les clapets en position admission, alors que les ressorts de rappel sont mous et ramènent progressivement les clapets en position échappement, remplir le chronogramme suivant correspondant au diagramme des phases de la sortie S.

**Solution exercice 1.4**

- Si A est activé au moment où le clapet du distributeur de sortie (S) est en position admission \rightarrow immédiatement $S=P2$
- Si A est activé au moment où le clapet est en position échappement \rightarrow il n'y a aucun retard car dans l'énoncé R met instantanément le clapet en position de sortie, donc $M \rightarrow R=I \rightarrow S=P2$
- Si le clapet est entre les deux positions,, càd qu'il est en train d'être ramené par le ressort de rappel de la position admission à la position échappement \rightarrow il y aura un retard \rightarrow S revient d'abord à zéro puis $S=P1$.



Exercice 1.5

On veut déplacer une charge nécessitant une force de 2400 N, à l'aide d'un vérin simple effet, ayant une force de rappel de 100 N, et utilisé sous une pression de 3,14 bars.

1°- Quel doit être le diamètre du piston, si le vérin est utilisé avec un taux de charge de 0.5 ?

2°- Si la course du piston est de 800mm et que sa tige a un diamètre de 40mm, calculer la consommation en l/mn du vérin, pour une cadence de 1 aller-retour toutes les 6 secondes.

3°- Si on utilise à la même pression et dans les mêmes conditions, un vérin double effet ayant les mêmes caractéristiques physiques que le vérin simple effet, calculer

-a- la force théorique exercée par le vérin en rentrant

-b- la consommation en l/mn du vérin

Diamètre (en mm)	40	65	70	80	100	120	125	140	150
Consommation (en l/cm) (pour pression de travail de 3,14 bars)	0.04	0.1	0.125	0.16	0.24	0.3	0.4	0.5	0.6

Solution exercice1.5

-1°-

Futile = 2400N

Fthéorique = Fut/T = 2400/0.5 = 4800N

Fth = PxS – Fress = P x π x D² /4 – Fress => D² = 4 (Fth + Fress) / P x π

P = 3.14 bars = 0.314 N/mm²

D² = 4 x 4900 => D = 2 x 70 = 140 mm.

-2°-

D =140mm, P = 3.14 bars => consommation C = 0.5 l/cm

Vsortie = C x L (Course) = 0.5 l/cm x 80 cm = 40 litres.

Ventrée = 0 car vérin simple effet et retour par ressort de rappel.

Vtotal = Vsort + Vrent = 40 l

Cadence 1 aller/retour en 6 secondes => 10 allers/retours en 1 minute.

Vtot/min = 40 x 10 =400 litres.

-3°-

-a°- en rentrant : Frent = P (S – s) = P x (π x D² /4 - π x d² /4) = P x π /4 (D² - d²)
= 1/4 (4x4900 – 1600) = 1/4 x 4 (4900 - 400) = 4500 N

-b°- D = 140mm, P = 3.14 bars => consommation C = 0.5 l/cm

ϕ tige = 40mm, P = 3.14 bars => consommation tige c = 0.04 l/cm

1^ométhode

$$V_{\text{sort}} = C \times L = 0.5 \times 80 = 40 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tige}} = c \times L = 0.04 \times 80 = 3.2 \text{ litres}$$

$$V_{\text{rent}} = V_{\text{sort}} - V_{\text{tige}} = 40 \text{ l} - 3.2 \text{ l} = 36.8 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{sort}} + V_{\text{rent}} = 40 \text{ l} + 36.8 \text{ l} = 76.8 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot/min}} = 76.8 \times 10 = 768 \text{ litres/min.}$$

2^ométhode

$$C_{\text{sort}} = C = 0.5 \text{ l/cm}$$

$$C_{\text{rent}} = C_{\text{sort}} - C_{\text{tige}} =$$

$$C - c = 0.5 \text{ l/cm} - 0.04 \text{ l/cm} = 0.46 \text{ l/cm}$$

$$C_{\text{tot}} = C_{\text{sort}} + C_{\text{rent}} = 0.96 \text{ l/cm}$$

$$V_{\text{tot}} = C_{\text{tot}} \times L = 0.96 \times 80 = 76.8 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot/min}} = 76.8 \times 10 = 768 \text{ litres.}$$

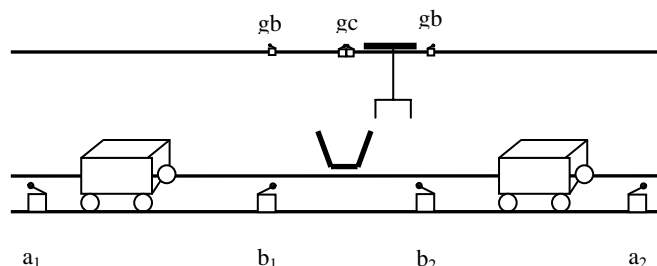
Exercice 1.6: Quai de chargement et de déchargement

On considère 2 chariots C1 et C2 pouvant se déplacer entre 2 postes de travail (a1 et b1 pour C1, a2 et b2 pour C2), repérés par des contacts de fin de course de même nom. Le déplacement des chariots est assuré indépendamment par des vérins double effet, VH1 pour C1 et VH2 pour C2.

Initialement les 2 chariots sont aux postes a1 et a2. Après le démarrage cycle (dcy), les chariots sont chargés par des vérins de transfert simple effet VT1 et VT2. Le chargement des chariots est détecté par des capteurs de poids c1p et c2p. Ensuite ils sont dirigés vers leurs destinations respectives b1 et b2. Leur déchargement est assuré par un système de déchargement unique. C'est donc le premier chariot arrivé qui sera déchargé, avec cependant la priorité au chariot C1. La séquence de déchargement est la suivante pour le chariot C1 :

- mise à un de la mémoire de déchargement (MDG) dont l'état sera détecté par une variable mdg;
- déplacement à gauche de la grue (TGG) jusqu'à l'arrivée en b1 détecté par gb1;
- descente de la grue (DG) dont la position basse est détectée par pb;
- fermeture de la pince (FP) détectée par pf;
- remontée de la grue (MG) dont la position haute est détectée par ph;
- déplacement à droite de la grue (TGD) jusqu'à l'arrivée au centre détectée par gc;
- ouverture de la pince (OP) détectée par po;
- renvoi du chariot vers son poste de départ par commande du vérin VH1- .

Un nouveau cycle peut alors avoir lieu selon le mode de fonctionnement choisi.



Le fonctionnement est symétrique pour les deux chariots. TGG, TGD et gb1 seront respectivement remplacés par TGD, TGG et gb2.

Questions: (pour les questions 2 et 3 voir tableau des consommations donné à l'exercice 1.5)

1°) Si on suppose que la masse du chariot vide est de 105kg et celle des pièces de 75kg, et si l'on travaille à une pression de 3.14 bars, et que le taux de charge des vérins est de 0.5, calculer:

1°a- Les diamètres des pistons des vérins simple effet et double effet, la force de rappel du ressort du vérin simple effet étant de 100N.

1°b-La force développée par le vérin double effet en rentrant, sachant que le diamètre de la tige du vérin double effet est de 40mm.

2°) Donner la consommation par minute pour chaque vérin, ainsi que la consommation globale par minute, sachant que la cadence de travail des vérins est de 1 aller/retour toutes les 6 secondes. La course du vérin simple effet est de 50 cm, et celle du double effet de 100cm.

3°) Si l'on remplace chaque vérin double effet par deux vérins simple effet de même diamètre de piston, placés aux deux postes a et b, calculer la force de rappel que doit avoir chacun des vérins placés au poste a et au poste b. Que peut-on en conclure?

Solution exercice 1.6

-1° -a- -a1- Vérin simple effet

$$F_{\text{utile}} = 75 \times 10 = 750 \text{ N}$$

$$F_{\text{théorique}} = F_{\text{ut}}/T = 750/0.5 = 1500 \text{ N}$$

$$F_{\text{th}} = P \times S - F_{\text{ress}} = P \times \pi \times D^2 / 4 - F_{\text{ress}} \Rightarrow D^2 = 4 (F_{\text{th}} + F_{\text{ress}}) / P \times \pi$$

$$P = 3.14 \text{ bars} = 0.314 \text{ N/mm}^2$$

$$D^2 = 4 \times 1600 \Rightarrow D = 2 \times 40 = 80 \text{ mm.}$$

-a2- Vérin double effet

$$F_{\text{ut}} = (105+75) \times 10 = 1800 \text{ N} \Rightarrow F_{\text{th}} = F_{\text{ut}}/T = 1800/0.5 = 3600 \text{ N}$$

$$F_{\text{th}} \text{ en sortant} = P \times S = P \times \pi \times D^2 / 4 \Rightarrow D^2 = 4 F_{\text{th}} / P \times \pi = 4 \times 3600 \Rightarrow$$

$$D = 120 \text{ mm}$$

-1° -b-

-b1- Vérin simple effet

$$\text{en sortant : } F_{\text{th}} = 1500 \text{ N}$$

$$\text{en rentrant : } F_{\text{rent}} = F_{\text{ress}} = 100 \text{ N}$$

-b2- Vérin double effet

$$\text{en sortant : } F_{\text{th}} = 3600 \text{ N}$$

$$\text{en rentrant : } F_{\text{rent}} = P (S - s) = P \times (\pi \times D^2 / 4 - \pi \times d^2 / 4) = P \times \pi / 4 (D^2 - d^2)$$

$$= 1/4 (4 \times 3600 - 1600) = 1/4 \times 4 (3600 - 400) = 3200 \text{ N}$$

-2°- -a- Vérin simple effet

$$D = 80\text{mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation } C = 0.16 \text{ l/cm}$$

$$V_{\text{sortie}} = C \times L \text{ (Course)} = 0.16 \text{ l/cm} \times 50 \text{ cm} = 8 \text{ litres.}$$

$V_{\text{entrée}} = 0$ car vérin simple effet et retour par ressort de rappel.

$$V_{\text{total}} = V_{\text{sort}} + V_{\text{rent}} = 8 \text{ l}$$

Cadence 1 aller/retour en 6 secondes \Rightarrow 10 allers/retours en 1 minute.

$$V_{\text{tot/min}} = 8 \times 10 = 80 \text{ litres.}$$

-b- Vérin double effet

$$D = 120\text{mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation } C = 0.3 \text{ l/cm}$$

$$\phi_{\text{tige}} = 40\text{mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation tige } c = 0.04 \text{ l/cm}$$

$$V_{\text{sort}} = C \times L = 0.3 \times 100 = 30 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tige}} = c \times L = 0.04 \times 100 = 4 \text{ litres}$$

$$V_{\text{rent}} = V_{\text{sort}} - V_{\text{tige}} = 30 \text{ l} - 4 \text{ l} = 26 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{sort}} + V_{\text{rent}} = 30 \text{ l} + 26 \text{ l} = 56 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot/min}} = 56 \times 10 = 560 \text{ litres.}$$

$$V_{\text{global/min}} = 2 \times V_{\text{simple effet}} + 2 \times V_{\text{double effet}} = 2 (80 + 560) = 1280 \text{ litres}$$

$$V_{\text{horaire}} = V_{\text{min}} \times 60 = 1280 \times 60 = 76800 \text{ litres} = \mathbf{76.8 \text{ mètres cubes} ?!!!}$$

-3°- -a- Vérin placé au poste a

$$F_{\text{ut}} = (105 + 75) \times 10 = 1800 \text{ N} \rightarrow F_{\text{th}} = F_{\text{ut}} / T = 1800 / 0.5 = 3600 \text{ N}$$

$$F_{\text{th}} = P \times S - F_{\text{ress}} \rightarrow F_{\text{ress}} = P \times S - F_{\text{th}} = P \times \pi \times D^2 / 4 - F_{\text{th}} = 0 \text{ N}$$

\rightarrow le ressort n'exerce aucune force \rightarrow la tige du vérin ne reviendra jamais,

si $F_{\text{ress}} \neq 0$ la tige ne sortira jamais car *le diamètre du piston est sous dimensionné*

(car $F_{\text{th}} = P \times S$). Il faudra prendre un diamètre de piston > 120 mm pour vaincre la force de rappel du ressort du vérin.

-b- Vérin placé au poste b

$$F_{\text{ut}} = 105 \times 10 = 1050 \text{ N} \rightarrow F_{\text{th}} = F_{\text{ut}} / T = 1050 / 0.5 = 2100 \text{ N}$$

$$F_{\text{th}} = P \times S - F_{\text{ress}} \rightarrow F_{\text{ress}} = P \times S - F_{\text{th}} = P \times \pi \times D^2 / 4 - F_{\text{th}} \\ = 3600 - 2100 = 1500 \text{ N}$$

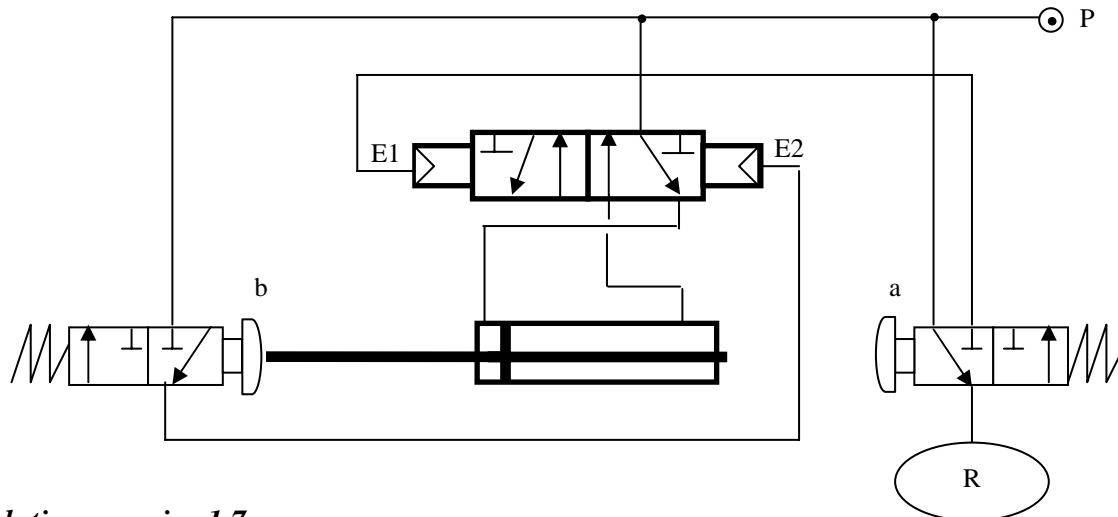
Le ressort est trop fort \rightarrow le piston va revenir trop vite car $P \times S$ est trop grand devant la force théorique.

\rightarrow *le vérin est surdimensionné pour la F_{ut} nécessaire, c'est à dire son diamètre de piston est trop grand.*

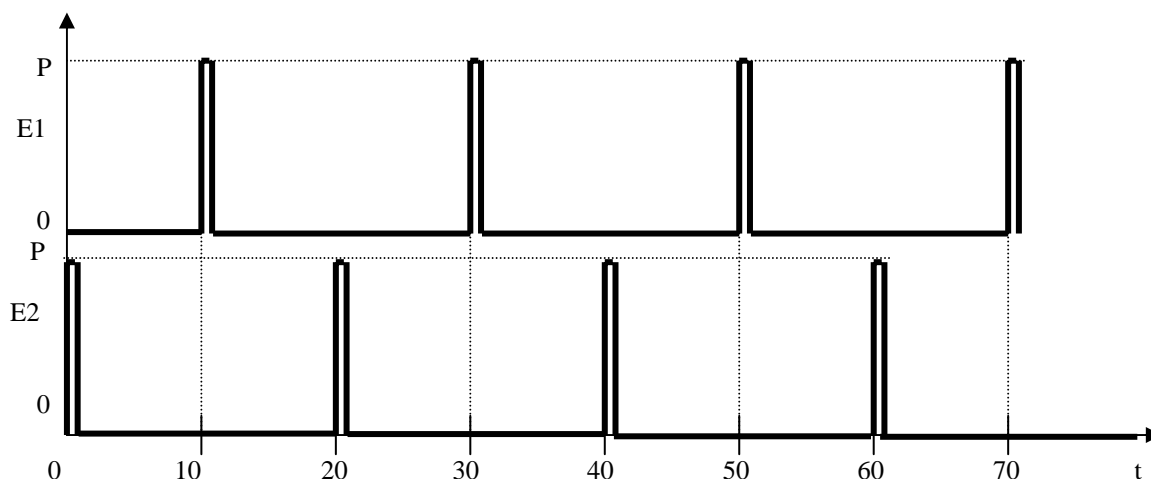
Exercice 1.7

Les distributeurs répondent instantanément. Le vérin double effet double tige met dix secondes pour sortir entièrement la tige, à droite ou à gauche. C'est exactement la durée de remplissage de la cuve R, dont la capacité est suffisante pour alimenter le distributeur 3/2 et commander le distributeur 5/2.

A l'instant $t=0$ on alimente en pression P. Après avoir expliqué en quelques lignes le fonctionnement, donner les expressions de E1 et E2 en fonction du temps.

**Solution exercice 1.7**

Il s'agit d'un système de va et vient: tant que la pression P demeure, le vérin fait un va et vient en permanence. E1 et E2 restent à la valeur P pendant une durée très brève (impulsion) nécessaire pour faire changer d'état au distributeur 5/2, et commander le vérin en sens inverse. A l'instant $t=0$ le vérin appuie sur le distributeur 3/2 "b". Si $b = 1$ logique, donc $E2 = P$, et le distributeur 5/2 bistable (qui n'a besoin que d'une impulsion) change d'état, ce qui a pour effet de commander le vérin en sens inverse. Dès que le vérin commence à se déplacer, il n'appuie plus sur le distributeur 3/2 "b", donc $b = 0$ logique, donc E2 retombe de la valeur P à zéro, mais le vérin continue à être commandé. Au bout de 10 secondes, le vérin est complètement sorti et la tige appuie sur "a", donc $a = 1$ logique, donc E1 = P. Donc le distributeur 5/2 change d'état, ce qui a pour effet de commander le vérin en sens inverse. Dès qu'il commence à sortir, il n'appuie plus sur le distributeur 3/2 "a" donc $a = 0$ logique, donc E1 retombe de la valeur P à zéro. Au bout de 10 secondes, le vérin est complètement sorti, etc... et ainsi de suite indéfiniment tant que la pression P demeure. E1 et E2 changent de valeur toutes les 20 secondes.



Exercice 1.8: dimensionnement de vérins pneumatiques

(voir tableau des consommations donné à l'exercice 1.5)

Dans un atelier de marquage de pièces métalliques, un tampon est monté sur le vérin simple effet "M". Après une action sur un bouton poussoir de mise en marche, le vérin double effet "D" déplace la pièce jusqu'au poste de marquage où le vérin "M" descend pour marquer la pièce (cf figure).

Les pièces ont une masse de 180 kg, la force de rappel du ressort du vérin "M" est de 100 N, et la pression de 3,14 bars. Les deux vérins "M" et "D" possèdent le même diamètre de piston, ont une tige de longueur 500mm et de diamètre 40 mm.

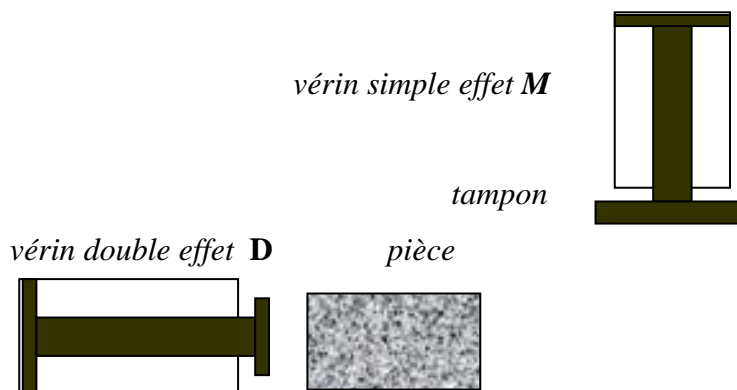
1°) Calculer les diamètres des pistons des vérins s'ils sont utilisés avec un taux de charge de 0.5 ?

2°) Les forces développées par les deux vérins en sortant et en rentrant.

3°) Le volume d'air consommé par minute par chaque vérin en sortant et en rentrant, pour une cadence de 1 aller-retour toutes les 6 secondes.

4°) Si on remplace le vérin double effet simple tige par un vérin de mêmes caractéristiques mais double tige, donner pour ce vérin les nouvelles valeurs des forces et les nouveaux volumes.

N.B: la force de la gravité terrestre est égale à 10 N/kg, et on prendra $\pi^2 = 10$.

**Solution exercice 1.8****1° Calcul des diamètres des pistons**

Pour le vérin double effet on a:

$$F_{ut} = 180 \times 10 = 1800 \text{ N} \Rightarrow F_{th} = F_{ut} / T = 1800 / 0.5 = 3600 \text{ N}$$

$$F_{th} = P \times S = P \times \pi \times D^2 / 4 \Rightarrow D^2 = 4 F_{th} / P \times \pi = 4 \times 3600 \Rightarrow \mathbf{D = 120 \text{ mm}}$$

2° Calcul des forces développées par les vérins**-a- Vérin simple effet**

en rentrant : **Frent = Fress = 100 N**

en sortant : $F_{th} = P \times S - F_{ress} = P \times \pi \times D^2 / 4 - F_{ress}$

$$\Rightarrow D^2 = 4 (F_{th} + F_{ress}) / P \times \pi$$

$P = 3.14 \text{ bars} = 0.314 \text{ N/mm}^2 \rightarrow P \times \pi = 1.$

$D^2 = (120)^2 = 4 \times 3600 = 4 (F_{th} + F_{ress}) \rightarrow F_{th} + F_{ress} = 3600$

$\rightarrow F_{th} = 3600 - F_{ress} = 3600 - 100 = \mathbf{3500 \text{ N}}$

-b- Vérin double effet

en sortant : **Fth = 3600 N**

en rentrant : **Frent = P (S - s) = P x (π x D² / 4 - π x d² / 4) = P x π/4 (D² - d²)**
 $= \frac{1}{4} (4 \times 3600 - 1600) = \frac{1}{4} \times 4 (3600 - 400) = \mathbf{3200 \text{ N}}$

3° Consommation des vérins**-a- Vérin simple effet**

$D = 120 \text{ mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation } C = 0.3 \text{ l/cm}$

$V_{\text{sortie}} = C \times L (\text{Course}) = 0.3 \text{ l/cm} \times 50 \text{ cm} = 15 \text{ litres.}$

$V_{\text{rentrée}} = 0$ car vérin simple effet et retour par ressort de rappel.

$V_{\text{total}} = V_{\text{sort}} + V_{\text{rent}} = 15 \text{ l}$

Cadence 1 aller/retour en 6 secondes \Rightarrow 10 allers/retours en 1 minute.

$V_{\text{tot/min}} = 15 \times 10 = 150 \text{ litres.}$

-b- Vérin double effet

$D = 120 \text{ mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation } C = 0.3 \text{ l/cm}$

$\phi_{\text{tige}} = 40 \text{ mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation tige } c = 0.04 \text{ l/cm}$

1° méthode

$V_{\text{sort}} = C \times L = 0.3 \times 50 = 15 \text{ litres}$

$V_{\text{tige}} = c \times L = 0.04 \times 50 = 2 \text{ litres}$

$V_{\text{rent}} = V_{\text{sort}} - V_{\text{tige}} = 15 \text{ l} - 2 \text{ l} = 13 \text{ litres}$

$V_{\text{tot}} = V_{\text{sort}} + V_{\text{rent}} = 15 \text{ l} + 13 \text{ l} = 28 \text{ litres}$

$V_{\text{tot/min}} = 28 \times 10 = 280 \text{ litres.}$

2° méthode

$$C_{\text{sort}} = C = 0.3 \text{ l/cm}$$

$$C_{\text{rent}} = C_{\text{sort}} - C_{\text{tige}} = C - c = 0.3 \text{ l/cm} - 0.04 \text{ l/cm} = 0.26 \text{ l/cm}$$

$$C_{\text{tot}} = C_{\text{sort}} + C_{\text{rent}} = 0.56 \text{ l/cm}$$

$$V_{\text{tot}} = C_{\text{tot}} \times L = 0.56 \times 50 = 28 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot/min}} = 28 \times 10 = 280 \text{ litres.}$$

4° Vérin double effet deux tiges

Si on remplace le vérin double effet une tige par un vérin double effet deux tiges de mêmes caractéristiques (diamètre piston = 120mm, longueur de tige = 50 cm, diamètre de tige = 40 mm), le fonctionnement en sortie et en entrée devient identique au vérin 1 tige précédent quand il fonctionne en rentrant.

-a- Forces développées

$$\begin{aligned} \text{en rentrant} \equiv \text{en sortant: } \mathbf{F_{\text{sort}}} = \mathbf{F_{\text{rent}}} &= P (S - s) = P \times (\pi \times D^2 / 4 - \pi \times d^2 / 4) \\ &= P \times \pi / 4 (D^2 - d^2) = 1/4 (4 \times 3600 - 1600) = 1/4 \times 4 (3600 - 400) = \mathbf{3200 \text{ N}} \end{aligned}$$

-b- Consommation

$$D = 120\text{mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation vérin une tige } C = 0.3 \text{ l/cm}$$

$$\phi_{\text{tige}} = 40\text{mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation tige } c = 0.04 \text{ l/cm}$$

1° méthode

$$V_{\text{sort_1tige}} = C \times L = 0.3 \times 50 = 15 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tige}} = c \times L = 0.04 \times 50 = 2 \text{ litres}$$

$$V_{\text{rent}} = V_{\text{sort_1tige}} - V_{\text{tige}} = 15 \text{ l} - 2 \text{ l} = 13 \text{ litres}$$

$$V_{\text{sort}} = V_{\text{sort_1tige}} - V_{\text{tige}} = 15 \text{ l} - 2 \text{ l} = 13 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{sort}} + V_{\text{rent}} = 13 \text{ l} + 13 \text{ l} = 26 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot/min}} = 26 \times 10 = 260 \text{ litres.}$$

2° méthode

$$C_{\text{sort_tige}} = C = 0.3 \text{ l/cm}$$

$$C_{\text{rent}} = C_{\text{sort_1tige}} - C_{\text{tige}} = C - c = 0.3 \text{ l/cm} - 0.04 \text{ l/cm} = 0.26 \text{ l/cm}$$

$$C_{\text{sort}} = C_{\text{sort_1tige}} - C_{\text{tige}} = C - c = 0.3 \text{ l/cm} - 0.04 \text{ l/cm} = 0.26 \text{ l/cm}$$

$$C_{\text{tot}} = C_{\text{sort}} + C_{\text{rent}} = 0.52 \text{ l/cm}$$

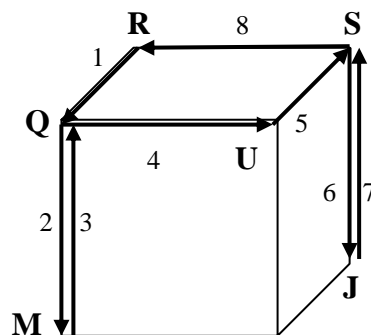
$$V_{\text{tot}} = C_{\text{tot}} \times L = 0.52 \times 50 = 26 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot/min}} = 26 \times 10 = 260 \text{ litres.}$$

Exercice 1.9: *Choix de vérins et de leurs distributeurs*

Soit un cycle cubique qui se reproduit dans l'ordre R, Q, M, Q, U, S, J, S, R. En fonctionnement cycle par cycle ou automatique, cela pourrait représenter un dispositif de perçage qui effectue deux trous entre lesquels il y a lieu de modifier les deux coordonnées de la table porte-pièce. La perceuse effectue les mouvements $Q \leftrightarrow M$, $J \leftrightarrow S$, et la table les mouvements $R \rightarrow Q \rightarrow U \rightarrow S \rightarrow R$.

La table et la perceuse sont commandées par des vérins pneumatiques pilotés par des distributeurs.

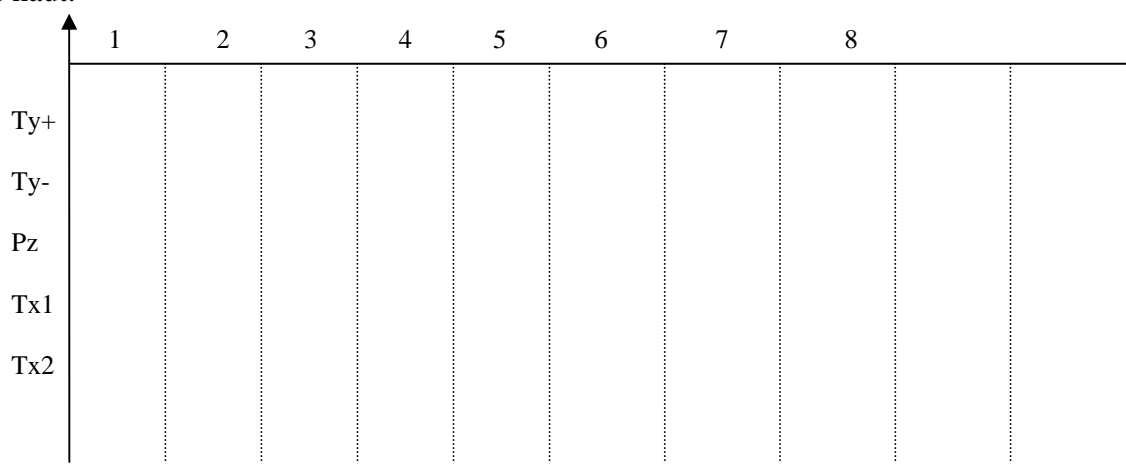
**Partie 1:** *utilisation des distributeurs*

Si on utilise 1 vérin double effet (**Pz**) pour la perceuse (mouvements $Q \leftrightarrow M$ et $S \leftrightarrow J$), un vérin double effet (**Ty**) pour les déplacements en "Y" de la table (mouvements $U \rightarrow S$ et $R \rightarrow Q$), et deux vérins simple effet (**Tx1** et **Tx2**) pour les déplacements en "X" de la table (mouvements $Q \rightarrow U$ et $S \rightarrow R$).

1° Proposer les différents choix des distributeurs nécessaires en indiquant les parties du cycle qu'ils réalisent.

2° Si les types de distributeurs utilisés sont les suivants: 4/2 monostable pour le vérin Pz, 5/2 bistable pour le vérin Ty, et 3/2 monostable pour les vérins Tx.

Compléter le diagramme des phases suivant nécessaire pour réaliser le cycle cubique décrit plus haut.



Partie 2: dimensionnement des vérins pneumatiques

La perceuse a une masse de 45 kg, la force de rappel du ressort des vérins simple effet **Tx** est de 100N, et la pression de 3,14 bars. Les vérins "**Pz**" et "**Tx**" possèdent le même diamètre de piston, ont une tige de longueur 500mm et de diamètre 40 mm.

- Calculer :
- 1°) Les diamètres des pistons des vérins **Pz** et **Tx** s'ils sont utilisés avec un taux de charge de 0.5 ?
 - 2°) Les forces développées par les vérins **Pz** et **Tx** en sortant et en rentrant.
 - 3°) Le volume d'air consommé par minute pour chaque vérin **Pz** et **Tx** en sortant et en rentrant, pour une cadence de 1 aller-retour toutes les 6 secondes.

N.B: la force de la gravité terrestre est égale à 10 N/kg, et on prendra $\pi^2 = 10$.

Solution exercice 1.9**Partie 1: utilisation des distributeurs**

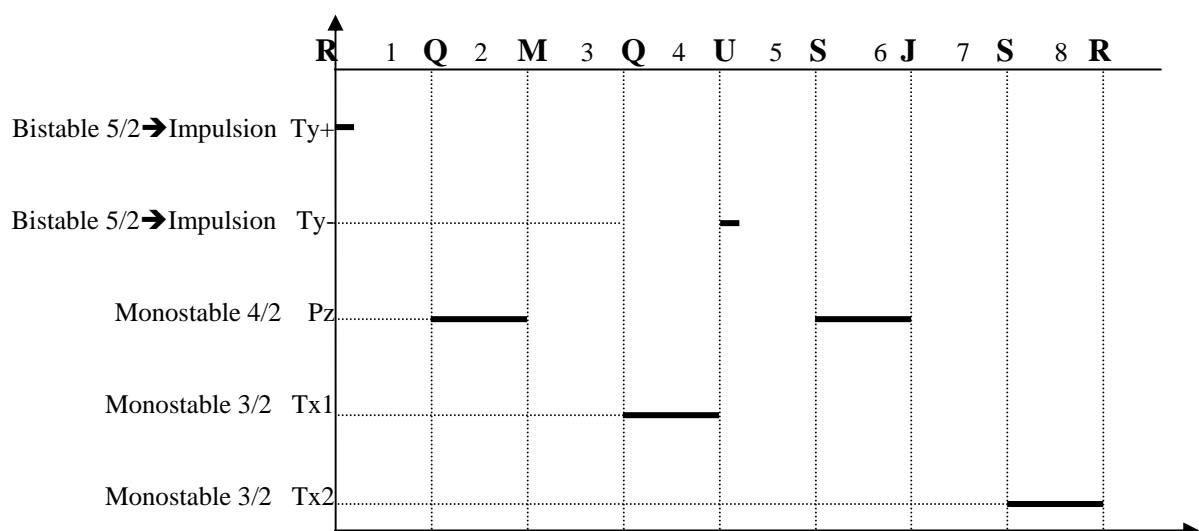
1°

-a- Pour commander le vérin double effet **Pz**, on peut utiliser :

- soit deux distributeurs 3/2 séparés, un pour la commande **Pz+** (mouvements $Q \rightarrow M$ et $S \rightarrow J$) et l'autre pour la commande **Pz-** (mouvements $Q \leftarrow M$ et $S \leftarrow J$);
- soit un distributeur 4/2 ou 5/2 monostable: la sortie normale (correspondant à la commande électrique) sera utilisée pour la commande **Pz+** (mouvements $Q \rightarrow M$ et $S \rightarrow J$), et la sortie correspondant au ressort de rappel pour la commande **Pz-** (mouvements $Q \leftarrow M$ et $S \leftarrow J$);
- soit un distributeur 4/2 ou 5/2 bistable: chaque sortie de commande du distributeur est reliée à l'entrée de commande du vérin.

-b- Pour commander le vérin double effet **Ty** le raisonnement est le même que pour **Pz**.

-c- Pour commander les vérins simple effet **Tx1** et **Tx2**, on doit utiliser des distributeurs 3/2.

2° Diagramme des phases pour réaliser le cycle cubique "ROMOUSJSR"

Partie 2: dimensionnement des vérins pneumatiques1° Calcul des diamètres des pistons

Pour le vérin double effet Pz (de déplacement de la perceuse) on a:

$$F_{ut} = 45 \times 10 = 450 \text{ N} \Rightarrow F_{th} = F_{ut}/T = 450/0.5 = 900 \text{ N}$$

$$F_{th} = P \times S = P \times \pi \times D^2 / 4 \Rightarrow D^2 = 4 F_{th} / P \times \pi = 4 \times 900 \Rightarrow \mathbf{D = 60 \text{ mm}}$$

2° Calcul des forces développées par les vérins-a- Vérin simple effet

en rentrant : $F_{rent} = F_{ress} = 100 \text{ N}$

en sortant : $F_{th} = P \times S - F_{ress} = P \times \pi \times D^2 / 4 - F_{ress} \Rightarrow D^2 = 4 (F_{th} + F_{ress}) / P \times \pi$

$$P = 3.14 \text{ bars} = 0.314 \text{ N/mm}^2 \rightarrow P \times \pi = 1.$$

$$D^2 = (60)^2 = 4 \times 900 = 4 (F_{th} + F_{ress}) \rightarrow F_{th} + F_{ress} = 900$$

$$\rightarrow \mathbf{F_{th} = 900 - F_{ress} = 900 - 100 = 800 \text{ N}}$$

-b- Vérin double effet

en sortant : $F_{th} = 900 \text{ N}$

en rentrant : $F_{rent} = P (S - s) = P \times (\pi \times D^2 / 4 - \pi \times d^2 / 4) = P \times \pi / 4 (D^2 - d^2)$
 $= 1/4 (4 \times 900 - 1600) = 1/4 \times 4 (900 - 400) = \mathbf{500 \text{ N}}$

3° Consommation des vérins-a- Vérin simple effet

$D = 60 \text{ mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow$ consommation $C = 0.1 \text{ l/cm}$

$V_{sortie} = C \times L$ (Course) $= 0.1 \text{ l/cm} \times 50 \text{ cm} = 5 \text{ litres.}$

$V_{rentrée} = 0$ car vérin simple effet et retour par ressort de rappel.

$V_{total} = V_{sort} + V_{rent} = 5 \text{ l}$

Cadence 1 aller/retour en 6 secondes \Rightarrow 10 allers/retours en 1 minute.

$V_{tot}/\text{min} = 5 \times 10 = 50 \text{ litres.}$

-b- Vérin double effet

$D = 60 \text{ mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow$ consommation $C = 0.1 \text{ l/cm}$

$\phi_{tige} = 40 \text{ mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow$ consommation tige $c = 0.04 \text{ l/cm}$

1° méthode

$V_{sort} = C \times L = 0.1 \times 50 = 5 \text{ litres}$

$V_{tige} = c \times L = 0.04 \times 50 = 2 \text{ litres}$

$V_{rent} = V_{sort} - V_{tige} = 5 \text{ l} - 2 \text{ l} = 3 \text{ litres}$

$V_{tot} = V_{sort} + V_{rent} = 5 \text{ l} + 3 \text{ l} = 8 \text{ litres}$

$V_{tot}/\text{min} = 8 \times 10 = 80 \text{ litres.}$

2° méthode

$$C_{\text{sort}} = C = 0.1 \text{ l/cm}$$

$$C_{\text{rent}} = C_{\text{sort}} - C_{\text{tige}} = C - c = 0.1 \text{ l/cm} - 0.04 \text{ l/cm} = 0.06 \text{ l/cm}$$

$$C_{\text{tot}} = C_{\text{sort}} + C_{\text{rent}} = 0.16 \text{ l/cm}$$

$$V_{\text{tot}} = C_{\text{tot}} \times L = 0.16 \times 50 = 8 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot/min}} = 8 \times 10 = 80 \text{ litres.}$$

- PARTIE II -
MODELISATION D'AUTOMATISMES PAR GRAFCET

<u>SOMMAIRE</u>	<u>PAGE</u>
<i>Exercice 2.1</i> : Train électrique (grafcet séquentiel)	20
<i>Exercice 2.2</i> : Gestion d'une barrière de parking d'immeuble (grafcet séquentiel)	22
<i>Exercice 2.3</i> : Automatisation d'une perceuse (grafcet avec aiguillages ou actions conditionnelles)	23
<i>Exercice 2.4</i> : Automatisation d'une perceuse avec utilisation de séquenceur électrique (grafcet avec séquences simultanées)	25
<i>Exercice 2.5</i> : station robotisée de tri automatique de pièces (grafcet avec aiguillage ou séquences simultanées ou actions conditionnelles)	28
<i>Exercice 2.6</i> : permutation circulaire de pompes (aiguillages multiples)	30
<i>Exercice 2.7</i> : installation de traitement de surface (notions de grafcet maître, grafcet esclave, sous programme)	32
<i>Exercice 2.8</i> : installation de traitement de surface (grafcet séquentiel, et transformation en grafcet principal et secondaire)	35
<i>Exercice 2.9</i> : Chariots de transport de minerai (grafcet à 2 séquences simultanées)	39
<i>Exercice 2.10</i> : chariots automatisés de manutention (grafcet à séquences simultanées avec utilisation de compteur)	42
<i>Exercice 2.11</i> : quai de chargement et de déchargement à l'aide de vérins (grafcet à séquences simultanées ou aiguillages avec reprises en séquence)	44
<i>Exercice 2.12</i> : Unité de perçage-taraudage (grafcet à 3 séquences simultanées)	47
<i>Exercice 2.13</i> : Doseur malaxeur automatique avec et sans arrêt d'urgence (grafcet à séquences simultanées)	49
<i>Exercice 2.14</i> : station de mélange automatique avec arrêt d'urgence (grafcet avec saut d'étapes, reprise en séquence, séquences simultanées)	51
<i>Exercice 2.15</i> : centrale à béton (grafcet avec saut d'étapes, reprise en séquence, séquences simultanées)	54
<i>Exercice 2.16</i> : carroussel de remplissage réalisé à l'aide de séquenceurs pneumatiques (grafcet à 5 séquences simultanées et utilisation de registres à décalages)	58
<i>Exercice 2.17</i> : empaquetage automatique de dalles plastiques à l'aide de vérins (grafcet à multiples aiguillages)	64

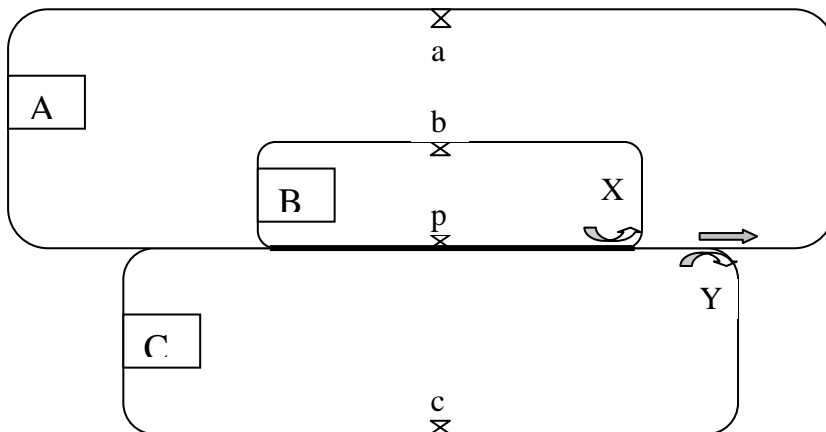
Exercice 2.1: Train électrique

Le réseau d'un train miniature (animé par un moteur M) comporte 3 boucles: A, B et C. Au cours de son trajet le train actionne les contacts a, b et c dans les boucles, et le contact p dans la partie commune. Les itinéraires sont définis par les deux aiguillages X et Y actionnés par deux électroaimants (appelés également X et Y). La boucle A correspond au repos des deux électroaimants.

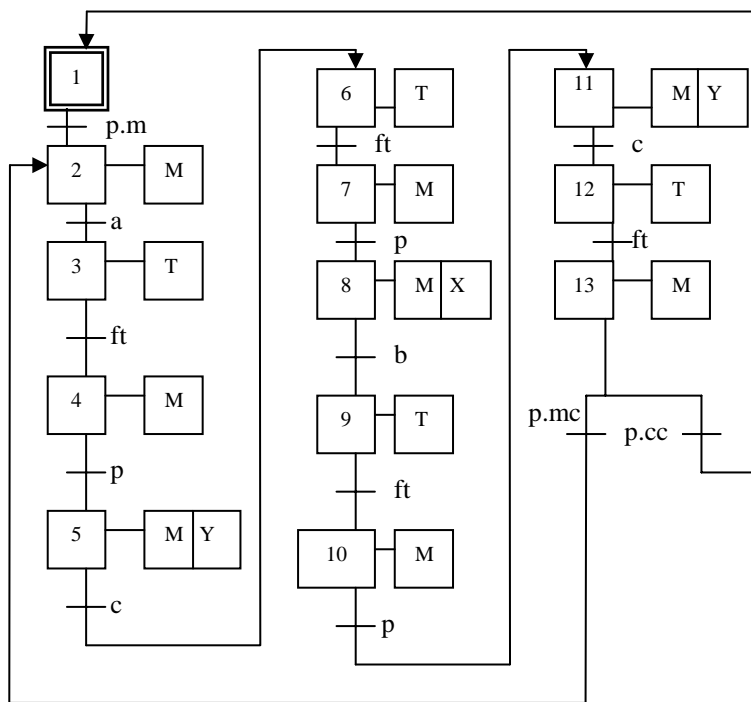
Au départ le train est mis sur le contact p (position P), et il démarre de cette seule position si l'on appuie sur un bouton poussoir m. Nous disposons de deux modes de fonctionnement : cycle par cycle (arrêt à la fin du cycle à la position P) ou marche continue (le cycle se répète tant que la tension d'alimentation est maintenue).

Le cycle de travail est le suivant: partant de P, le train décrit les boucles dans l'ordre suivant: A, C, B, C A chaque action sur un des contacts a, b ou c, le train s'arrête pendant deux secondes.

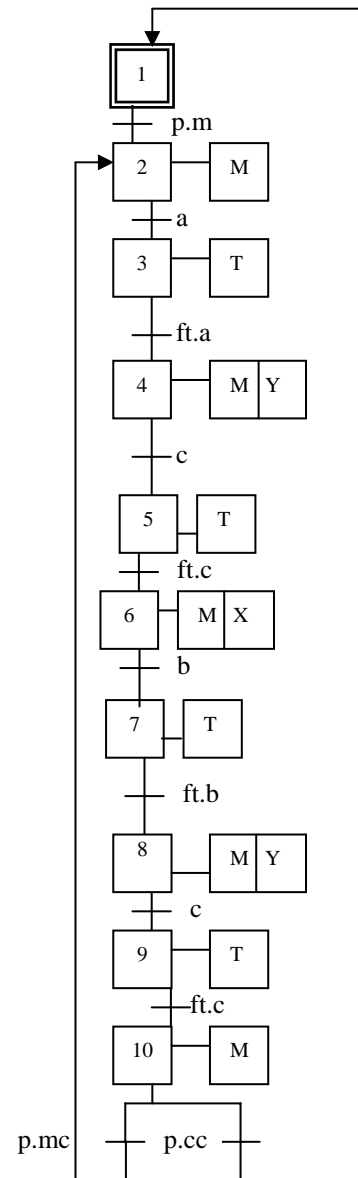
QUESTION: Donner le grafcet de niveau 2 de fonctionnement.

**Schéma du circuit du train**

(en trait gras la partie commune aux 3 boucles)



Solution1



Solution2

Remarque:

Dans la solution2 la commande des électroaimants se fait par anticipation: on n'attend pas le passage sur le contact p, mais on active les électroaimants dès la détection de a , b ou c.

Exercice 2.2 *Gestion d'une barrière de parking d'immeuble*

Deux barrages optiques **e** et **s** contrôlent les accès à l'entrée (**e**) et à la sortie (**s**).

L'ouverture se fait soit après validation (**v**) du code confidentiel tapé au clavier par le conducteur entrant; soit après détection par la barrière optique (**s**) qu'un véhicule veut sortir en plus de l'appui sur un bouton **bs** par le conducteur sortant.

Une fois que la barrière est en position fin de course levée, la fermeture se fait au bout de 3 secondes (on utilise une temporisation externe). Pendant la descente de la barrière, si on détecte qu'un véhicule veut sortir (**s**) ou veut rentrer (**e**), la barrière se relève automatiquement.

La barrière est actionnée par un moteur à deux sens de marche, commandé par deux contacteurs : **MM** (montée) et **MD** (descente). Les fins de courses sont détectées par 2 contacts : **bl** (barrière levée) et **bb** (barrière baissée). Une lampe L indique la descente de la barrière.

Le moteur alimenté en 380 V a une puissance de 0,75 KW et un cosφ de 0,5. La partie commande est alimentée par le biais d'un transformateur marqué 220V/24V-40VA.

Donner le grafcet de niveau 2 modélisant la commande.

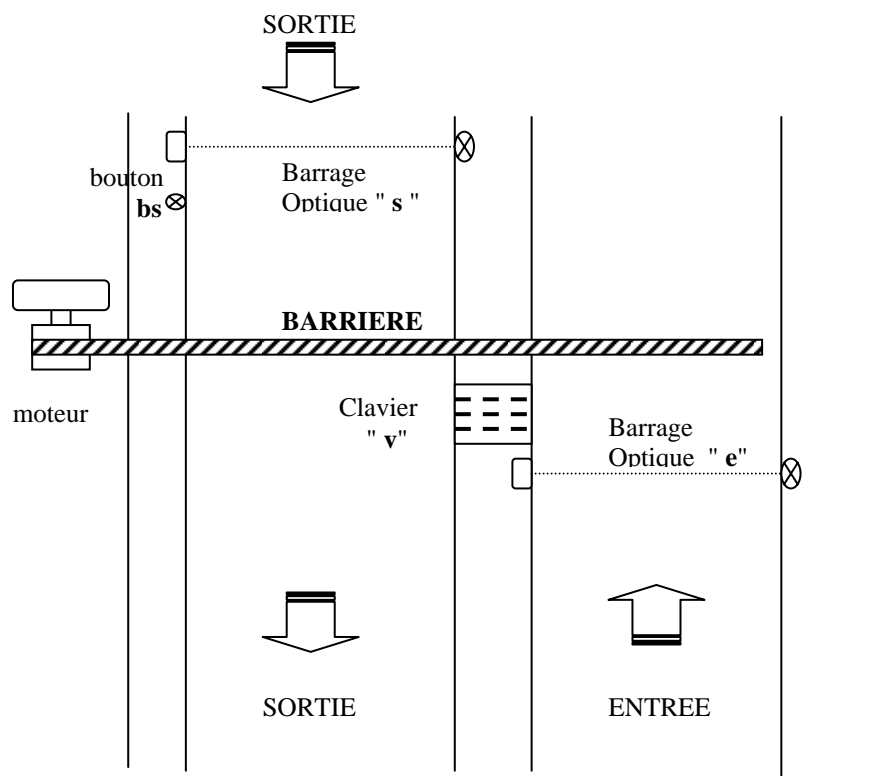
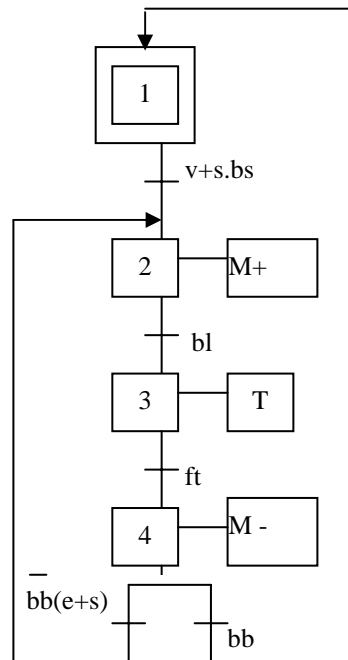


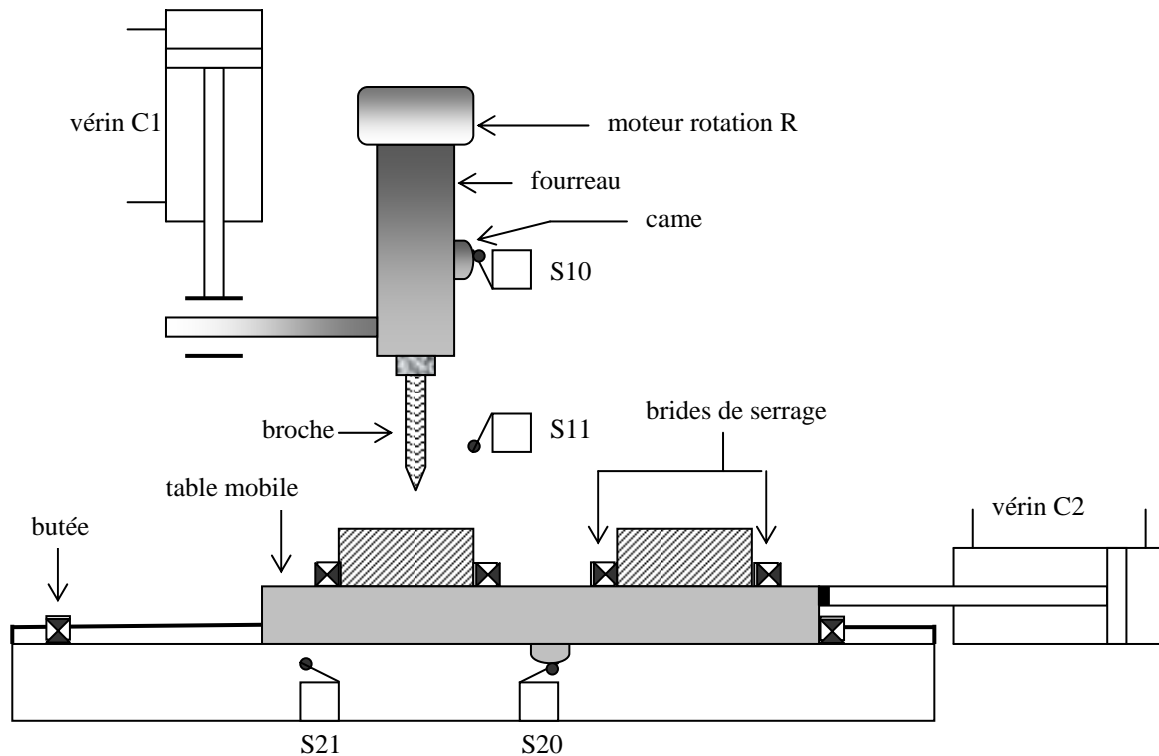
Figure 2.2: *barrière de parking d'immeuble*

Solution exercice 2.2**Exercice 2.3**

Une perceuse (cf figure 2.3) est automatisée de la façon suivante:

- commande de la descente et de la remontée par un vérin double effet C1. Une came solidaire du fourreau sollicite le capteur S10 en position haute, et le capteur S11 en position basse (fin de perçage).
- La table porte pièces est constituée par un chariot dont les deux positions extrêmes sont obtenues par deux butées, accompagnées du capteur S20 pour la position droite, et S21 pour la position gauche. Un vérin C2 double effet assure les déplacements de la table.
- En supposant initialement que la table est arrêtée en position droite, le fonctionnement du dispositif est le suivant:
 - *bridage (c'est à dire serrage à l'aide de brides) d'une pièce sur le porte pièce de droite,
 - *impulsion sur le bouton poussoir m : la table se déplace alors vers la gauche,
 - *dès que S21 est appuyé le fourreau de la perceuse descend,
 - *dès que le capteur S10 est relâché la broche se met en rotation
 - *dès que le capteur S11 est sollicité le fourreau remonte
 - *dès que S10 est activé la rotation du forêt s'arrête.
- Lorsque l'opérateur a terminé le chargement du poste de gauche, il donne une nouvelle impulsion sur m, entraînant le déplacement de la table vers la droite jusqu'à appui sur S20. Le mouvement de la table étant effectué, la perceuse effectue un nouveau perçage identique au précédent.
- Le cycle doit se répéter à chaque nouvelle impulsion sur m.

QUESTION: Après avoir dressé le tableau des variables d'entrée-sortie, donner le grafcet de niveau 2 de la commande.

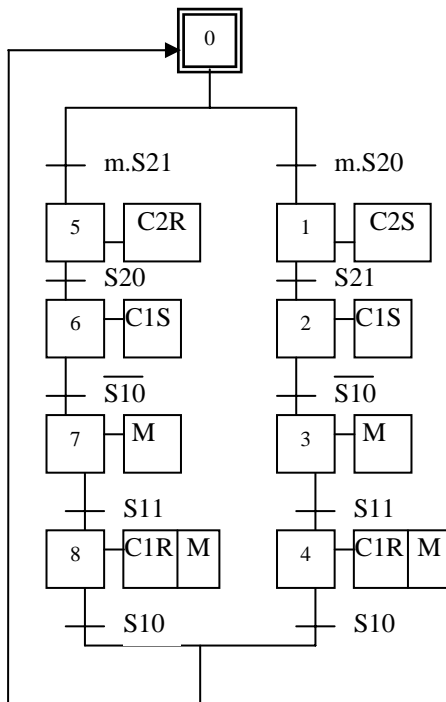
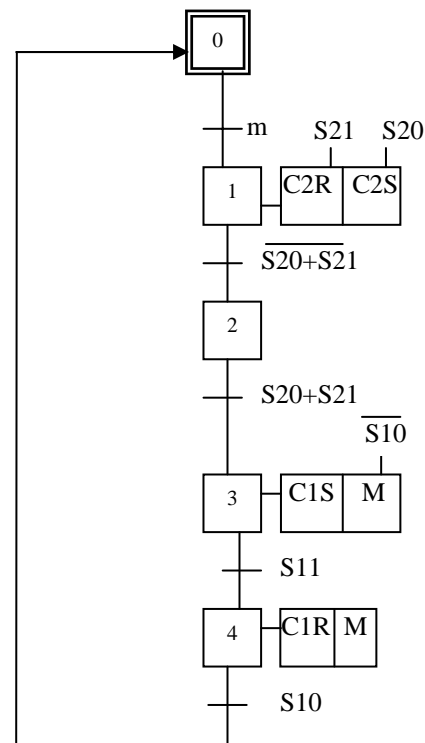


Solution exercice 2.3

1° Tableau des variables d'entrée sortie

Variables d'entrée	Signification	Variables de sortie	Signification
m	ordre de départ cycle	M	commande moteur rotation de broche
S10	perceuse en position haute	C1R	commande rentrée du vérin C1
S11	perceuse en position basse	C1S	commande sortie du vérin C1
S20	table porte pièce en position droite	C2R	commande rentrée du vérin C2
S21	table porte pièce en position gauche	C2S	commande sortie du vérin C2

2°Grafcet de niveau 2 de la commande

**Solution 1****solution 2 (grafcet condensé)****Exercice 2.4**

On se propose d'automatiser (en utilisant des séquenceurs comme organe de commande) une perceuse susceptible d'usiner deux types de pièces: minces ou de grande épaisseur. Le fonctionnement désiré de l'ensemble peut être décrit comme suit:

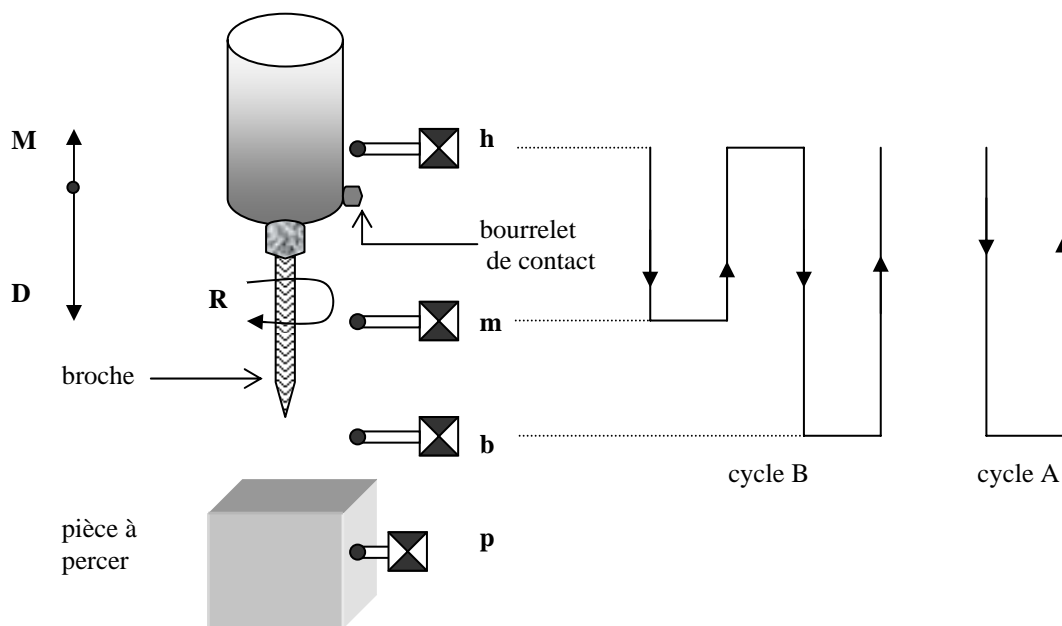
- Le démarrage d'une opération de perçage s'obtient par une action *fugitive* sur un bouton poussoir de démarrage cycle *dcy*. Toute manipulation de ce bouton en cours de perçage est sans effet sur le fonctionnement du système.
- La sélection du type de perçage (avec ou sans déburrage) est effectuée à l'aide d'un commutateur *s* à deux positions:

* le perçage d'une pièce *mince* correspond à *s fermé* ($s=1$) et implique une commande simultanée du forêt en rotation (**R**), et en translation suivant le cycle *A*. Les positions basse et haute du forêt sont repérées respectivement par les contacts **b** et **h**.

* le perçage d'une pièce *épaisse* correspond à *s ouvert* ($s=0$) et implique simultanément une commande du forêt en rotation (**R**) et en translation suivant le cycle *B*. Le perçage partiel suivi d'un retrait facilitant l'élimination des copeaux est appelé *déburrage*. Il nécessite la prise en compte du contact intermédiaire **m**.

- Les mouvements de montée et descente sont obtenus respectivement par les commandes **M** et **D** du moteur de translation.
- Tout perçage implique la présence d'une pièce, détectée par un contact **p** qui reste actionné tant que la pièce est en place. Tout perçage d'une nouvelle pièce n'est possible qu'après changement de la pièce, détecté par le relâchement du contact p.

QUESTION: Après avoir dressé le tableau des variables d'entrée-sortie, donner le grafcet de niveau 2 de la commande.

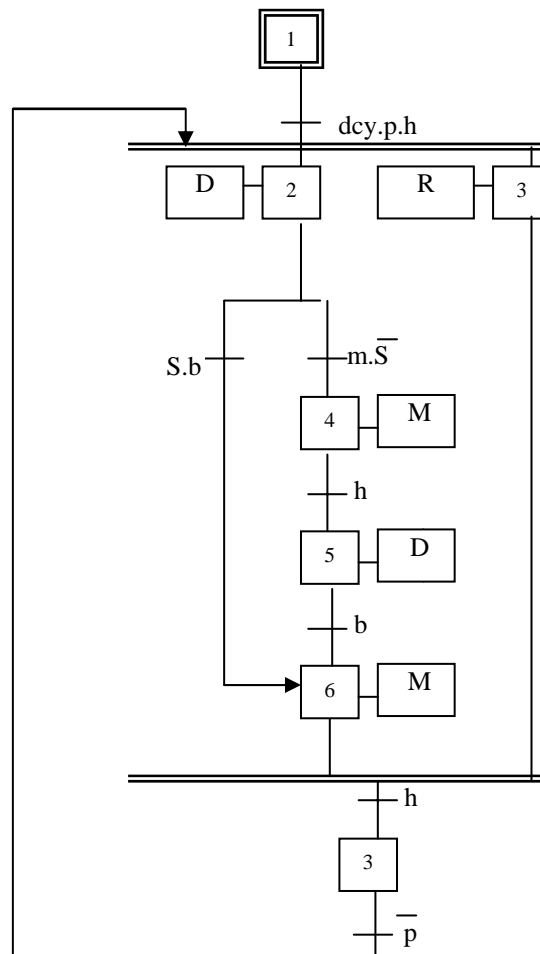


Solution exercice 2.4

1° Tableau des variables d'entrée sortie

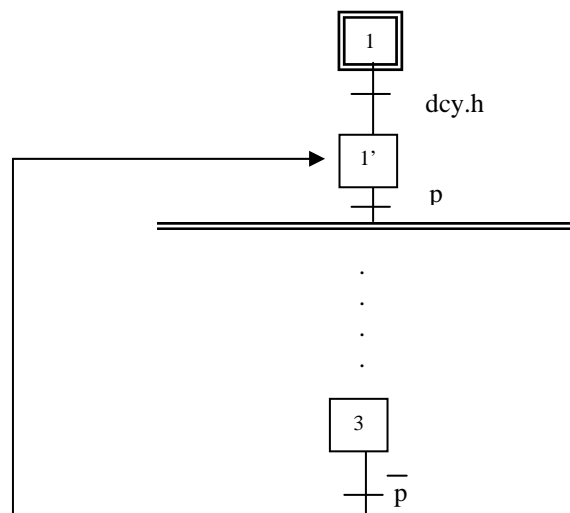
Variables d'entrée	Signification	Variables de sortie	Signification
dcy	bouton de démarrage cycle	M	Commande moteur de translation en montée
S	choix du perçage sans déburrage (cycle A)	D	Commande moteur de translation en descente
— S	choix du perçage avec déburrage (cycle B)	R	Commande moteur de rotation
h	perceuse en position haute		
m	perceuse en position médiane (milieu)		
b	perceuse en position basse		
p	détecteur de présence pièce		

2°Grafctet de niveau 2 de la commande

Remarque

La boucle de retour ne respecte pas les règles du grafctet car la divergence d'entrée dans des séquences simultanées se fait par une transition unique. Pour respecter cette règle on introduit une étape supplémentaire comme indiquée sur le graphe.

Il restera cependant un autre problème (qu'on ne traitera pas ici) car pour avoir un graphe (et donc un fonctionnement) optimal, la sortie de séquences simultanées se fait obligatoirement par des étapes d'attente et une transition avec une réceptivité « =1 ».



Exercice 2.5

Trois tapis roulants T1, T2, T3, sont actionnés par 3 moteurs M1, M2 et M3. Deux catégories de pièces (grandes et petites) avancent sur le tapis T3. Elles sont détectées par deux cellules photoélectriques P1 et P2.

Le faisceau lumineux inférieur dirigé sur la cellule P1 est coupé par toutes les pièces (la variable P1 prend alors la valeur logique 1). Par contre le faisceau lumineux supérieur dirigé sur la cellule P2 n'est coupé que par les grandes pièces (alors $P2 = 1$). Par l'intermédiaires de relais amplificateurs ces cellules actionnent (incrémentent) trois compteurs: C1 pour les petites pièces, C2 pour les grandes, C3 qui joue le rôle de compteur totalisateur (qui est donc incrémenté par la détection de toutes les pièces).

Deux robots manipulateurs servent au prélèvement des pièces et à leur dépôt sur les tapis: sur T1 par R1 pour les petites pièces, et T2 par R2 pour les grandes pièces.

Une fois le départ cycle donné, les trois moteurs sont activés simultanément, et le cycle boucle automatiquement sans nouvelle intervention de l'opérateur. Dès qu'une pièce est détectée le moteur 3 est arrêté, le robot est commandé pour prélever la pièce et la déposer sur le tapis correspondant, et une temporisation est activée. A la fin de la temporisation le moteur 3 est démarré de nouveau, et le cycle continue sans intervention de l'opérateur.

QUESTION: Donner la grafcet de niveau 2 de la commande.

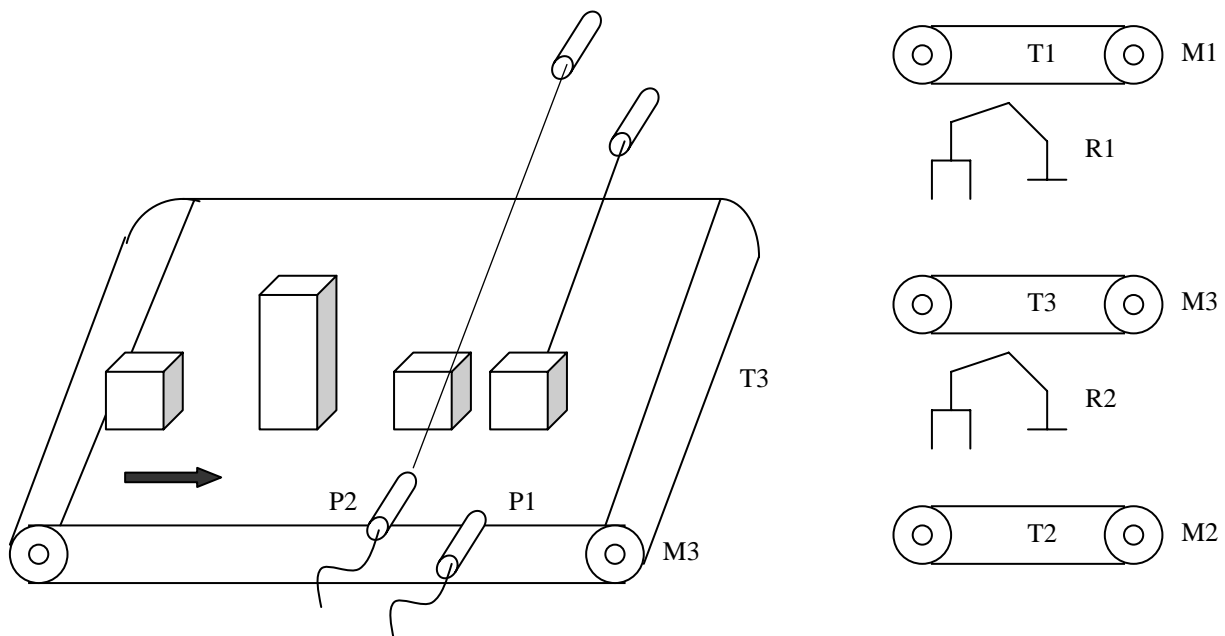
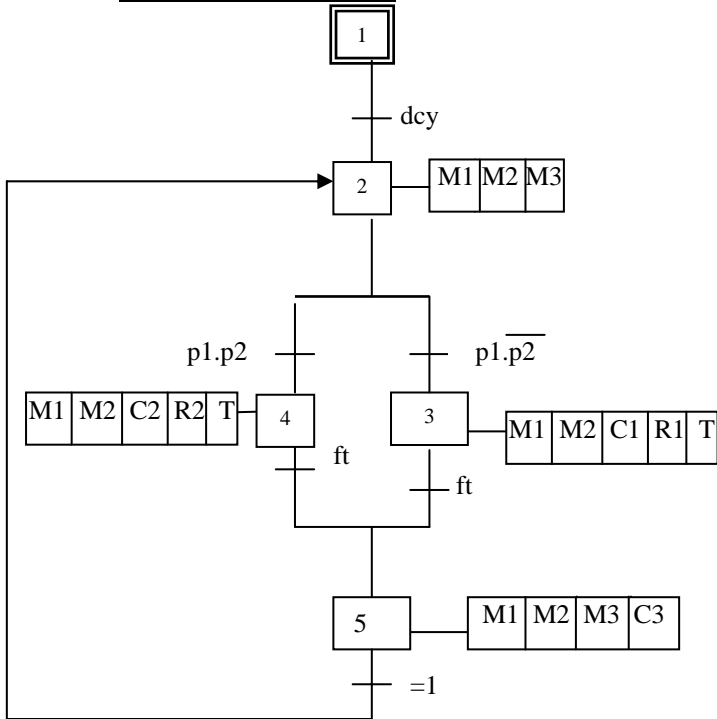
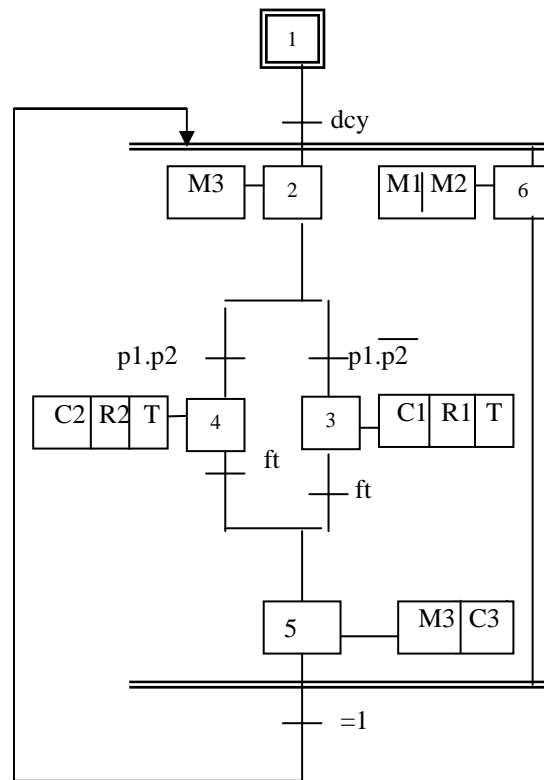


Figure 2.5: station robotisée de tri automatique de pièces

Solution exercice 2.5

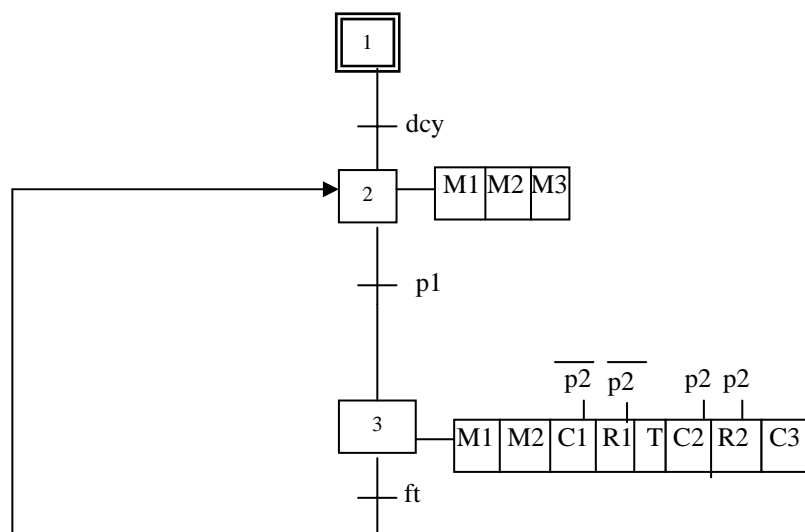
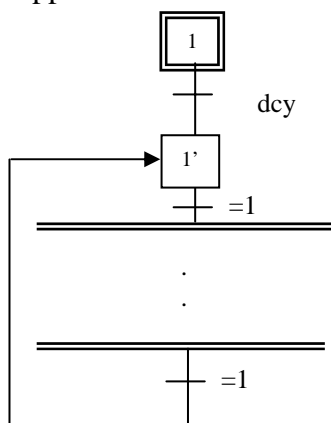


Solution1



Solution2

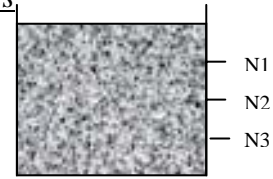
Remarque pour la solution 2 : comme pour l'exercice 2.7, la boucle de retour ne respecte pas les règles du grafcet, car la divergence d'entrée et la convergence de sortie d'une séquence simultanée se font par une transition unique. Pour respecter cette règle on introduit une étape supplémentaire comme indiquée sur le graphe.



Solution3 (condensée)

Exercice 2.6 Exemple d'aiguillage : permutation circulaire de pompes

Le niveau de liquide contenu dans un réservoir est contrôlé par 3 détecteurs N1, N2 et N3. L'alimentation de ce réservoir s'effectue par 3 pompes P1, P2 et P3. Chaque niveau découvert entraîne la mise en route d'une pompe.



Le nombre de pompes en service sera donc fonction du nombre de niveaux découverts. De plus afin d'équilibrer l'usure des pompes, celles-ci seront permutées à tour de rôle.

1° Donner le grafcet de commande de niveau 2.

2° Faire une représentation condensée du graphe en utilisant les actions conditionnelles.

Solution

Le grafcet d'une telle commande peut être représenté ainsi :

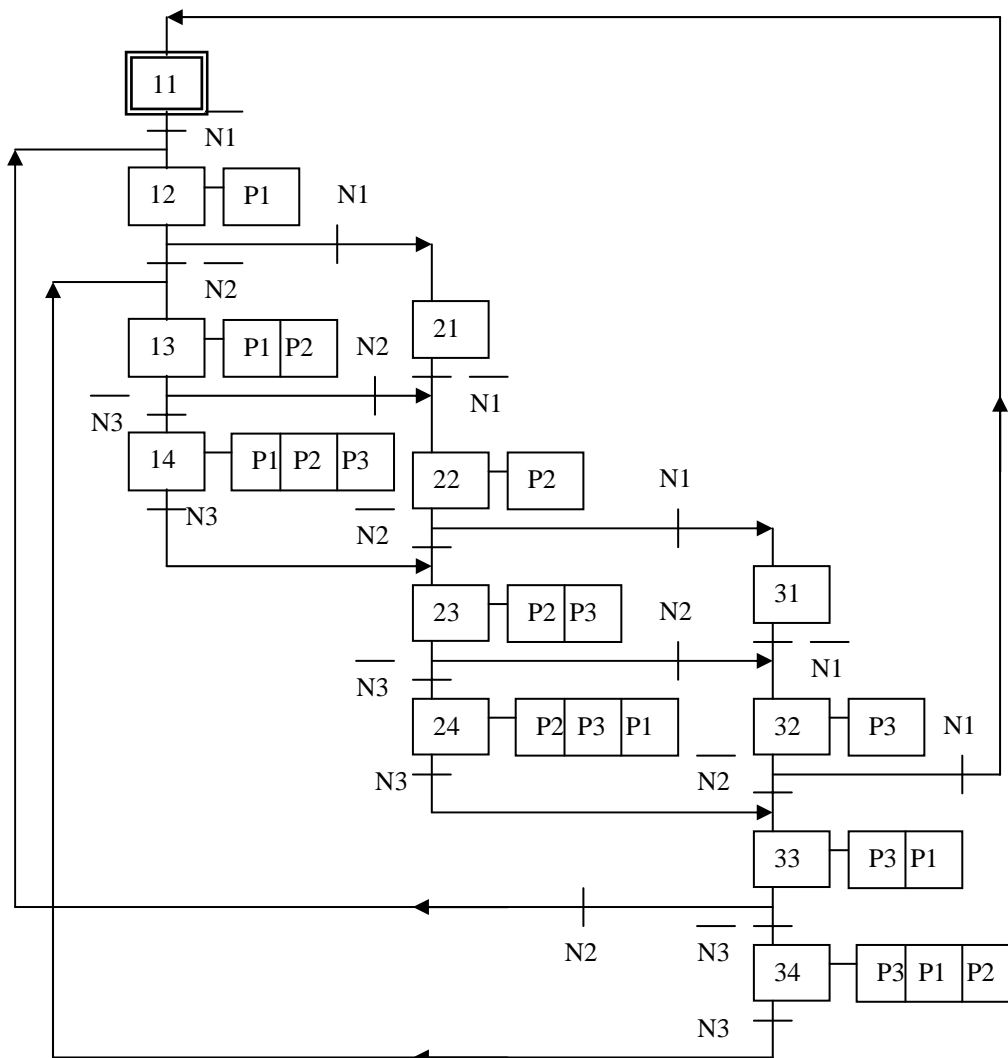
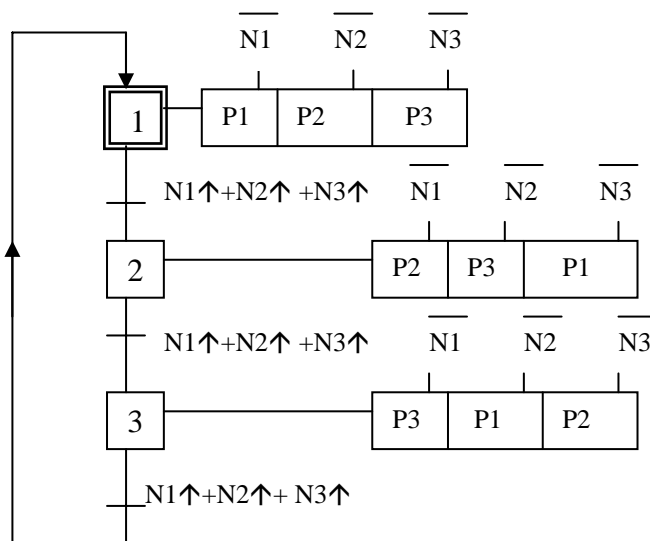


Figure 2.6-a- : graphe de la commande de la permutation circulaire de pompes

Remarques:

- Observons que le grafcet se décompose en trois parties (ou séquences) symétriques, dont les ordres correspondant à chaque séquence sont permutés circulairement.
- Dans une séquence déterminée (étapes 11, 12, 13, 14 par exemple), la progression dans les niveaux découverts correspond à la progression du nombre de pompes mises en action. Cette fonction est en fait combinatoire et pourrait aussi se représenter comme sur la figure 2.6 où chaque séquence sera représentée par une seule étape, et où on met également à profit la représentation graphique des actions conditionnelles.
- La notation " $N_i \uparrow$ " désigne un front montant (passage de la variable N_i de l'état logique zéro à l'état un), elle correspond donc au recouvrement du détecteur N_i .

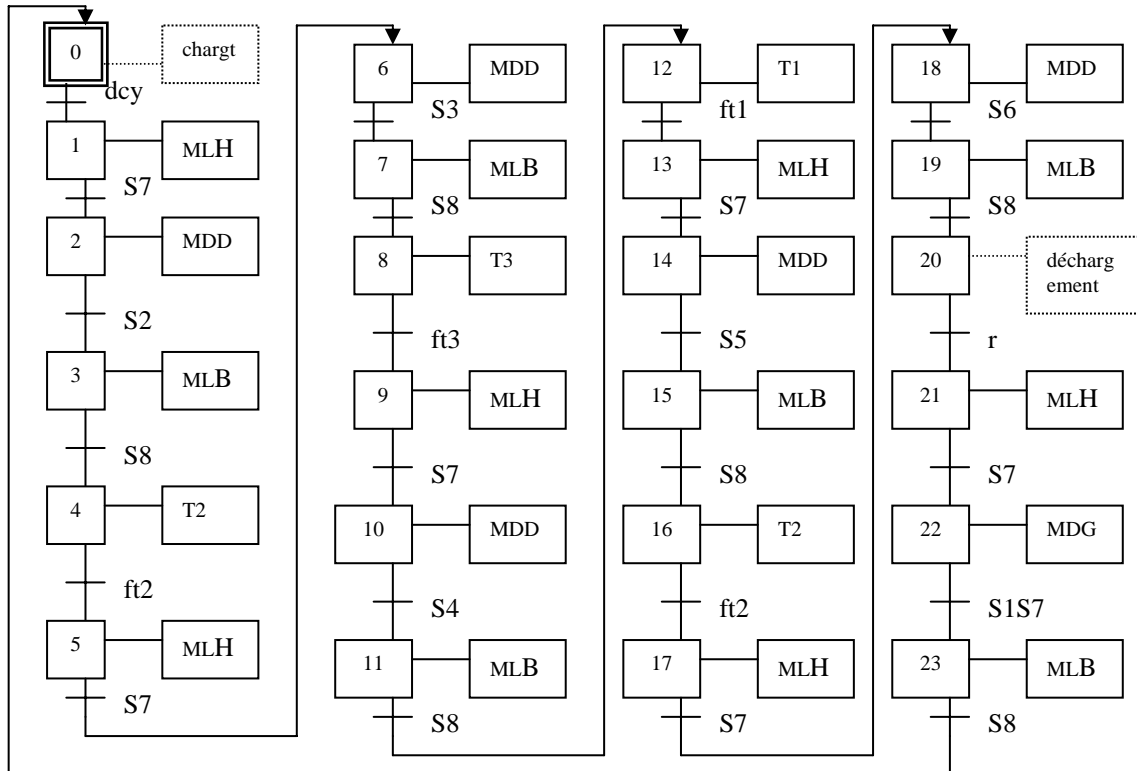


Le passage d'une séquence à l'autre s'effectue dès qu'un niveau $N1$, $N2$ ou $N3$ est à nouveau recouvert. Comme ce niveau était découvert, cette information correspond à l'apparition d'un signal de recouvrement, ou à la somme logique des apparitions si on considère les trois niveaux.

Figure 2.6-b-: représentation condensée du graphe de la figure 2.6-a-

Exercice 2.7

L'installation de traitement de surface de la figure est modélisée par le grafcet de commande suivant :



Faire un grafcet réduit en utilisant les étapes correspondant aux actions {MLH,MDD,MLB, et l'activation des temporisations } dans un sous programme, dont les étapes seront numérotées à partir de 30.

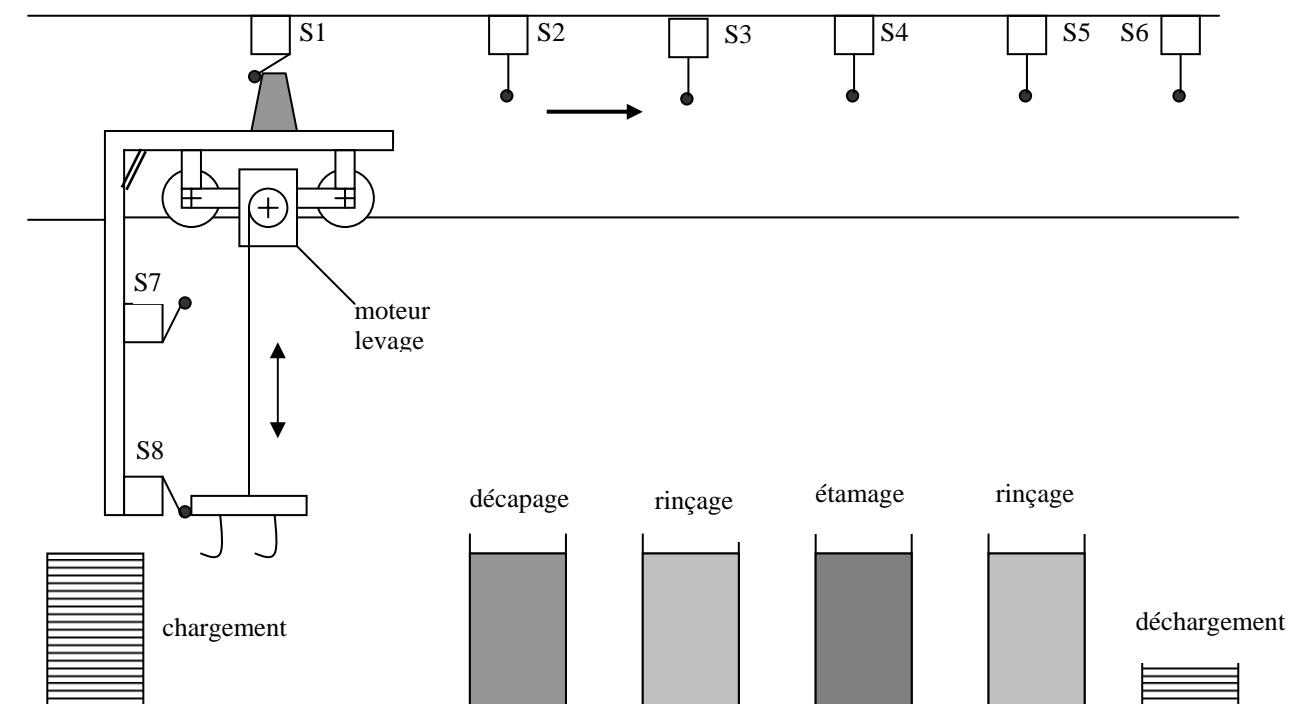
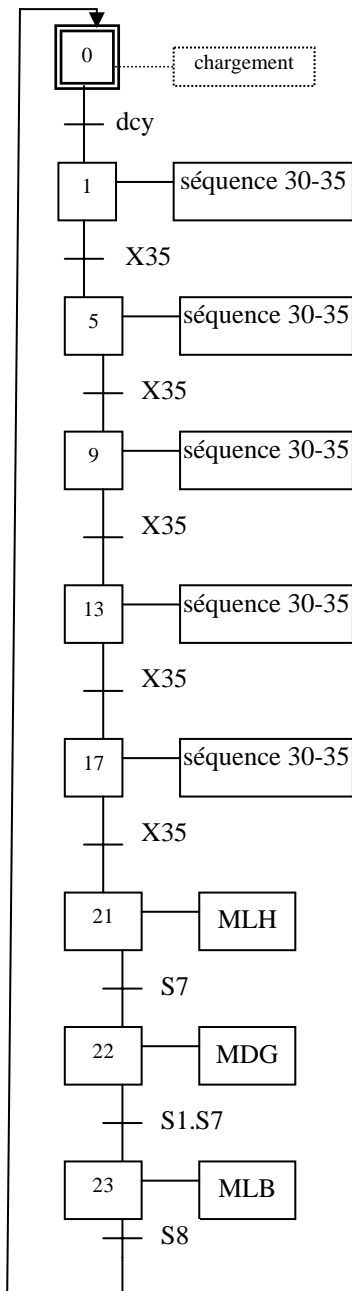


Figure 2.7: schéma de l'installation de traitement de surface

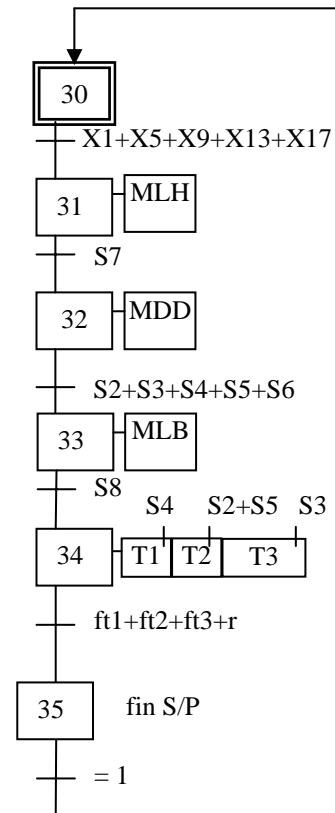
Solution exercice 2.7

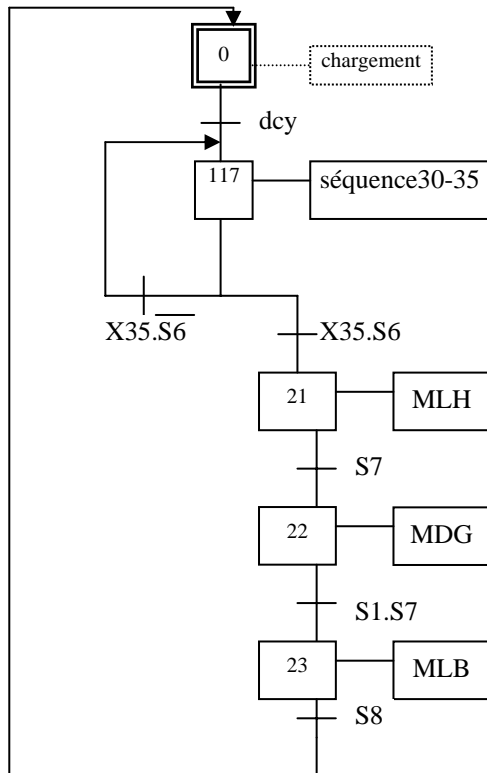
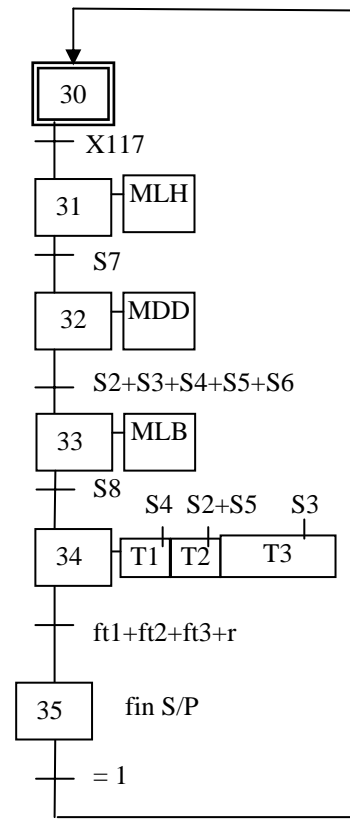
-a-Solution 1

Grafcet principal (maître)



grafcet secondaire (esclave) ou sous programme



-b-Solution condenséeGrafcet principal (maître)grafcet secondaire (esclave) ou sous programmeRemarque

Pour rester en accord avec la règle n°5 qui stipule que «si une même étape doit être activée et désactivée en même temps, elle reste active», on doit supprimer la boucle de retour sur l'étape 117 dans le grafcet maître, sans rien modifier au reste du grafcet. Sur le grafcet esclave, on rajoute l'information $\overline{S6}$ à la réceptivité de désactivation de X30 qui devient : $X117.\overline{S6}$ (le rajout de cette information est indispensable au bon fonctionnement).

Ce nouveau grafcet facilite l'utilisation de la solution câblée pour la commande (en éliminant notamment le recours aux « portes » logiques), il rend également possible la matérialisation du grafcet par des séquenceurs électriques.

Exercice 2.8

Une installation de traitement de surfaces est décrite par le schéma ci-dessous. Après avoir chargé manuellement la pièce au poste de chargement, l'opérateur appuie sur le bouton de démarrage cycle (dcy). Le cycle de fonctionnement est le suivant:

- Levage de la charge (LC) jusqu'à la position haute détectée par ph, puis déplacement à droite du chariot (RCD). L'arrivée au poste P2 est détectée par p2, puis la charge est commandée en descente (DC) jusqu'à la position basse (pb) pour tremper dans le bac1 pendant une durée T1.
- Levage de la charge (LC) jusqu'à la position haute détectée par ph, puis déplacement à droite du chariot (RCD). L'arrivée au poste P3 est détectée par p3, puis la charge est commandée en descente (DC) jusqu'à la position basse (pb) pour tremper dans le bac2 pendant une durée T2.
- Levage de la charge (LC) jusqu'à la position haute détectée par ph, puis déplacement à droite du chariot (RCD). L'arrivée au poste de déchargement (P5) est détectée par p5, puis la charge est commandée en descente (DC) jusqu'à la position basse (pb). Après déchargement, l'opérateur appuie sur le bouton de renvoi détecté par r.
- Levage du porte charge (LC) jusqu'à la position haute détectée par ph, puis déplacement à gauche du chariot (RCG). Arrivé au poste P1 détecté par p1, le porte charge est commandé en descente (DC) jusqu'à la position basse (pb) .

Un nouveau cycle peut recommencer.

Questions:

- 1°) Donner le tableau des variables d'entrée-sortie
- 2°) Donner le grafctet de niveau 2 de la partie commande.
- 3°) Transformer ce grafctet en 2 grafctets: un principal et un sous programme.

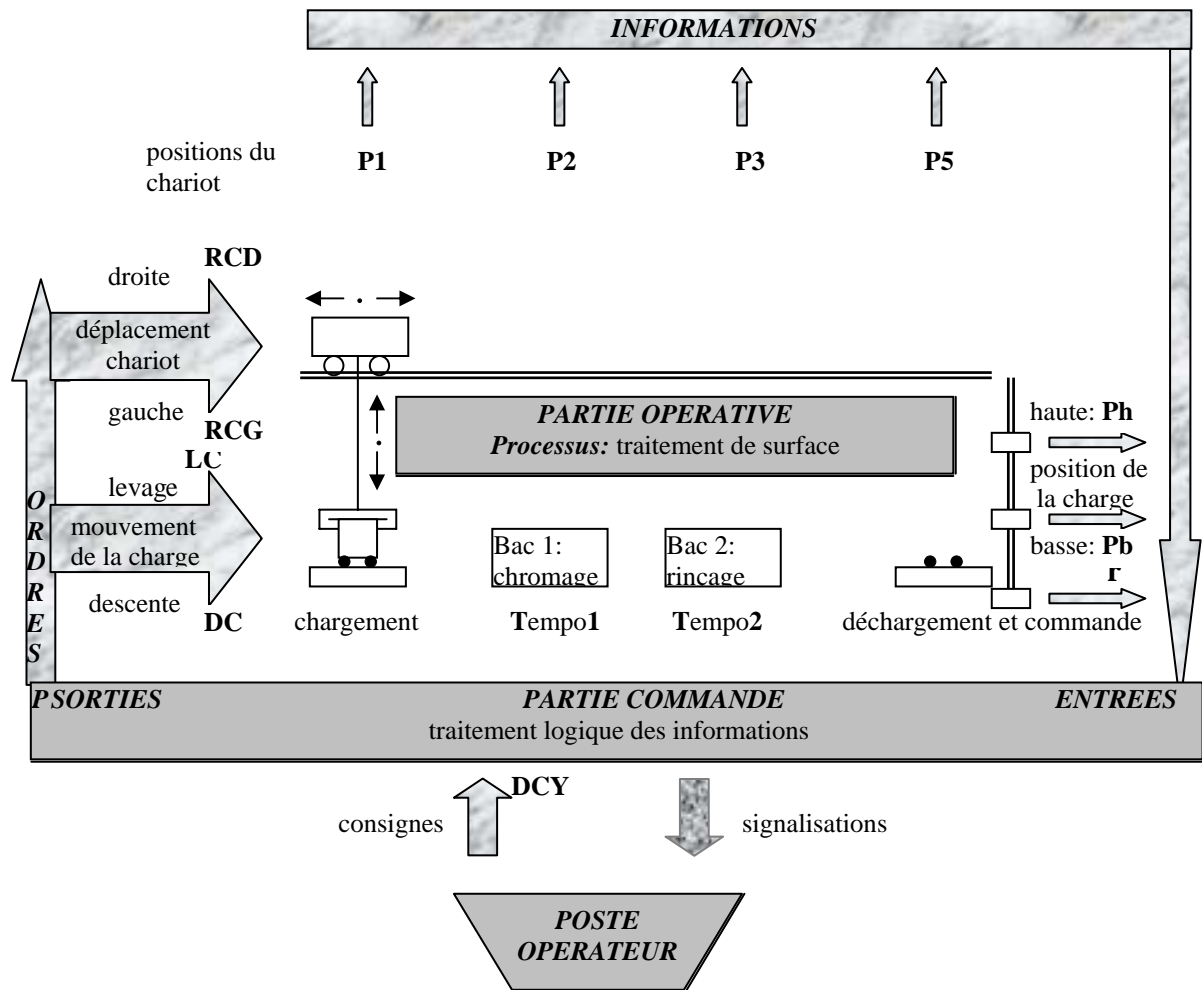
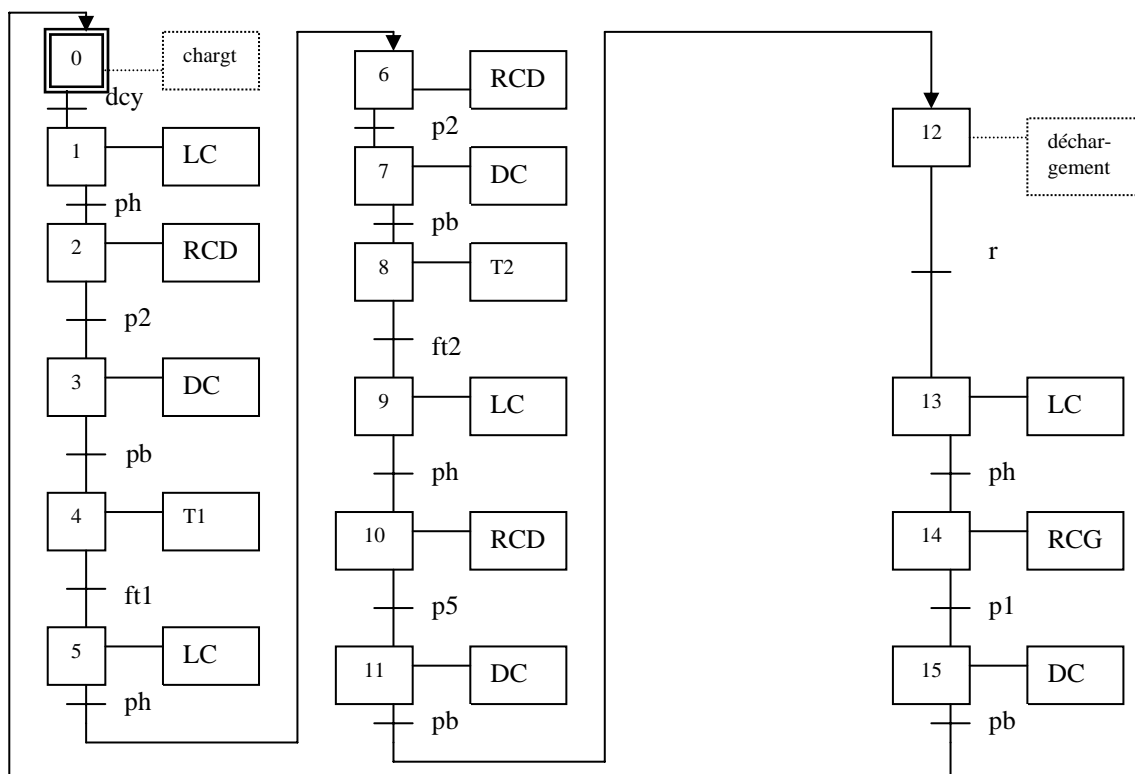


Figure2.8: installation de traitement de surface

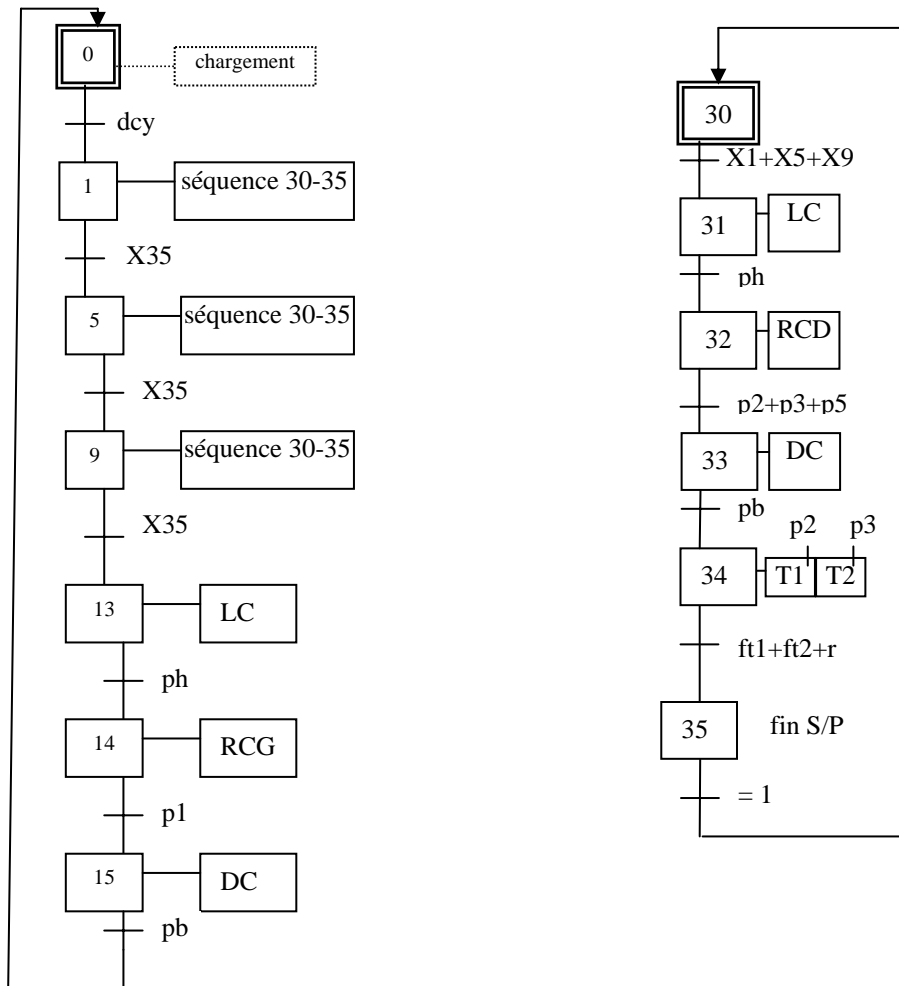
Solution exercice 2.8**-1•-Tableau des variables d'entrée-sortie**

Type	Nom	Signification	Type	Nom	Signification
entrée	dcy	bouton poussoir de démarrage cycle	entrée	ft1	déclenchement ou détection de fin de temporisation 1(variable interne)
" "	p1	détection chariot au poste P1	" "	ft2	déclenchement ou détection de fin de temporisation 2(variable interne)
" "	p2	détection chariot au poste P2	Sortie	LC	commande de Levage de la Charge
" "	p3	détection chariot au poste P3	" "	DC	commande de Descente Charge
" "	p5	détection chariot au poste P5	" "	RCD	déplacement Chariot à Droite
" "	pb	détection charge en position basse	" "	RCG	déplacement Chariot à Gauche
" "	ph	détection charge en position haute	" "	T1	Enclenchement ou activation de temporisation 1 (variable interne)
" "	r	détection du bouton poussoir de l'ordre de retour chariot	" "	T2	Enclenchement ou activation de temporisation 2 (variable interne)

-2•-Grafcet de niveau 2 de la commande

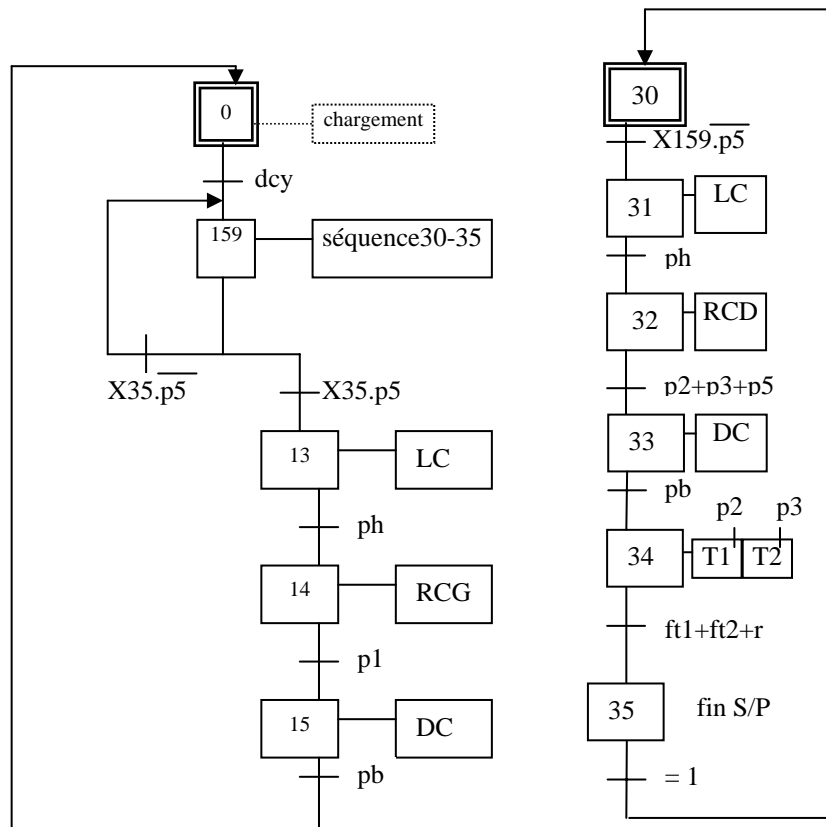
-3°-Grafcet principal (maître) et grafcet secondaire (esclave) ou sous programme

-a-Solution 1



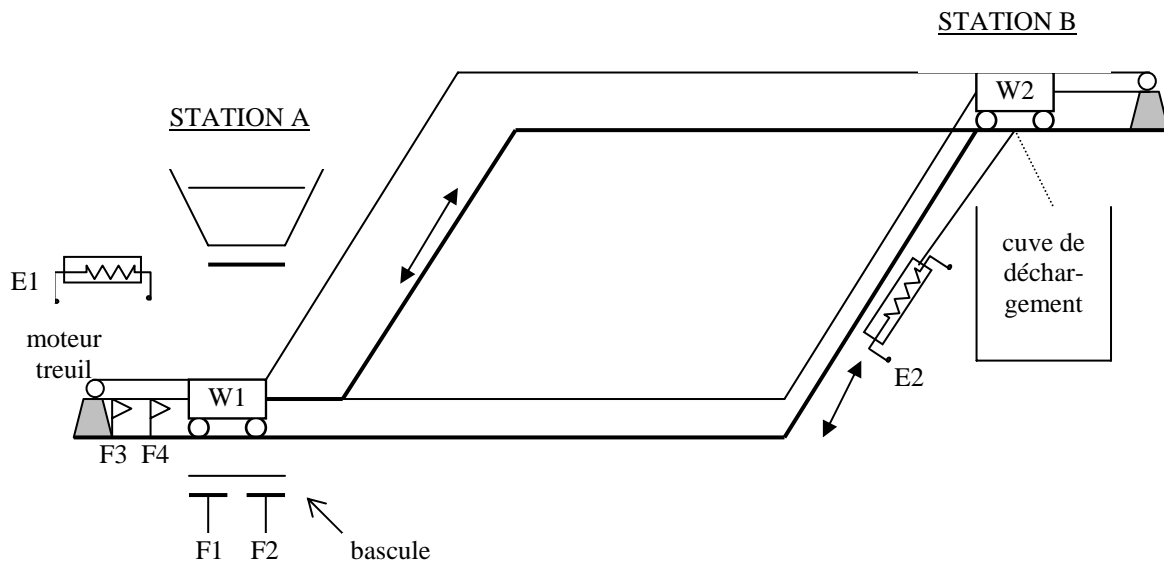
-b-Solution condensée

La boucle de retour sur l'étape 159 est « superflue » et contre-indiquée pour une commande en logique câblée (cf. remarque exercice 7 page 34).



Exercice 2.9

Deux wagonnets W1 et W2 sont chargés de transporter du gravier d'une station A à une station B.

**Description:**

Moteur treuil: entraîne le déplacement des wagons. MD et MG: déplacements respectifs à droite et à gauche.

Electro E1: $E1 = +V$: commande de l'ouverture de la cuve de chargement.

$E1 = 0$: fermeture de cette cuve par le ressort de rappel.

Electro E2: $E2 = +V$: commande de l'ouverture de trappe du wagon.

$E1 = 0$: fermeture de cette trappe par le ressort de rappel.

Fins de course: $F3$: wagonnet 1 en station A sous la cuve de chargement

$F4$: wagonnet 2 en station A

$F1$: détection wagonnet 1 plein

$F2$: détection wagonnet 2 plein

A chaque démarrage de cycle, on doit avoir le wagonnet W1 en station A et vide.

Fonctionnement:

-On ouvre la cuve de chargement par la commande de l'électro E1.

-On ouvre la trappe de vidange du wagon W2 par la commande de E2, et on enclenche la temporisation T1.

-L'électro 1 sera mis hors tension par la fin de course F1 indiquant que le wagon W1 est plein. L'électro 2 sera mis hors tension par le déclenchement de la temporisation T1.

-Ensuite on envoie le chariot W1 à la station B et le wagon W2 à la station A, par rotation à droite du moteur de treuil.

-On recommence le cycle de chargement précédent, l'électro 2 étant cette fois mis hors tension par la temporisation T2, l'électro 1 mis hors tension par la fin de course F2.

-On renvoie alors les deux chariots à leur point de départ par une rotation à gauche du moteur, et le cycle continue.

Il est à remarquer que $T1 \neq T2$, les deux wagonnets ne sont pas absolument identiques et ne mettent pas le même temps à se décharger. Le positionnement en station est effectué par F3 pour W1 et F4 pour W2.

Enfin un interrupteur deux positions AUT permet un fonctionnement soit automatique (AUT=1), soit cycle par cycle (AUT=0) avec redémarrage manuel par appui sur un bouton poussoir DCY de démarrage cycle.

QUESTIONS

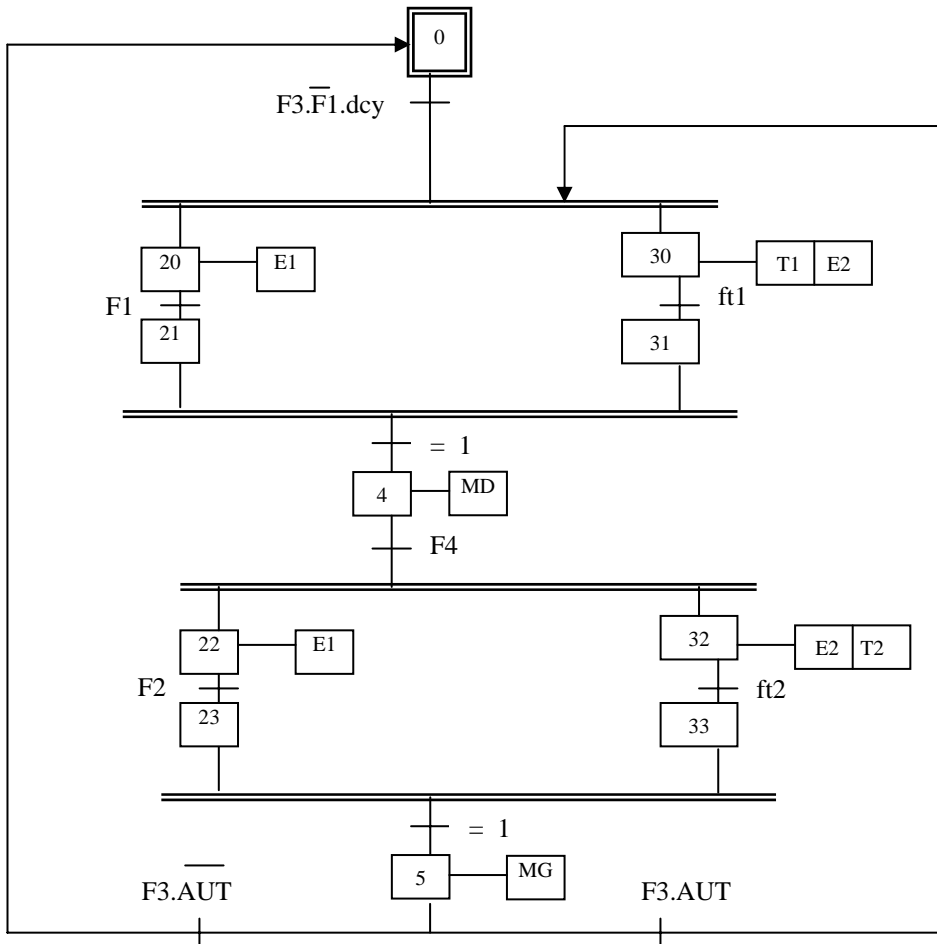
1° Identifier les variables d'entrée/sortie

2° Donner le grafcet de niveau 2 de fonctionnement

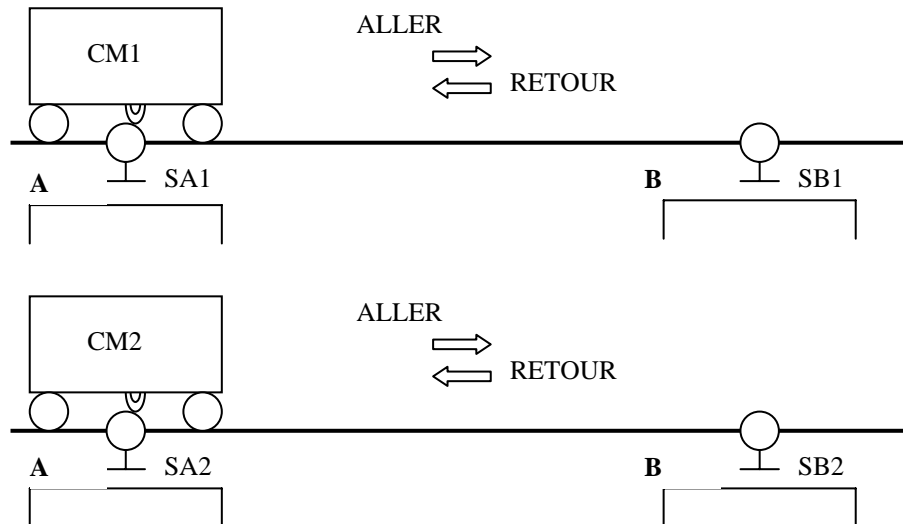
Solution exercice 2.9

-1°-Tableau des variables d'entrée-sortie

Type	Nom	Signification	Type	Nom	Signification
Entrée	dcy	bouton poussoir démarrage cycle	Sortie	E1	ouverture de la cuve de chargement
	F1	détection wagonnet 1 plein		E2	ouverture de la trappe de vidange
	F2	détection wagonnet 2 plein		MD	rotation moteur à droite
	F3	wagonnet1 en station A		MG	rotation moteur à gauche
	F4	wagonnet 2 en station A (sous la cuve de chargement)	Entrée	ft1 & ft2	variables internes : détection des fins de temporisation 1 et 2
	AUT	interrupteur de choix du mode de fonctionnement	Sortie	T1 & T2	variables internes : lancement (activation) des temporisations 1 et 2

-2°-Grafcet de niveau 2**Remarque**

Pour la boucle de retour sur l'entrée de la séquence simultanée, même remarque que pour la solution 2 de l'exercice 5 page 29. Corriger le grafcet en conséquence.

Exercice 2.10

Deux chariots automatisés de manutention CM1 et CM2 assurent respectivement les manutentions entre un quai A et un quai B. Leur présence est contrôlée en A par SA1 et SA2, et en B par SB1 et SB2.

Ils peuvent partir en même temps du quai A, mais CM2 ne peut repartir du quai B que lorsque CM1 est arrivé en A. Si les deux chariots sont présents en A, leur départ simultané est autorisé par une action sur un bouton de démarrage cycle dcy.

1° Donner le grafcet de niveau 2 de la commande (pour simplifier on négligera les opérations de chargement et de déchargement, pour nous occuper uniquement des déplacements).

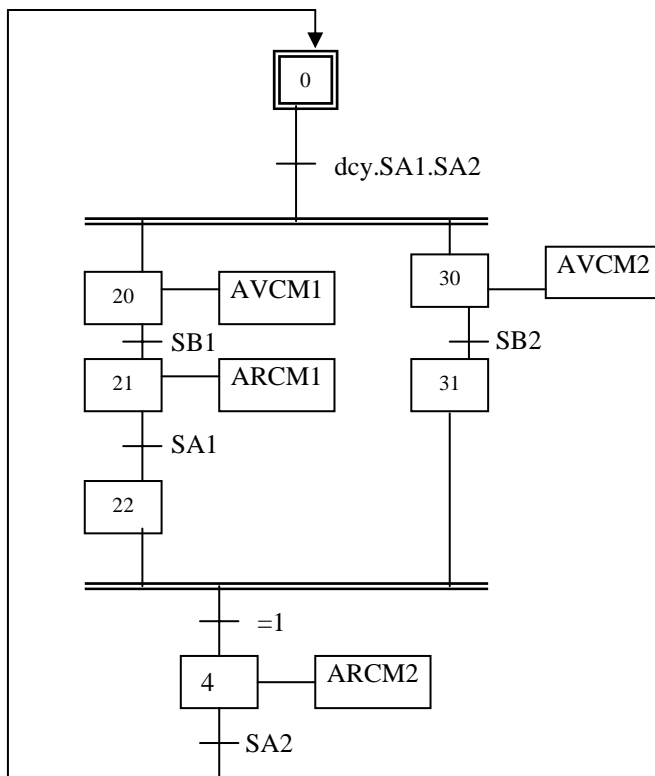
2° Le fonctionnement est modifié de la manière suivante: si les chariots ont effectué 10 allers/retours, on retourne à l'état initial et un nouvel appui sur dcy est nécessaire. Sinon le système boucle automatiquement sans intervention de l'opérateur. Donner le nouveau grafcet.

Solution exercice 2.10

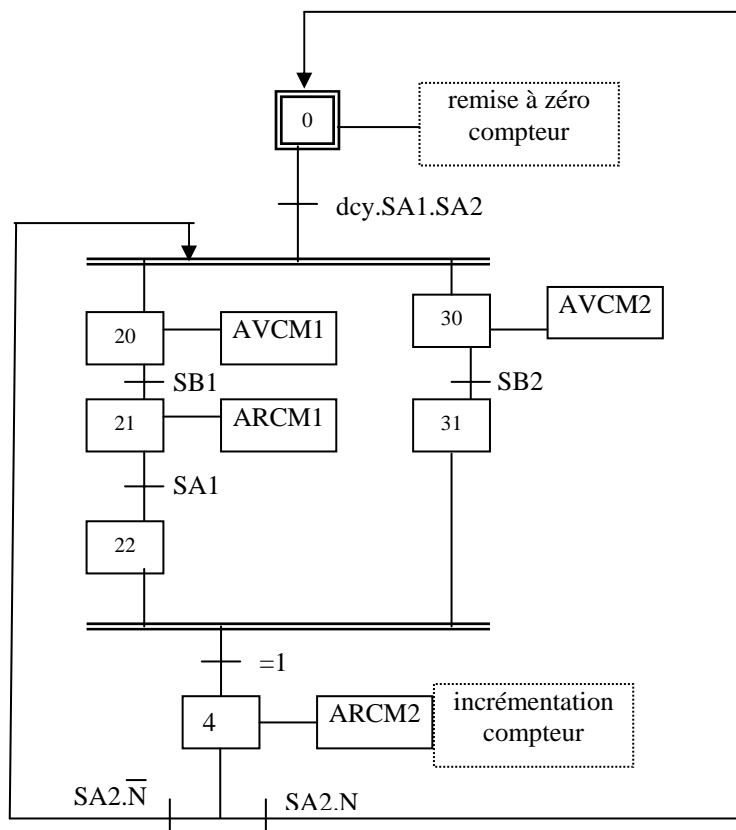
-1°--a- Tableau des variables d'entrée-sortie

Type	Nom	Signification
Entrée	dcy	bouton poussoir de démarrage cycle
	SA1	détecteur chariot CM1 en position A
	SA2	détecteur chariot CM2 en position A
	SB1	détecteur chariot CM1 en position B
	SB2	détecteur chariot CM2 en position B
	N	compteur de cycles (N=1: signifie 10 cycles effectués)
Sortie	AVCM1	commande avance chariot CM1
	ARCM1	commande retour chariot CM1
	AVCM2	commande avance chariot CM2
	ARCM2	commande retour chariot CM2

1°-b-Grafcet de niveau2



2° Nouveau grafcet avec compteur de cycles



Remarque

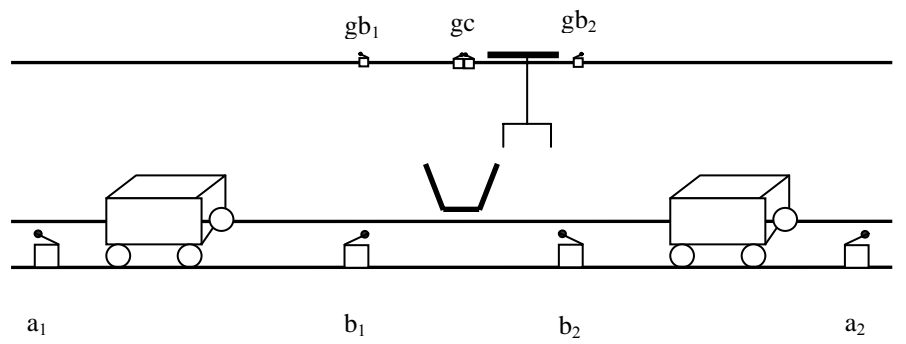
Pour la boucle de retour sur l'entrée de la séquence simultanée, même remarque que pour la solution 2 de l'exercice 5 page 29. Corriger le grafcet en conséquence.

Exercice 2.11 : quai de chargement et de déchargement à l'aide de vérins

Donner le grafcet de niveau 2 de la commande de l'automatisme décrit à l'exercice 1.6

Solution**-1°Tableau des variables d'E/S**

ENTREES		SORTIES	
Variable	Signification	Variable	Signification
dcy	bouton poussoir démarrage cycle	VT1, VT2	commandes vérins de translation simple effet 1 ou 2
a1, b1	détecteurs chariot C1 en a1 ou b1	VH1+, VH1-	Commandes droite (sortie) et gauche (rentrée) du vérin double effet VH1
a2, b2	détecteurs chariot C2 en a2 ou b2	VH2+, VH2-	commandes du vérin double effet VH2
C1p, C2p	détecteur chariot C1 (ou C2) plein	MDG, $\overline{\text{MDG}}$	commandes de mise à 1 et remise à zéro de la mémoire de déchargement
gb1, gb2, gc	grue de déchargement en b1, b2, au centre	TGD, TGG	translation à droite ou à gauche de la grue de déchargement
pb, ph	grue en position basse ou haute	DG, MG	descente et montée de la grue
p0, pf	pince ouverte ou fermée	FP, OP	fermeture et ouverture de la pince
mdg	état logique 1 de la mémoire de déchargement		

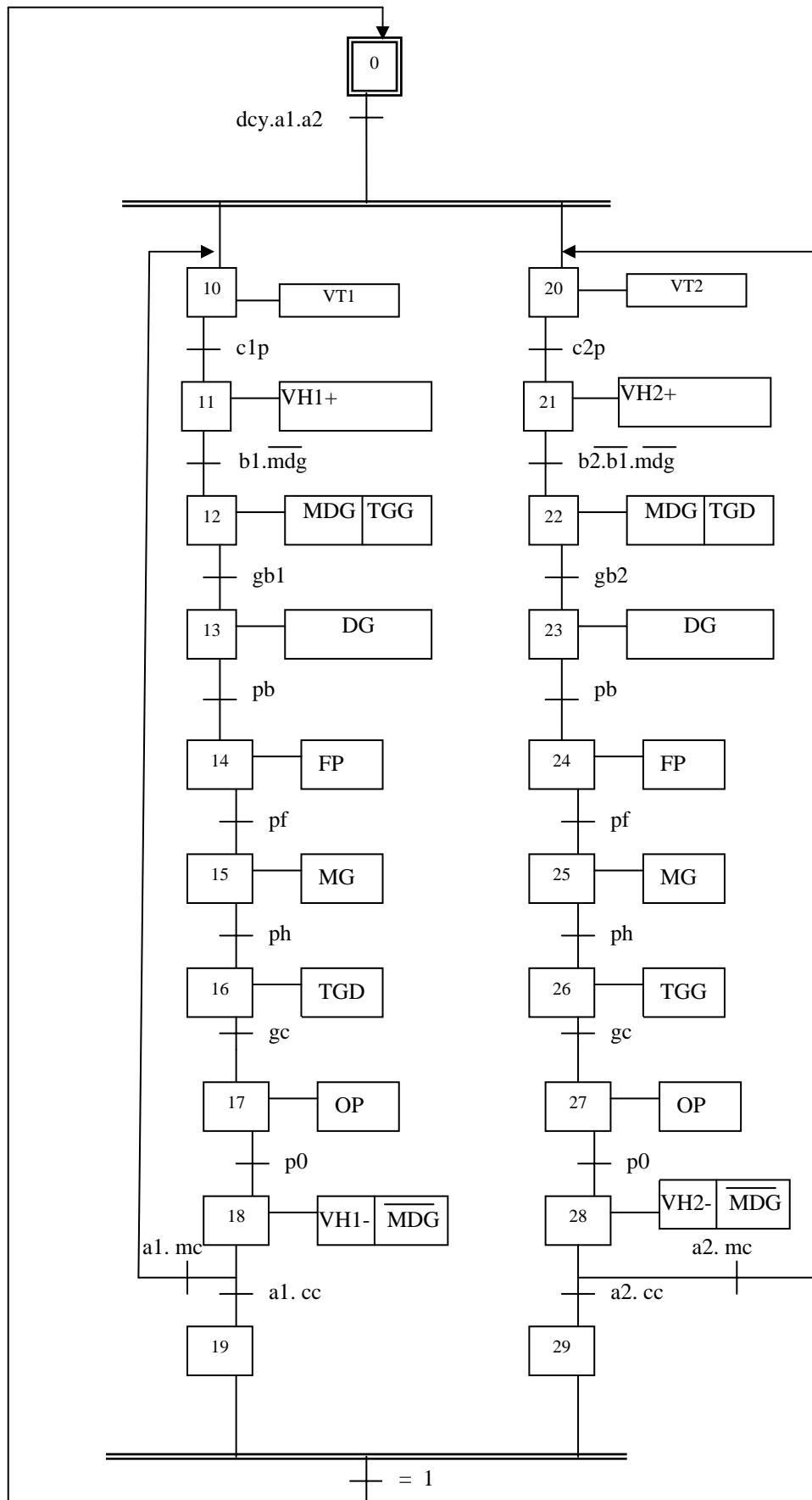
**-2°-Grafcet de niveau 2 de la commande**

La mémoire de déchargement joue le rôle de jeton pour l'accès à la grue.

Sur le grafcet version 1, l'utilisation d'une séquence simultanée fait clairement apparaître l'indépendance des deux branches qui peuvent travailler en parallèle. Cependant, à cause des étapes d'attente, aucun système (chariot + vérin) ne peut utiliser la grue deux fois de suite dans le cas du fonctionnement cycle par cycle (contrainte qui n'existe pourtant pas dans l'énoncé).

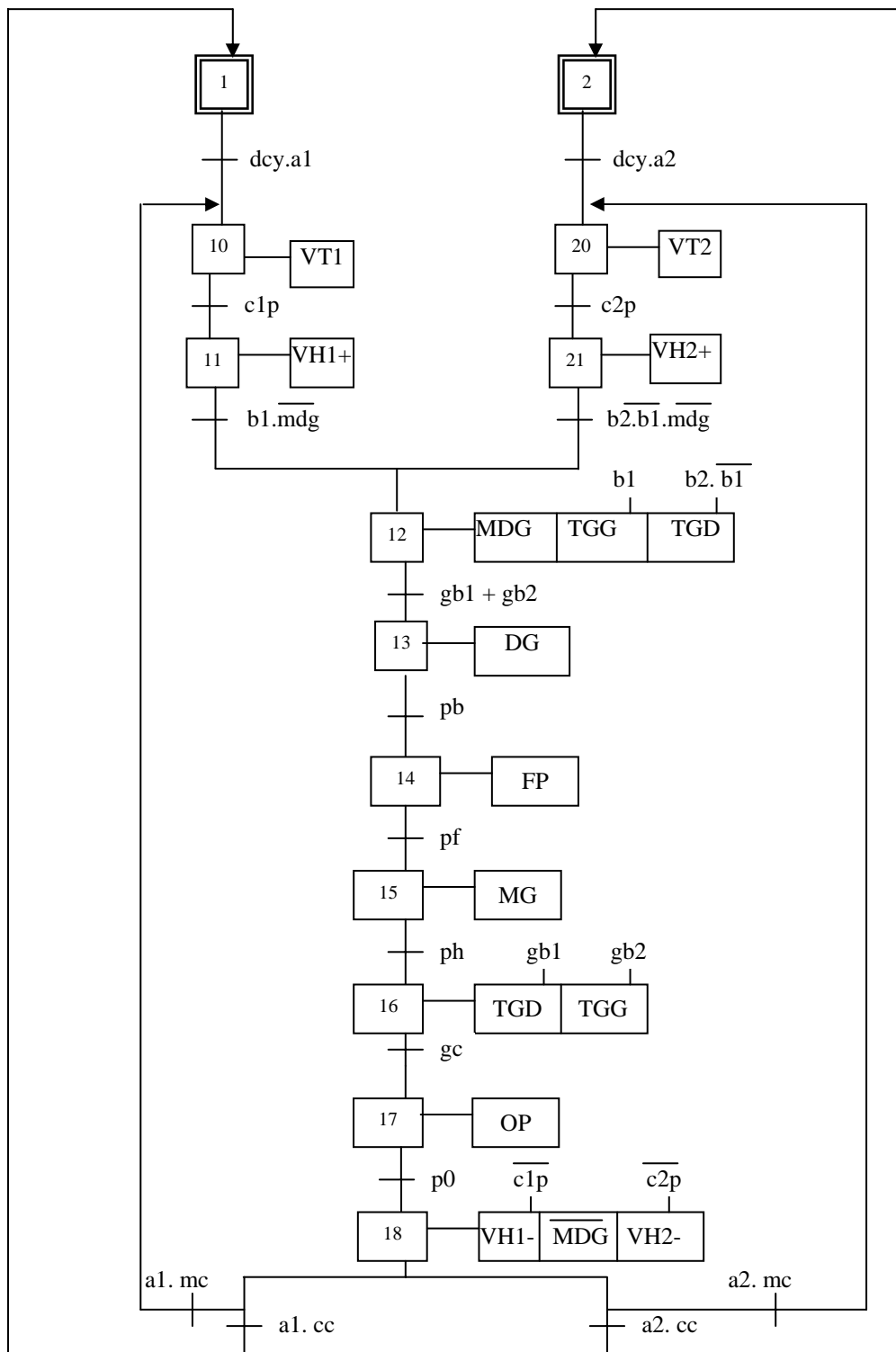
De plus, en introduisant le produit b_2b_1 dans la réceptivité qui suit l'étape 21, on a rendu la branche de gauche prioritaire.

Grafcet version 1: avec séquences simultanées



Grafcet version 2: solution optimisée sans séquences simultanées

On observe sur le graphe précédent une redondance importante lors des séquences de déchargement avec la grue. Comme la séquence simultanée n'est pas indispensable (indépendance totale du travail des vérins et de leurs résultats), on utilisera simplement deux branches parallèles indépendantes qui vont se rejoindre à l'aide d'un aiguillage (convergence en ou), avec une synchronisation et une priorité pour l'accès à la ressource commune représentée par la grue. Cela permet d'optimiser le grafcet et de lever la contrainte précédente engendrée par les étapes d'attente.

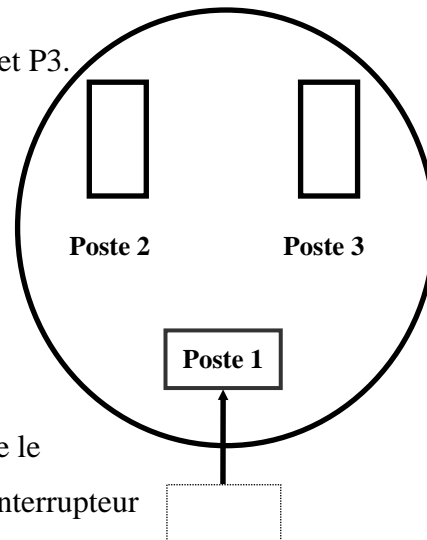


Exercice 2.12 *Unité de perçage-taraudage*

Un plateau tournant dessert 3 postes de travail: P1, P2 et P3.

Les opérations effectuées en chacun sont différentes:

- poste P1: chargement et évacuation
- poste P2: perçage
- poste P3: taraudage

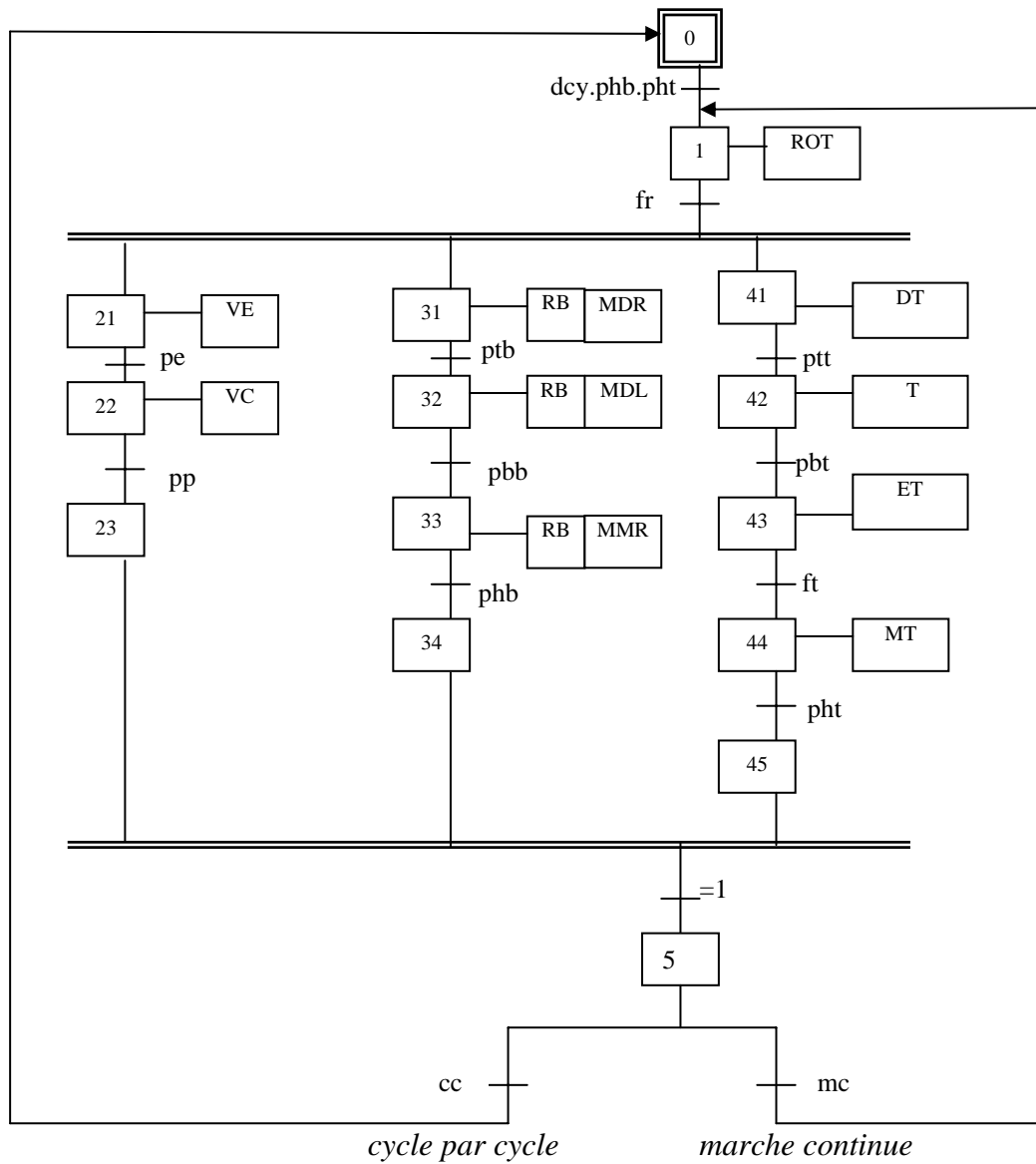
**CAHIER DE CHARGES:**

Un bouton de démarrage cycle (dcy) commande le début du cycle, après que l'opérateur ait choisi par un interrupteur deux positions, le mode de fonctionnement choisi: cycle par cycle (cc) ou marche continue (mc). Le plateau effectue alors une rotation (commande ROT) d'un tiers de tour. En fin de rotation détectée par fr, les trois opérations suivantes peuvent être effectuées **simultanément** :

- Au poste P1:** évacuation d'une pièce par le vérin VE. Lorsque le plateau est libre (détection par pe), une autre pièce est chargée par le vérin VC. Elle sera détectée par pp.
- Au poste P2:** commande de la rotation de broche (RB), et descente rapide de la perceuse (MDR) jusqu'à la position de perçage (ptb). Perçage ensuite en vitesse lente (MDL) jusqu'à la position basse (pbb). Remontée enfin de la perceuse en vitesse rapide (MMR) jusqu'à la position haute (phb), sans arrêter la rotation de la broche.
- **Au poste P3:** descente rapide du taraud (DT) jusqu'à la position de travail (ptt). Réalisation de l'opération de taraudage (T) jusqu'à la position basse (pbt), puis dégagement du taraud (ET) dont la fin est détectée par ft. Enfin remontée rapide de la machine (MT) jusqu'à la position haute détectée par pht.

QUESTION: Donner le grafcet de niveau 2 de la commande.

Solution exercice 2.12



Exercice 2.13 Doseur malaxeur automatique

Un malaxeur (cf figure 2.13) reçoit des produits A et B pesés par la bascule C, et des briquettes solubles amenées une par une par un tapis T. L'automatisme permet de réaliser un mélange comportant les trois produits. Le cycle de fonctionnement est le suivant :

L'action sur le bouton de départ cycle « dcy » provoque **simultanément** le pesage et l'amenée des produits :

- pesée du produit A jusqu'au repère a, puis pesage du produit B jusqu'au repère b, puis vidange de la bascule C dans le malaxeur ;
- amenée de 2 briquettes. La détection de la deuxième ne peut se faire qu'après passage du détecteur de d à \bar{d} ;

Le cycle se termine par la rotation du malaxeur durant un temps t, puis par sa vidange, la rotation du malaxeur étant maintenue pendant la vidange (vidange = basculement à droite jusqu'à fin de course puis basculement à gauche jusqu'à fin de course).

1° Donner le grafcet de niveau 2 de l'automatisme.

2° On rajoute à l'automatisme un bouton d'arrêt d'urgence AU. La détection de AU pendant la phase de pesage ou d'amenée des briquettes provoque directement un branchement à la phase de vidange. Donner le nouveau grafcet.

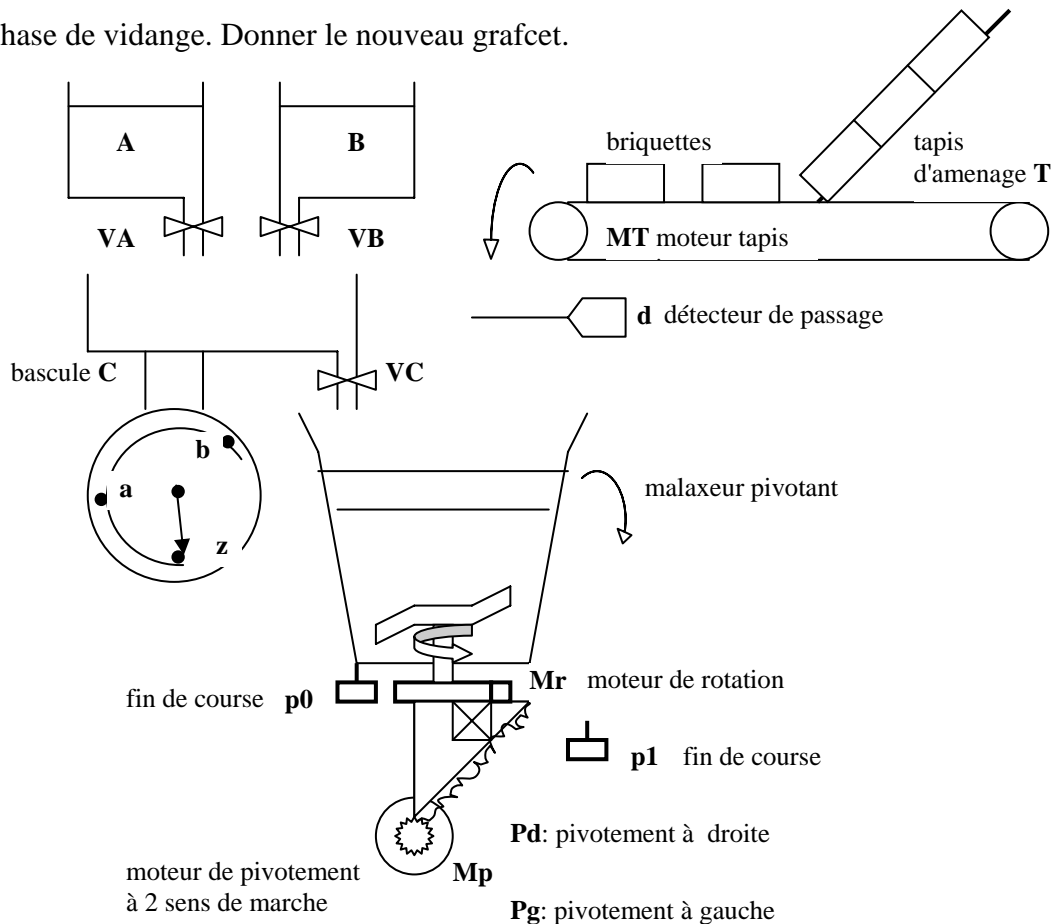
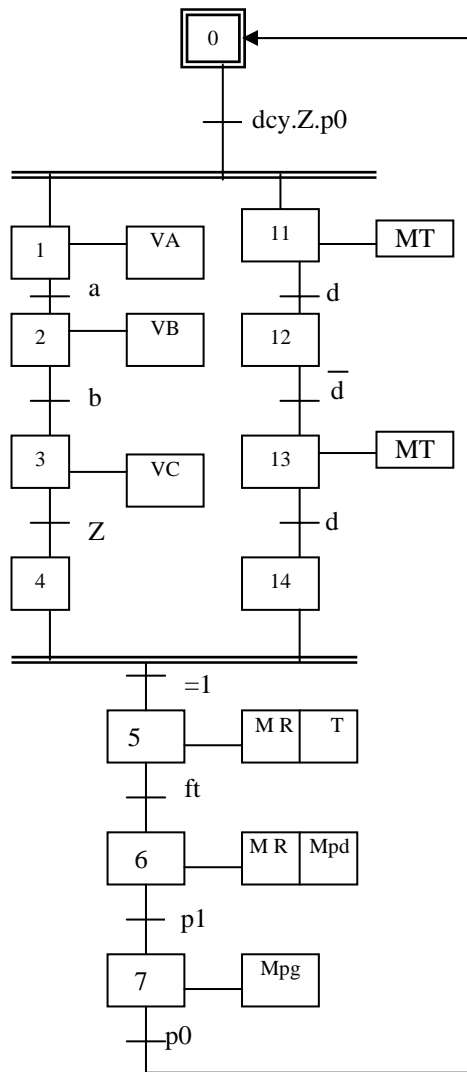
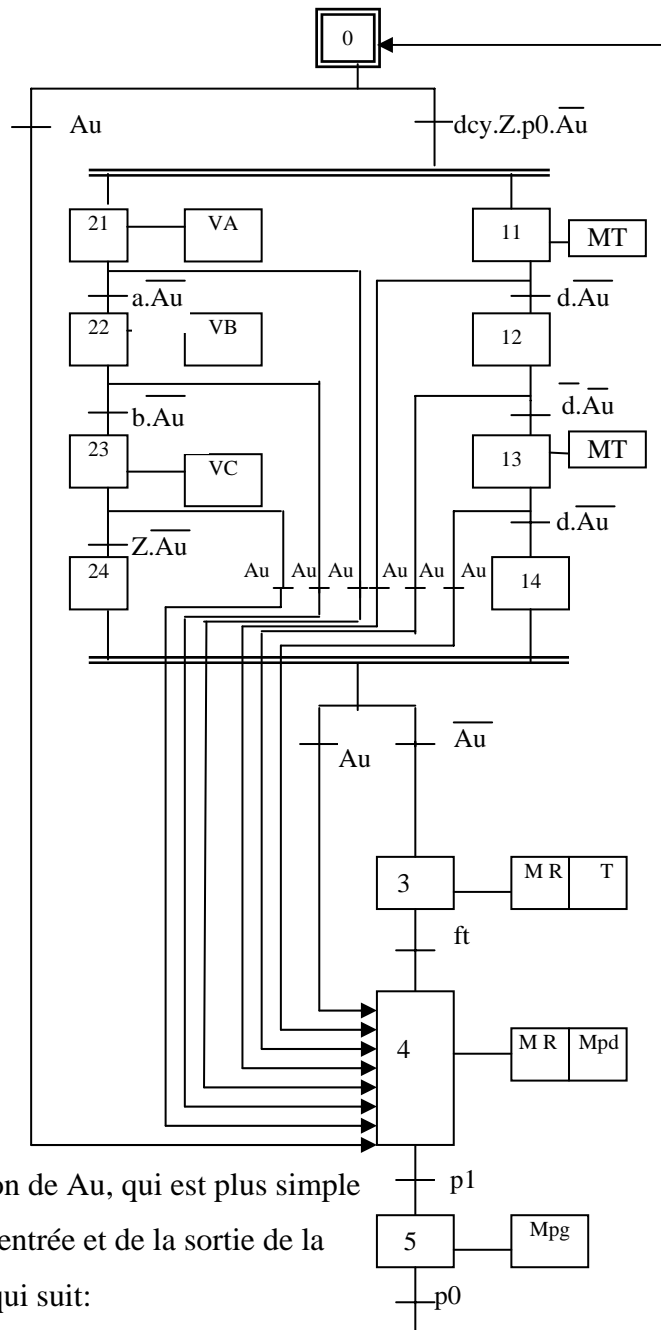


Figure 2.13: Doseur malaxeur automatique

Solution exercice 2.13Sans arrêt d'urgenceAvec arrêt d'urgenceRemarque:

Une autre façon de représenter la détection de Au, qui est plus simple et plus correcte sur le plan théorique de l'entrée et de la sortie de la séquence simultanée, consiste à faire ce qui suit:

après détection de AU, on fait aboutir les étapes 21, 22, 23 de la séquence de gauche à l'étape 24, et les étapes 11, 12, 13 à l'étape 14. Ainsi on sortira normalement de la séquence simultanée par la transition Au pour aboutir à l'étape 4.

Si on veut être encore plus rigoureux, on rajoute à la sortie de la séquence une transition (=1) et une étape d'attente. Puis on met l'aiguillage vers l'étape 3 ou l'étape 4.

Exercice 2.14 : station de mélange automatique

Soit à automatiser une station de mélange représentée sur la figure. Il s'agit de réaliser successivement (et dans l'ordre) les opérations suivantes:

* Si le niveau minimum de solution dans le mélangeur est atteint (N_{min}), et à condition d'avoir l'autorisation (Au) de démarrer le processus, on ouvre les vannes $V1$, $V2$, $V4$, et on met la pompe en marche (P).

* - Quand une quantité $B1$ de produit à dissoudre s'est déversée sur le plateau de la bascule 1, on ferme la vanne $V2$,

- quand une quantité $B2$ de produit à dissoudre s'est déversée sur le plateau de la bascule 2, on ferme la vanne $V4$,
- lorsque le niveau de remplissage maximum (N_{max}) du mélangeur est atteint, on arrête la pompe et on ferme la vanne $V1$.
- le contact de surcourse N_{lim} est ajouté en verrouillage sur la cuve du mélangeur. S'il est détecté, on ferme la vanne $V1$, on arrête la pompe P , et on ouvre l'électrovanne EV jusqu'à ce que le niveau descende au dessous de N_{max} .

* Les opérations précédentes étant achevées, on met en marche le moteur M du mélangeur, les moteurs $C1$ et $C2$ des convoyeurs, on ouvre les vannes $V3$ et $V5$.

* Après une temporisation de durée $t1$ (fin de temporisation $ft1$) on arrête les convoyeurs et on ferme les vannes $V3$ et $V5$.

* Ceci étant fait, après une temporisation $T2$ (fin de temporisation $ft2$) on arrête le moteur du mélangeur.

A l'initialisation, sur l'ordre de reprise Rep , le système doit :

- vidanger le mélangeur par l'électrovanne EV jusqu'à N_{min} ,
- mettre les convoyeurs en marche arrière ($AC1$ et $AC2$) pendant une durée $t1$, de manière à récupérer les restes des produits qui pourraient s'y trouver encore.

Pour des raisons de sécurité on prévoit un arrêt d'urgence Au . Si ce bouton est détecté pendant les phases de remplissage des bascules, on arrête simplement l'action en cours qui reprendra sur l'ordre Rep si Au a disparu.

Si Au est détecté en période de mélange, il entraîne un arrêt complet qui rend de ce fait le produit impropre à l'utilisation. La procédure de reprise, si AU a disparu, consiste à vidanger le mélangeur et à récupérer les produits comme dans la phase d'initialisation.

QUESTION: Donner la grafcet de niveau 2 de la commande.

Remarque: Pour simplifier le graphe, on utilisera une variable interne $M14$ (qui est la mémorisation de l'état de l'étape $X14$) qui indiquera la non détection de Au . Tant que l'étape

X14 est inactive ($M14 = 0$), pratiquement aucune action n'est possible. Au départ du cycle l'étape 14 est active.

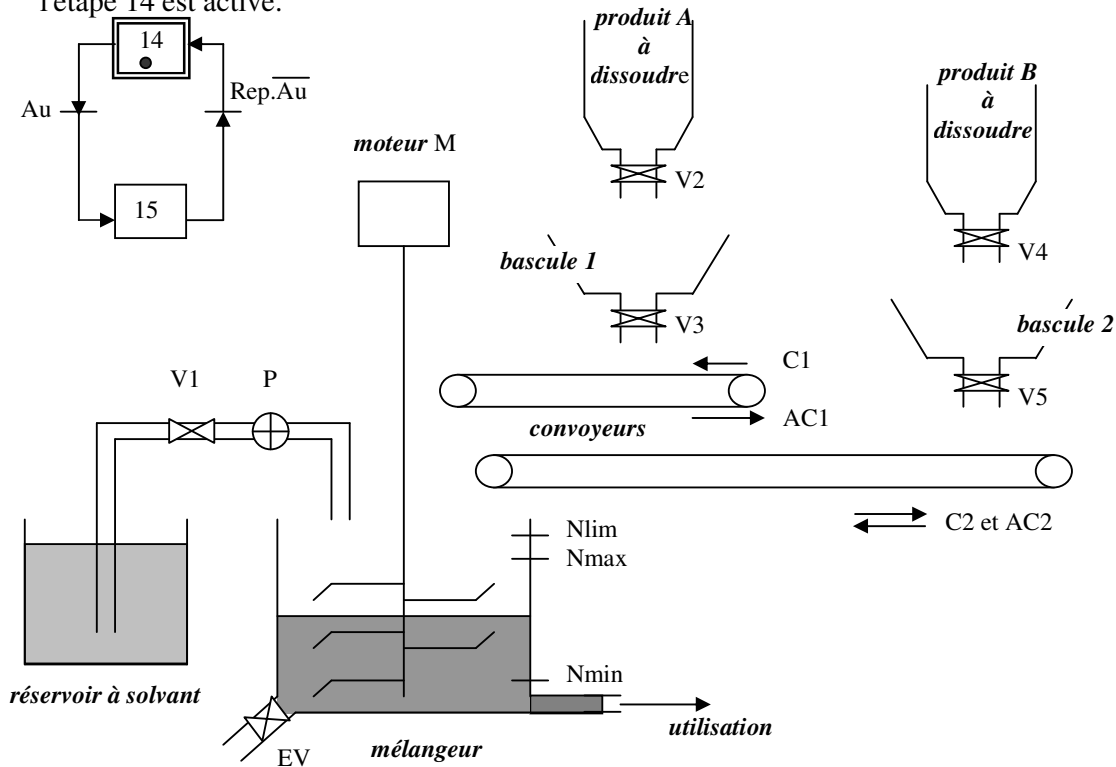


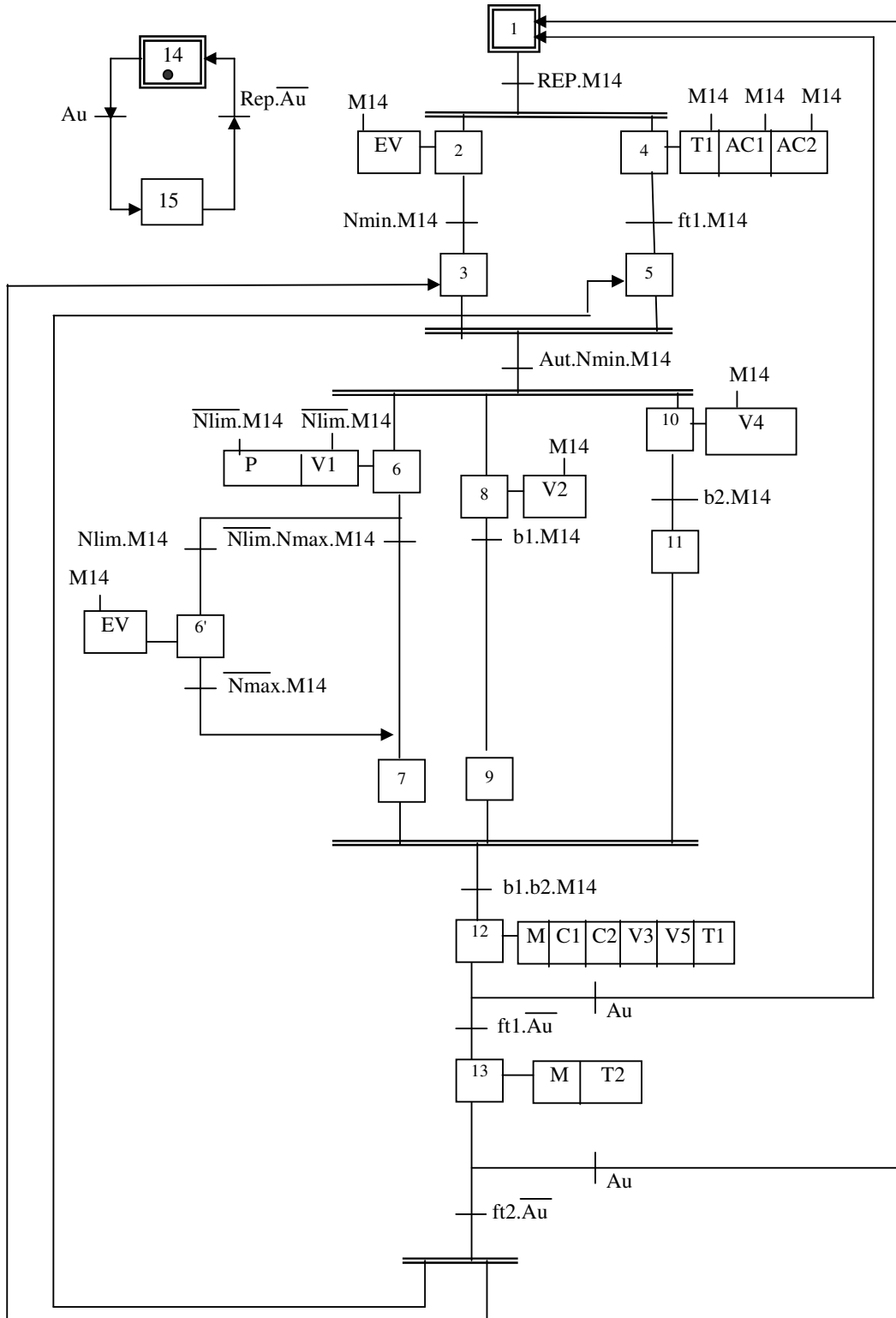
Figure 2.14: station de mélange automatique avec arrêt d'urgence

Solution exercice 2.14

1° Tableau des variables d'entrée sortie

<i>Variable</i>	<i>Nature</i>	<i>Description</i>	<i>Variable</i>	<i>Nature</i>	<i>Description</i>
REP	entrée	ordre de réinitialisation	EV	sortie	électrovanne de vidange
Au	" "	arrêt d'urgence	V1	" "	vanne alimentation solvant
Aut	" "	autorisation de départ cycle	V2	" "	vanne produit à dissoudre A
b1	" "	niveau atteint dans bascule 1	V3	" "	vanne vidange bascule 1
b2	" "	niveau atteint dans bascule 2	V4	" "	vanne produit à dissoudre B
Nmin	" "	niveau min de produit atteint	V5	" "	vanne de vidange bascule 2
Nmax	" "	niveau max de produit atteint	M	" "	moteur du mélangeur
Nlim	" "	niveau de débordement atteint → vidanger jusqu'à niveau en dessous de Nmax	C1	" "	marche avant convoyeur 1
			AC1	" "	marche arrière convoyeur 1
			C2	" "	marche avant convoyeur 2
M14	interne	mémoire de l'étape 14 (indique son état. Sa valeur 0 indique la détection de l'arrêt d'urgence)	AC2	" "	marche arrière convoyeur 2
			P	" "	pompe de solvant
ft1 & ft2	internes	fins des temporisations 1 & 2	T1 & T2	interne	lancement temporisations 1 & 2

2°Grafcet de niveau 2 de la commande



Exercice 2.15: centrale à béton

On désire obtenir de 1 à 5 m³ de béton à partir d'un malaxeur d'une contenance de 1m³, en mélangeant 4 agrégats A1 à A4 et du ciment choisi parmi 2 qualités différentes C1 ou C2. Les pesages des agrégats et du ciment s'effectuent séparément par deux trémies peseuses solidaires de deux bascules avec tête, possédant des repères photoélectriques préalablement réglés.

L'opérateur ayant choisi le nombre de m³ désiré et la qualité de ciment à employer, appuie sur le bouton poussoir de démarrage du cycle (dcy). Si les bascules sont à zéro et les trappes de vidange fermées (conditions initiales), le cycle se déroule comme suit:

a) Dosage pondéral

Agrégats: les agrégats sont posés cumulativement dans la même trémie peseuse A, chaque repère sur la tête de bascule commande le passage au produit suivant: l'agrégat A1 est dosé jusqu'au repère a1, l'agrégat A2 jusqu'au repère a2, etc...

Ciments: le ciment choisi est dosé en même temps sur une deuxième trémie peseuse B jusqu'au repère correspondant sur la tête de la bascule.

b) Remplissage du malaxeur

Le pesage des composants terminé, le malaxeur vide et en marche et sa trappe de vidange fermée, autorisent le remplissage de celui-ci par les trappes de vidange des trémies peseuses VA et VC, par la mise en route du tapis TPA et de la vis VPC, suivant la séquence suivante:

- Ouverture de VA jusqu'au zéro de la bascule agrégats et mise en route du tapis TPA, l'ouverture de VA et la rotation se prolongeront pendant, respectivement 3'' et 10'' après le zéro de bascule.
- Ouverture de VC 5s après VA jusqu'au zéro de la bascule ciment et mise en route de la vis VPC, dont la rotation se prolongera pendant 3s après la fermeture de VO.

c) Malaxage et adjonction d'eau

Le moteur MLX du malaxeur ayant été préalablement mis en route dès le départ du cycle et n'étant arrêté qu'à la fin du cycle, le remplissage du malaxeur peut commencer. Une temporisation de 10'' après le début du malaxage commande l'ouverture de la vanne d'arrivée d'eau. Il sera compté 150 impulsions avant de la refermer.

Le temps de malaxage doit être de 1 minute.

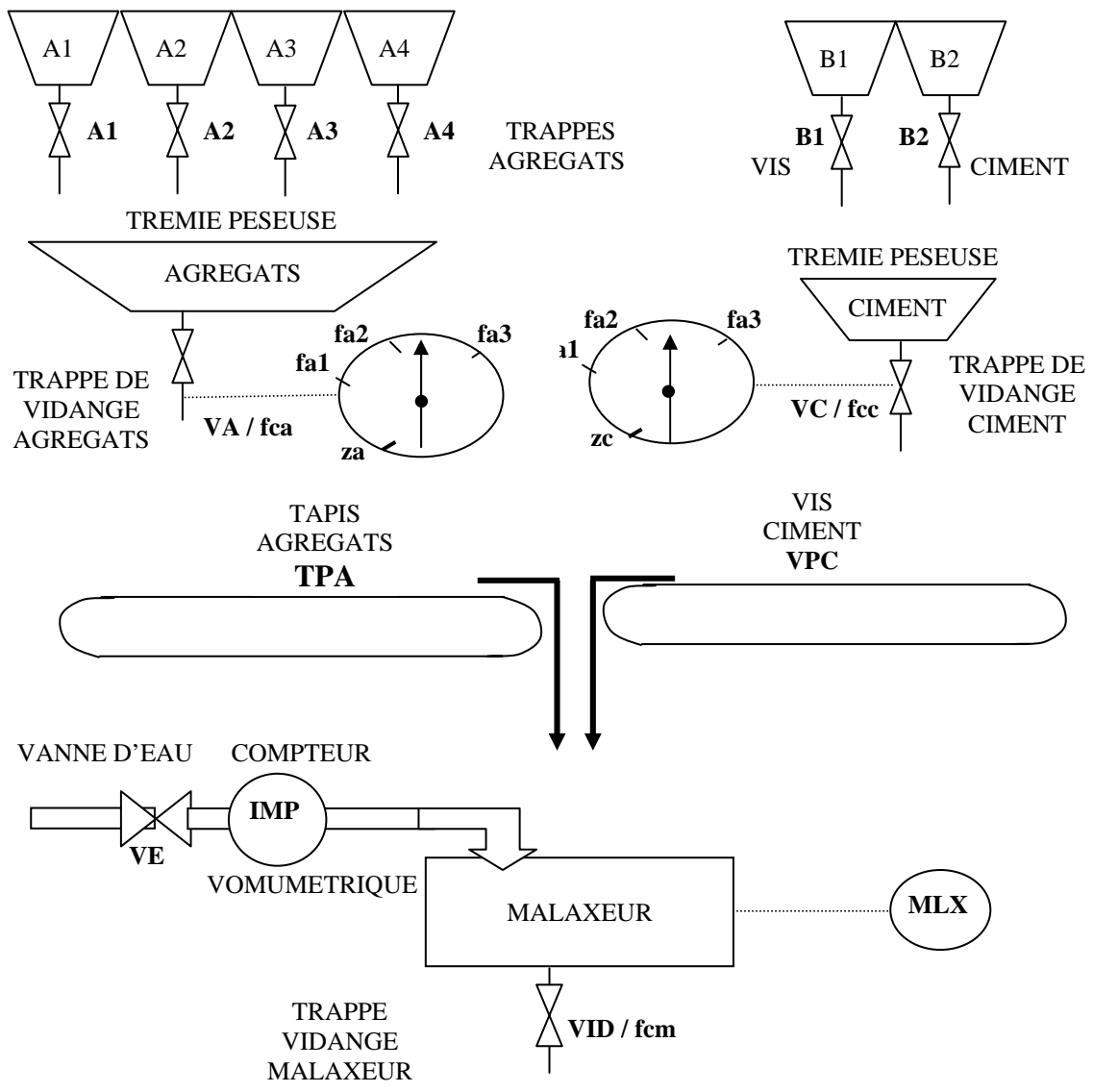
d) Vidange du malaxeur

La temporisation de malaxage expirée autorise la vidange complète du malaxeur, la trappe VID s'ouvrant pendant 10s.

Un nouveau cycle de dosage s'effectue si nécessaire, dès que la vidange des trémies peseuses est terminée (vannes VA et VC fermées) tant que le nombre de m³ désiré par l'opérateur n'est pas obtenu.

QUESTION: Après avoir dressé le tableau des variables d'entrée-sortie, donner le grafctet de niveau 2 de la commande.

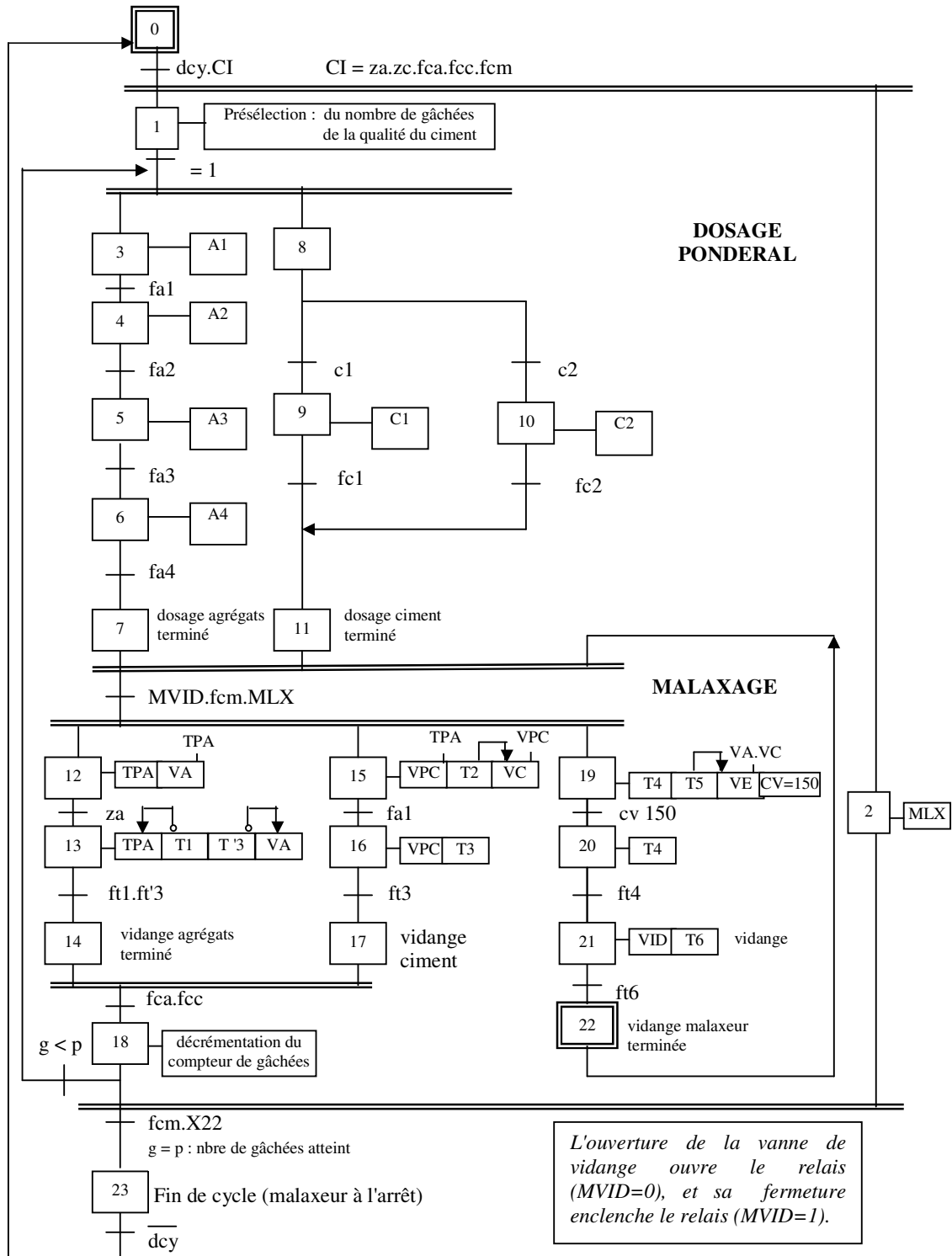
CENTRALE A BETON
SCHEMA SYNOPTIQUE DE L'INSTALLATION



Solution exercice 2.15**CENTRALE A BETON**
TABLEAU DES VARIABLES D'ENTREE, DE SORTIE ET INTERNES

<u>DESIGNATION DES VARIABLES</u>	<u>SYMBOLES</u>	<u>TYPES DE VARIABLES</u>
Zéro de bascule "agrégats"	za	Entrée
Poids agrégats 1 atteint	fa1	Entrée
Poids agrégats 2 atteint	fa2	Entrée
Poids agrégats 3 atteint	fa3	Entrée
Poids agrégats 4 atteint	fa4	Entrée
Zéro de bascule "ciment"	zc	Entrée
Poids ciment 1 atteint	fc1	Entrée
Poids ciment 2 atteint	fc2	Entrée
Choix du ciment 1	c1	Entrée
Choix du ciment 2	c2	Entrée
Début de cycle	dcy	Entrée
Marche tapis agrégats	TPA	Sortie
Marche tapis ciment	VPC	Sortie
Vidange des trémies agrégats	VA	Sortie
Vidange des trémies ciment	VC	Sortie
Marche malaxeur	MLX	Sortie
Vidange malaxeur	VID	Sortie
Addition eau	VE	Sortie
Trappe A fermée	fca	Entrée
Trappe C fermée	fcc	Entrée
Comptage volumétrique	CV = 150	Interne
Conditions initiales	za.zc fca.fcc.fcm=CI	Interne
Temporisation du tapis agrégats	T1 = 10sec.	Interne
Temporisation de la vis à ciment	T2 = 5sec.	Interne
Temporisation du tapis ciment	T3 =3sec.	Interne
Temporisation arrivée d'eau	T5 = 15sec.	Interne
Durée maximale du malaxage	T4 =60 sec.	Interne
Durée de la vidange du malaxeur	T6 =10 sec.	Interne
Mémorisation vidange malaxeur	MVID	Relais à accrochage
Vanne malaxeur fermée	fcm	Entrée
Agrégats 1 à 4	A1 à A4	Sorties
Ciment 1 ou 2	C1 ou C2	Sorties

**CENTRALE A BETON
GRAFSET DE NIVEAU 2 DE LA COMMANDE**



Exercice 2.16

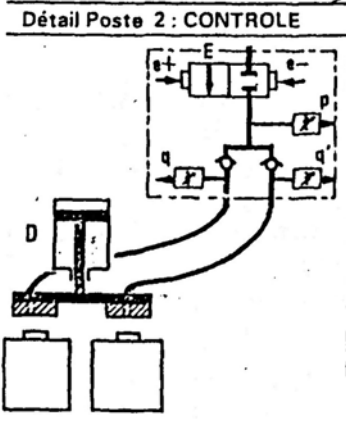
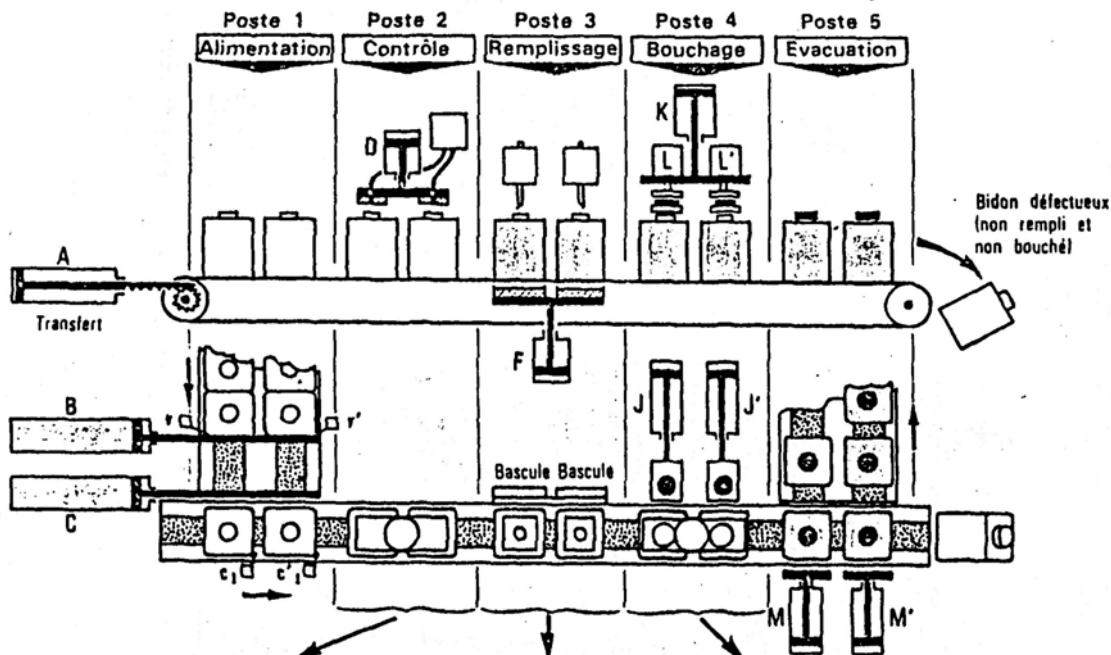
CARROUSEL DE REMPLISSAGE REALISE A L'AIDE DE SEQUENCEUR PNEUMATIQUE

DESCRIPTION

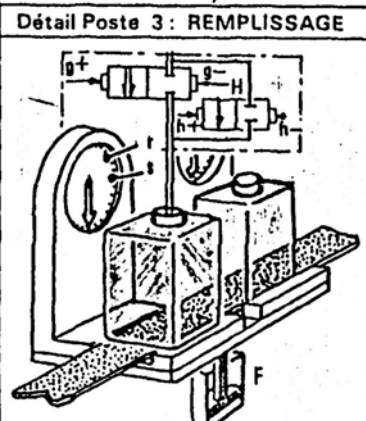
Cette machine est destinée à contrôler, remplir et boucher automatiquement des bidons de liquide (détergents, produits chimique, parfum, etc...)

Une bande, avancée pas à pas par le vérin A, transfère de poste à poste un groupe de 2 bidons. Les 5 postes (Alimentation, contrôle, remplissage, bouchage, évacuation) déroulent leur cycle simultanément, en traitant chacun des 2 bidons à la fois.

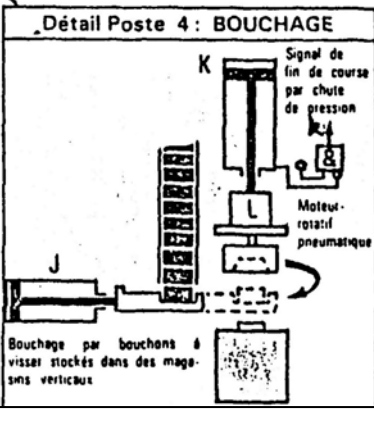
Lorsque le poste "Contrôle" détecte un bidon défectueux, l'information est transférée aux postes suivants pour interdire le remplissage puis le bouchage et enfin l'évacuation normale du bidon défectueux : on voit là la nécessité de registres à décalages.



Après fermeture des bidons par vérin D, contrôle d'étanchéité par pression test amenée par la vanne E: les manostats q ou q' n'émettent un signal que si la pression



Le vérin F soulève les deux bascules, chacun correspondant à un bidon.
 -Remplissage rapide par vanne G et H jusqu'au poids détecté par r
 -Remplissage lent par vanne H jusqu'au poids détecté par s.



Bouchage par bouchons à visser stockés dans des magasins verticaux

- Transfert bouchon J+
- Descente pour prise bouchon K+
- Remontée K-
- Retrait transfert J-
- Descente et rotation bouchon K+L+
- Remontée et arrêt rotation K- arrêt L

Le signal k est utilisé en 2 points de la course du vérin K (k1 et k0)

QUESTION: Après avoir dressé le tableau des variables d'entrée-sortie, donner le grafcet de niveau 2 de la commande.

Solution exercice 2.16**1°TABLEAU DES VARIABLES**Variables d'entrée

<u>Variable</u>	<u>Signification</u>
a1 & a0	fins de course du vérin A
b1 & b0	" " " B
c0	fin de course du vérin C (position fermée)
c1 & c'1	détecteurs de présence des bidons sur le tapis d'entraînement
v & v'	" " " " en entrée du poste d'alimentation
d1 & d0	fins de course du vérin D
p	manostat de détectin de pression P dans les 2 bidons
q & q'	manostats d'émission de signal dès que la pression baisse dans l'un des bidons
(q1 & q1), (q'1 & q'1)	} signaux indiquant la présence ou l'absence de baisse de pression respectivement pour les bidons 1 et 2, et cela dans l'ordre pour les postes de remplissage , de bouchage, d'évacuation.
(q2 & q2), (q'2 & q'2)	
(q3 & q3), (q'3 & q'3)	
r & r'	fin du remplissage rapide pour les bidons 1 et 2
s & s'	" " " lent pour les bidons 1 et 2
J1 et J0	fins de courses du vérin J d'alimentation en bouchons pour le bidon 1
J'1 et J'0	" " " J' d'alimentation en bouchons pour le bidon 2
k1 et k0	" " " K
m1 & m0	" " " M (pour le bidon 1)
m'1 & m'0	" " " M' (pour le bidon 2)
f1 & f0	" " " F de soulèvement des bascules
dcy	bouton poussoir de démarrage cycle

Variables de sortie

<u>Variable</u>	<u>Signification</u>
A+ & A-	Commandes respectives droite et gauche du vérin de transfert A
B+ & B- } C+ & C- }	" " " " " des vérins B et C du poste d'alimentation
D+ & D- } F+ & F- }	" " " " " des vérins D et F
e+ & e-	" " d'ouverture et fermeture de l'électrovanne e
g1+ & g1-	ouverture et fermeture de la vanne de remplissage rapide g1 pour bidon 1

g2+ & g2-	ouverture et fermeture de la vanne de remplissage rapide g2 pour bidon 2
h1+ & h1-	" " " " " " lent h1 " " 1
h2+ & h2-	" " " " " " " " h2 " " 2
J+ & J-	} Commandes respectives droite et gauche des vérins J et J' d'alimentation en bouchons pour les 2 bidons
J'+ & J'-	
K+ & K-	" " " " " " du vérin K
L+ & L-	} Mise en route et arrêt des moteurs de rotation pour vissage des bouchons
L'+ & L'-	
M+ & M-	} Commandes droite et gauche des 2 vérins d'évacuation des bidons remplis
M'+ & M'-	

Variables internes

<u>Variable</u>	<u>Signification</u>
T1 & ft1	Lancement des temporisations et détection des fins de temporisation
T2 & ft2	
T'2 & ft'2	

2°UTILISATION DU REGISTRE A DECALAGE

Les variables q et q' (une pour chaque bidon) transmettent leurs valeurs respectivement aux variables (q1,q2,q3) et (q'1,q'2,q'3): q1 et q'1 pour le poste de remplissage, q2 et q'2 pour le poste de bouchage, q3 et q'3 pour le poste d'évacuation.

Pour le poste de contrôle on $q_0 = q$, $q'_0 = q'$. Si l'une (ou les 2) des variables est à 1, cela signifie que le bidon correspondant est défectueux.

Ces 4 variables sont transmises par le biais de registres à décalage, c'est à dire quand le vérin A est actionné → un pas est effectué → les quatres actions suivantes sont effectuées simultanément:

a° Les bidons du poste de contrôle sont transférés au poste de remplissage. Les registres à décalage transmettent les valeurs de q0 et q'0 (accompagnant les dits bidons) dans les registres q1 et q'1.

b° Les bidons qui étaient avant dans le poste de remplissage sont transférés au poste de bouchage, accompagnés de leurs valeurs respectives q1 et q'1 qui sont transférées (par décalage des registres) dans les variables q2 et q'2.

c° Les bidons qui étaient avant dans le poste de bouchage sont transférés au poste d'évacuation, accompagnés de leurs valeurs respectives q_2 et q'_2 qui sont transférées (par décalage des registres) dans les variables q_3 et q'_3 .

d° Les bidons qui étaient au poste d'évacuation possèdent leurs variables q_3 et q'_3 .

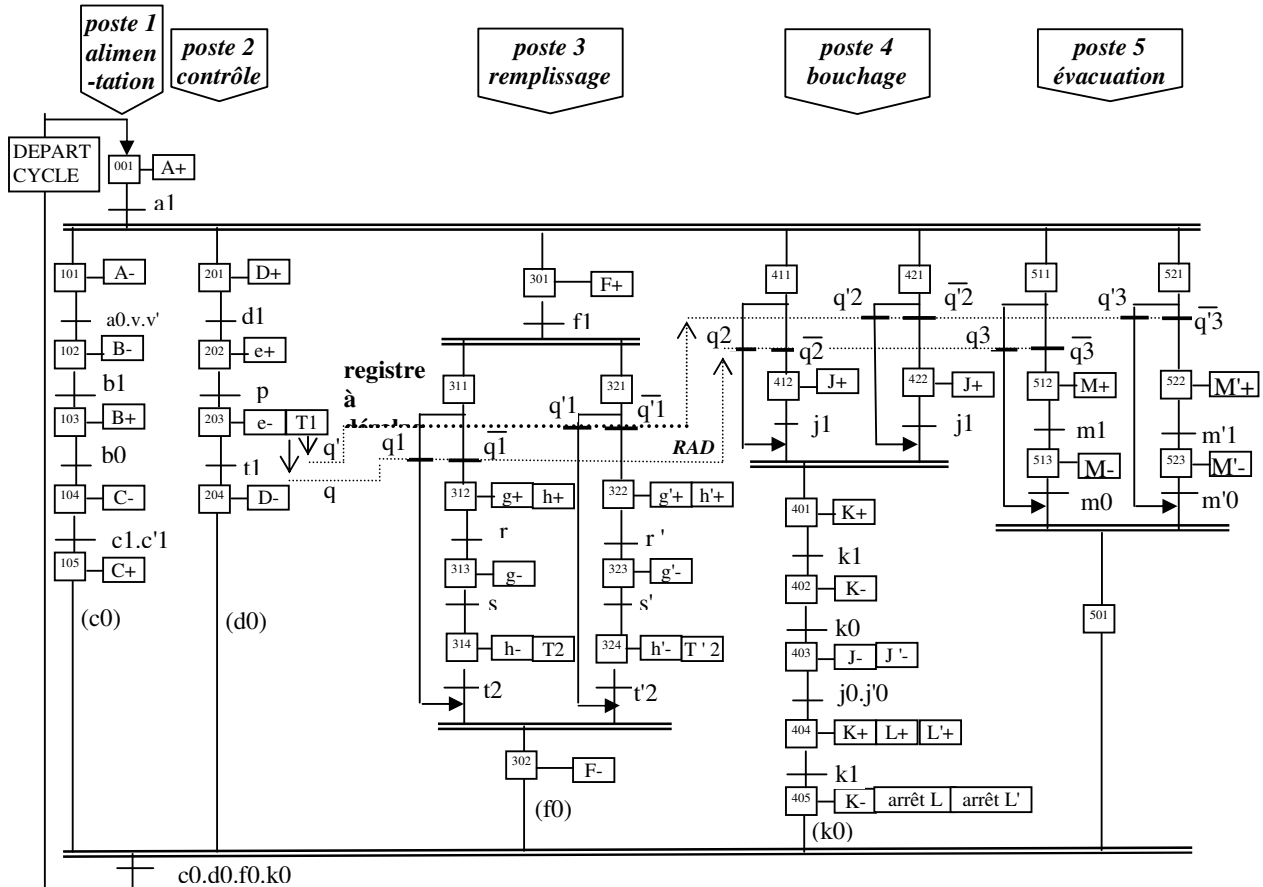
- Si l'une des variables est à 1 (ou les 2), cela signifie que le bidon correspondant (ou les 2) est défectueux, → le vérin M ou M' correspondant (ou les 2) n'est pas actionné, → le bidon (ou les 2) défectueux va tomber dans le bac des bidons défectueux.
- Si l'une des variable q_3 ou q'_3 (ou les 2) est à 0, le bidons correspondant (ou les 2) est bon et bien rempli, → le vérin M ou M' correspondant (ou les 2) est actionné, → le bidon est évacué sur le tapis d'évacuation.

3°GRAFCET DE NIVEAU 2 DE LA COMMANDE**Cycle**

Le cycle complet est décrit par le diagramme des étapes ci-dessous. Après l'action A+ du vérin A de transfert, les postes déroulent simultanément leur cycle propre.

Marches

- Automatique
- Cycle par cycle
- Réglage: commande manuelle séparée de chaque phase à partir du séquenceur.

**Schéma de puissance - capteurs**

- Le schéma de puissance est très classique:
 - chaque vérin double effet est commandé par un distributeur à quatre voies pression-pression.
 - les moteurs rotatifs L et L' sont commandés par un distributeur à 3 voies pression-pression.
- Les capteurs sont disposés en fonction des besoins constatés sur l'organiphase.

Diagramme fonctionnel

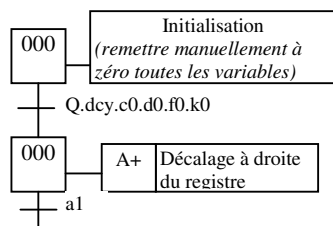
Le diagramme fonctionnel ci-dessus met en évidence toutes les branches parallèles.

- Les branches propres à chaque poste (1, 2, 3, 4, 5) se déroulent simultanément en une divergence en ET et une convergence en ET.
- Au poste 2 (contrôle) la phase 203 peut conduire à l'émission d'un signal "bidon défectueux" q ou q'. Ce signal est transféré par registre à décalage pour être utilisé à chacun des postes suivants.
- Dans chacun des 3 postes 3, 4 et 5, deux sous branches correspondent à chacun des 2 bidons. Chacune de ces sous branches peut être sautée en cas de présence du signal q ou q'.
- En fonction des branches parallèles on est conduit à ajouter les phases ou modules suivants:
 - * modules d'activation des branches 311, 321, 411, 421, 511, 521, pour permettre le maintien de la validation du ET convergent, dans le cas où une sous branche est sautée (bidon défectueux);
 - * module de rallongement de branche 501, dans le cas où une sous branche est sautée (séquence minimum = 3 modules de phase).

Remarques

1° La phase d'initialisation n'a pas été prévue sur ce graphe. En effet puisque les cycles se déroulent simultanément dans les 5 postes, quand on commence il n'y a pas de bidon dans les postes 2 à 5. On ne doit donc rien faire dans ces postes. Pour qu'on ne fasse rien il faut donc au moment de l'initialisation mettre toutes les variables q et q' à 1. Donc on ne fait rien dans ces postes et les variables se décalent d'un cran à la fois jusqu'à ce que les véritables valeurs accompagnent les bidons qui arrivent.

Le grafcet modifié serait donc le suivant:



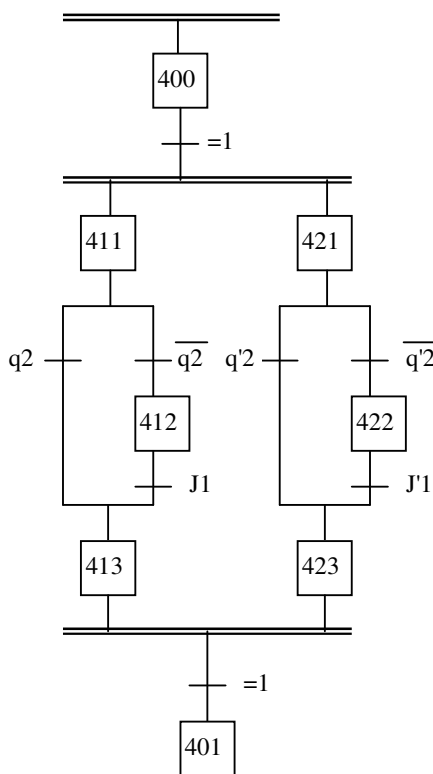
$$Q = q_0.q'_0.q_1.q'_1.q_2.q'_2.q_3.q'_3.$$

Phases de l'initialisation:

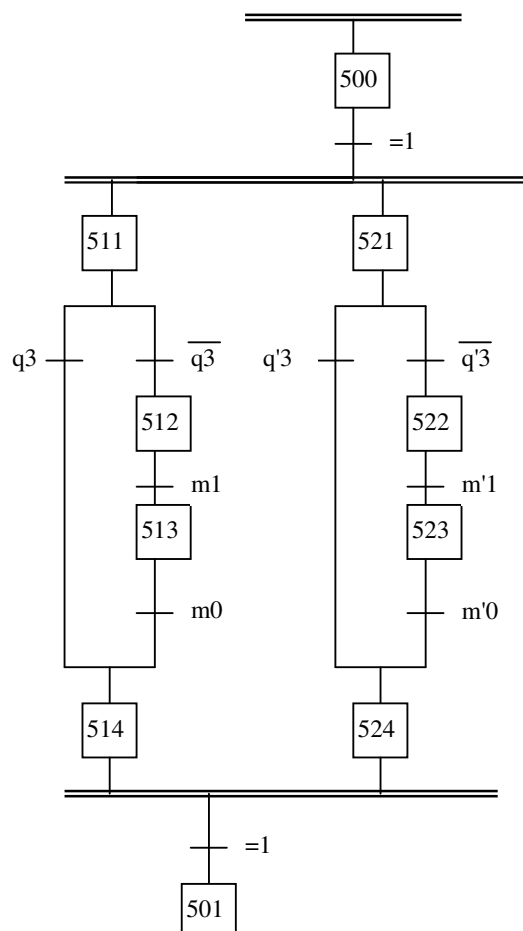
- a° mettre Q à 1;
- b° vérifier que les vérins sont rentrés;
- c° Donner le départ cycle (dcy = 1)

2° La cohérence des séquences simultanées et leur conformité stricte avec la théorie (entrée et sortie par une transition unique) nécessite également les changements mineurs suivants sur le graphe:

Poste de bouchage



Poste d'évacuation

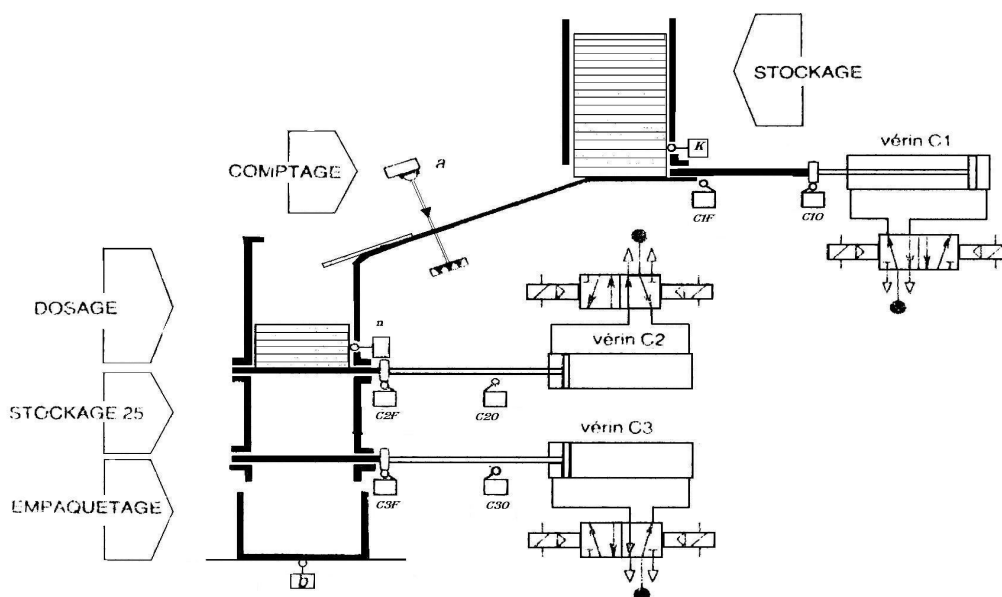


Exercice 2.17

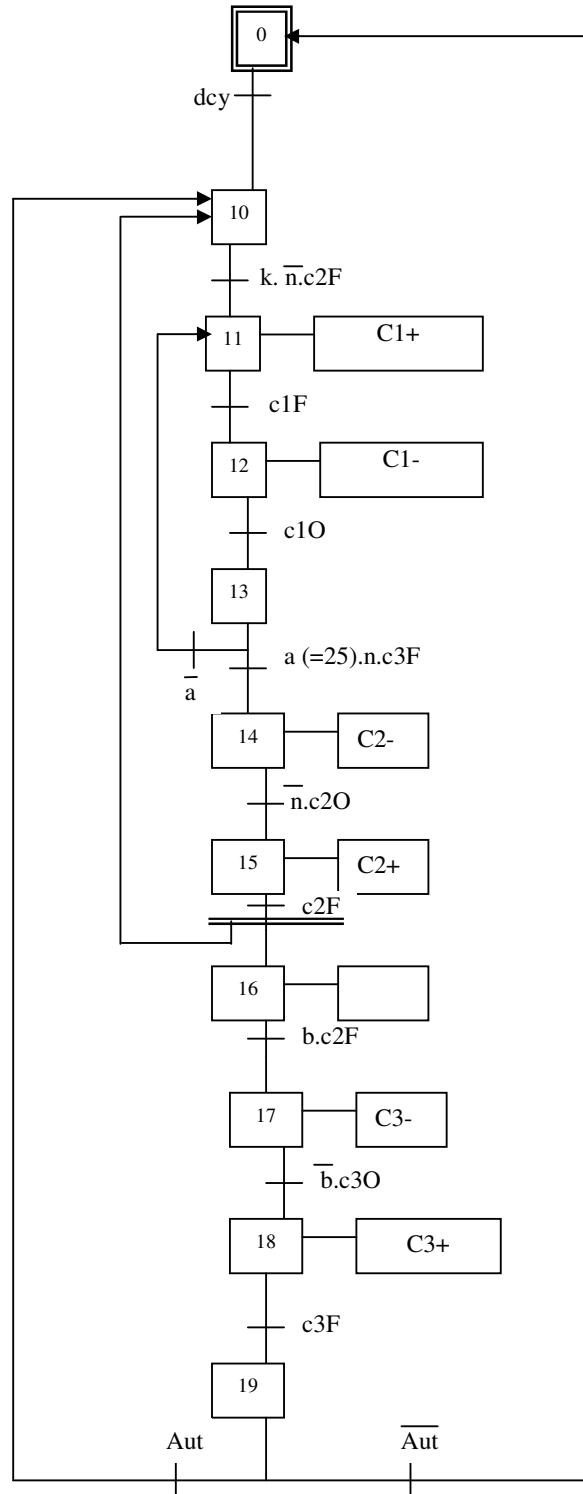
Un empaquetage de dalles plastiques est réalisé à l'aide du système automatisé de la figure, conformément au fonctionnement suivant:

- Après avoir choisi le mode de fonctionnement automatique ($aut = 1$) ou cycle par cycle ($aut = 0$), l'opérateur appuie sur le bouton de démarrage cycle (dcy).
- La présence de dalles prêtes à être évacuées est indiquée par le capteur "k". Elles sont poussées par le vérin C1 et comptées par la cellule "a". A la vingt-cinquième plaque, le vérin C1 s'arrête. Par ailleurs le vérin C1 ne pousse les plaques que si le poste de dosage est vide et si sa trappe est fermée.
- Si le paquet précédent a été emballé (stockage 25 vide), et si le poste de dosage est plein, le vérin C2 ouvre le passage vers le poste de stockage. Le capteur "n" signale la vidange complète du poste de dosage, ce qui permet la fermeture de la trappe. Le dosage peut alors recommencer, c'est à dire que 25 nouvelles dalles peuvent être envoyées dans l'alvéole de dosage.
- Si la boîte à l'empaquetage a été remplacée (front montant du capteur "b"), et si la trappe du poste de dosage a été refermée, le vérin C3 s'ouvre pour permettre l'évacuation des dalles qui tombent dans le carton.
- Après retrait de la boîte en carton pleine (détecté par la désactivation du capteur "b"), le vérin C3 referme la trappe de la zone de stockage.

QUESTION: Donner le grafcet de niveau 2 du fonctionnement de l'automatisme.



Solution approximative exercice 2.17



**- PARTIE III -
COMMANDE PAR SEQUENCEURS ELECTRIQUES**

SOMMAIRE

SOLUTION EN PAGE

Exercice 3.1 : traitement de surfaces n°2 (sous programme)	69
Exercice 3.2 : doseur malaxeur automatique avec briquettes	
Exercice 3.3 : barrière de parking	
Exercice 3.4 : unité de perçage taraudage	
Exercice 3.5 : chariots de transport de minerai (séquences simultanées)	74
Exercice 3.6 : grafctet avec séquences simultanées, sous programme, saut d'étapes	
Exercice 3.7 : grafctet avec reprise en séquence, saut d'étapes, boucle, séquences simultanées	
Exercice 3.8 : tapis roulants et 3 robots	
Exercice 3.9 : perceuse avec débouillage	
Exercice 3.10 : perçage de 2 pièces	
Exercice 3.11 : grafctet avec séquences simultanées, reprise en séquence et saut d'étapes	76
Exercice 3.12 : câblage de séquenceurs pour grafctet à séquences simultanées,	78
avec sous programmes et saut d'étapes.	
Exercice 3.13 : Supprimez les portes logiques dans les exercices des pages 71, 73, 74, 80, et remplacez les par des contacts de relais.	
Exercice 3.14 : Refaire le schéma de câblage du grafctet page 69 à l'aide de séquenceurs électriques puis pneumatiques.	

PARTIE III : COMMANDE PAR SEQUENCEURS ELECTRIQUES

Préambule:

Dans toute la suite, par commodité et pour rester compatible avec le séquenceur détaillé en cours, on utilisera le séquenceur de Télémécanique. Il est bien entendu que les solutions et principes adoptés restent valables quel que soit le type de séquenceur utilisé.

Exercice 3.1 traitement de surfaces n°2

Dans le cas d'une commande par séquenceurs électriques, donner les 2 schémas de câblage (séquencement et actions) correspondant aux grafjets modélisant l'automatisme de l'exercice 2.7. On fera 2 schémas séparés: sur l'un apparaîtra le séquencement des opérations (séquenceur ou liaisons des modules d'étapes et réceptivités), sur l'autre les alimentations et la commande des préactionneurs.

Exercice 3.2 doseur malaxeur automatique avec briquettes

Mêmes questions pour l'automatisme de l'exercice 2.13

Exercice 3.3 barrière de parking

Mêmes questions pour l'automatisme de l'exercice 2.2.

Exercice 3.4 unité de perçage taraudage

Mêmes questions pour l'automatisme de l'exercice 2.12.

Exercice 3.5 chariots de transport de minerai

Mêmes questions pour l'automatisme de l'exercice 2.9

Exercice 3.6

Considérons le grafjet suivant, avec un programme principal et un sous programme. Donner les schémas de câblage dans le cas d'une commande par séquenceur électrique (modules d'étapes de Télémécanique)

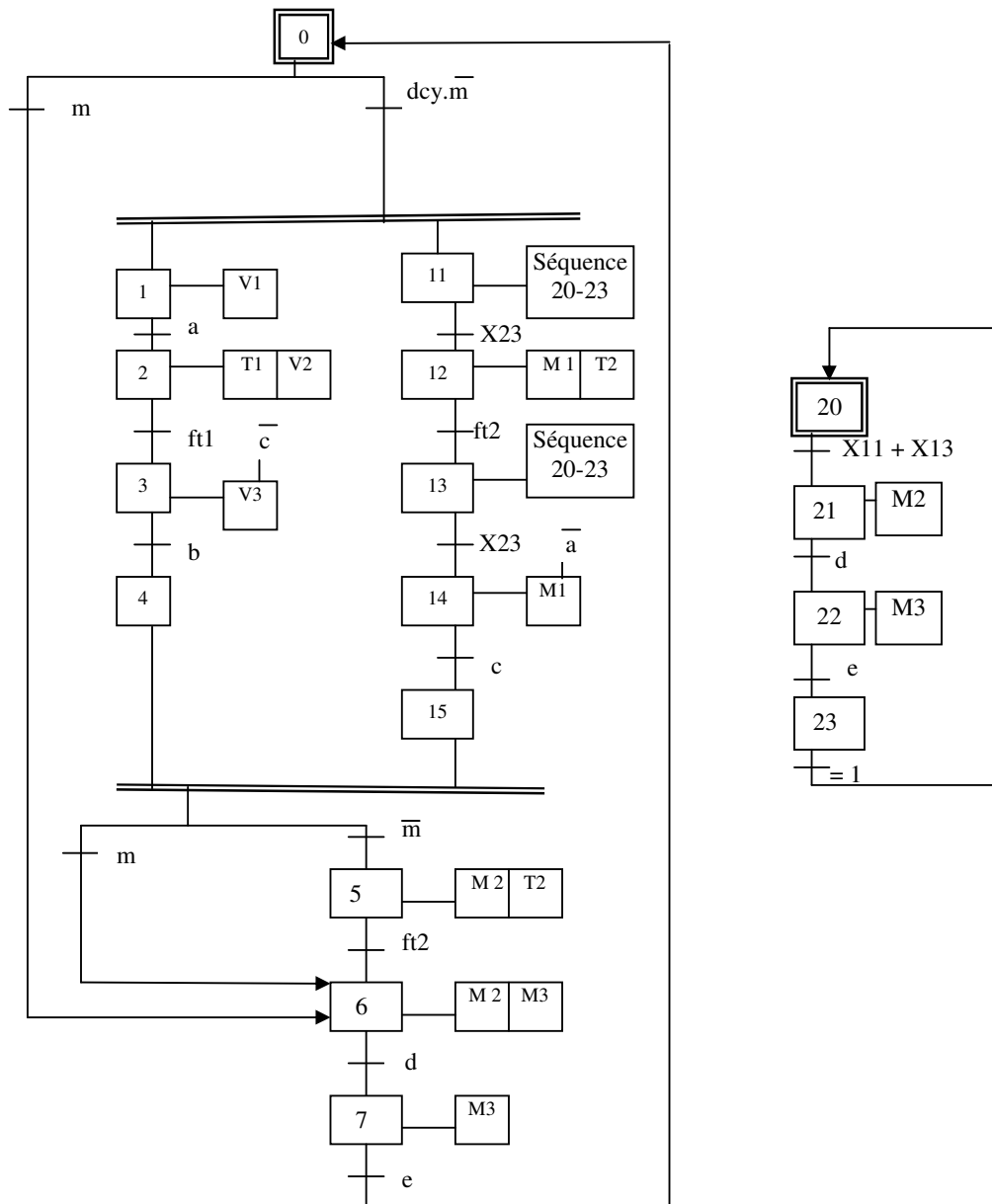


Figure 3.6:grafcets du programme principal et du sous programme

Exercice 3.7 grafcet avec reprise en séquence, saut d'étapes, boucle, séquences simultanées

On donne le grafcet suivant, dans lequel N désigne une valeur donnée par un compteur de séquences simultanées d'adresse 500: si N différent de 12 (en décimal) on refait des séquences simultanées; si N =12 on retourne à l'étape initiale. Un deuxième compteur d'adresse 400 prendra en charge la séquence de droite.

Dans le cas d'une commande par séquenceurs, donner les 2 schémas de câblage.

Remarque

Les actions sur les compteurs n'ont pas été représentées sur le grafcet. Ne pas les oublier.

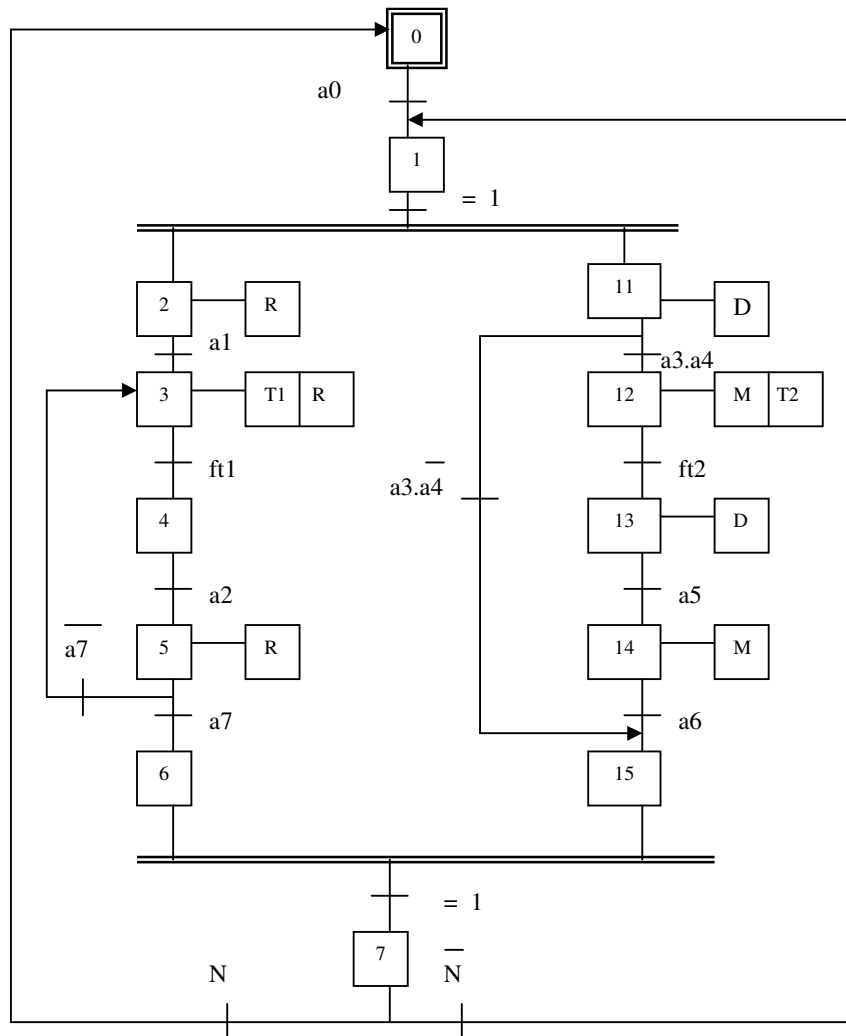


Figure 3.7: grafcet avec reprise en séquence, saut d'étapes, boucle, séquences simultanées

Exercice 3.8 tapis roulants et 3 robots

Mêmes questions pour l'automatisme de l'exercice 2.5.

Exercice 3.9 perceuse avec déburrage

Mêmes questions pour l'automatisme de l'exercice 2.4.

Exercice 3.10 perçage de 2 pièces

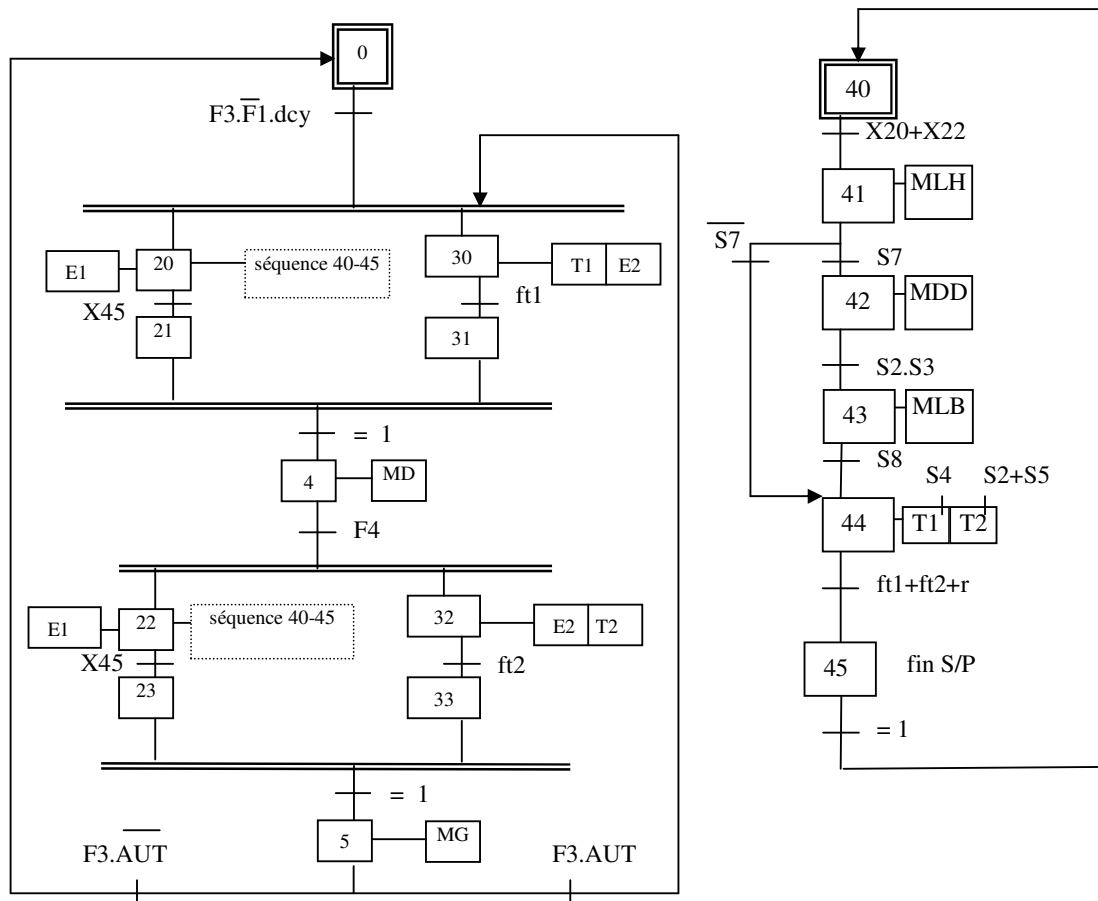
Mêmes questions pour l'automatisme de l'exercice 2.3.

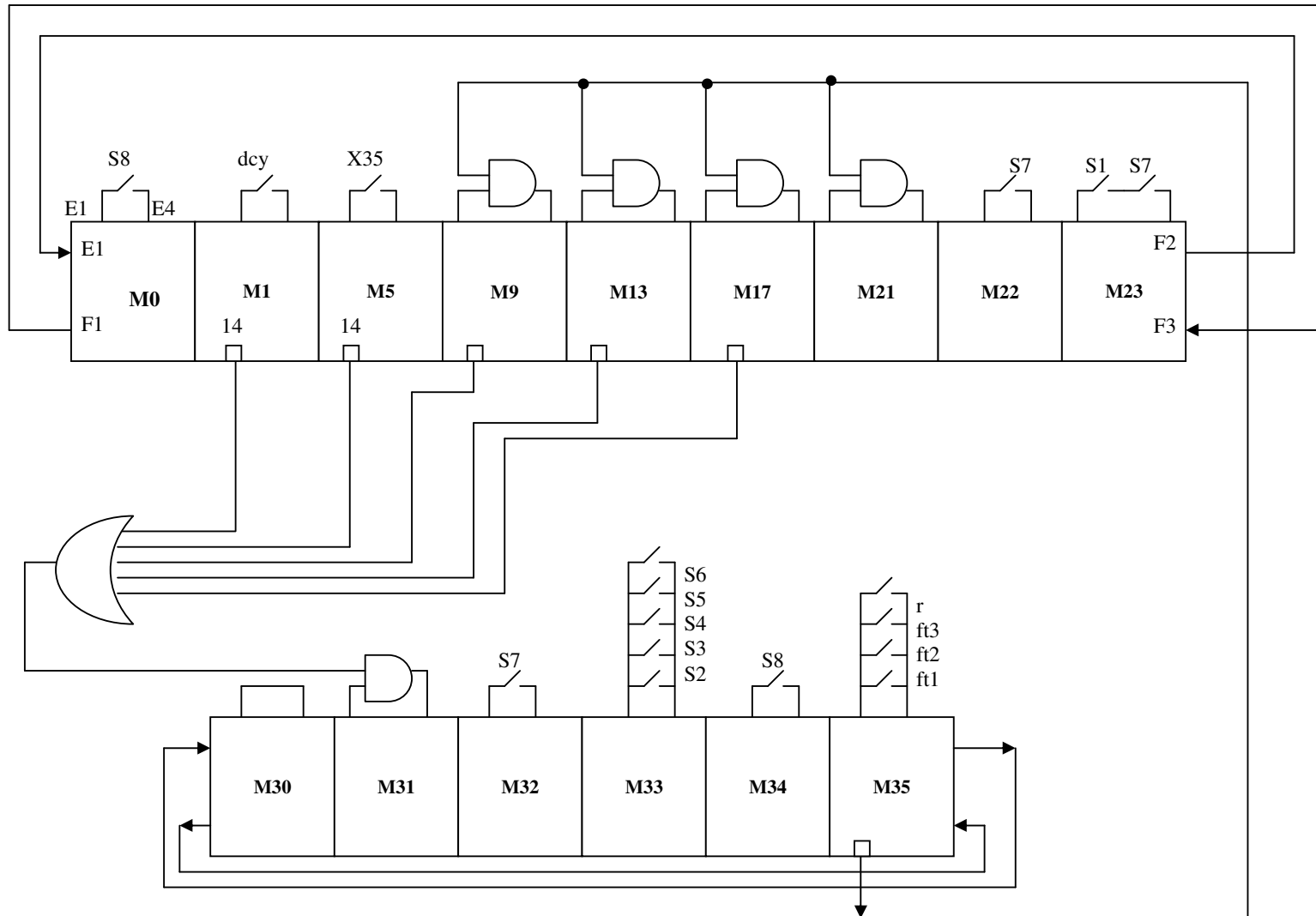
Exercice 3.11 : grafcet de l'exercice 4.10

Dans le cas d'une commande par séquenceurs électriques, donner les 2 schémas de câblage (séquencement et actions) correspondant aux grafquets modélisant l'automatisme de l'exercice 4.10. On fera 2 schémas séparés: sur l'un apparaîtra le séquencement des opérations (séquenceur ou liaisons des modules d'étapes et réceptivités), sur l'autre les alimentations et la commande des préactionneurs.

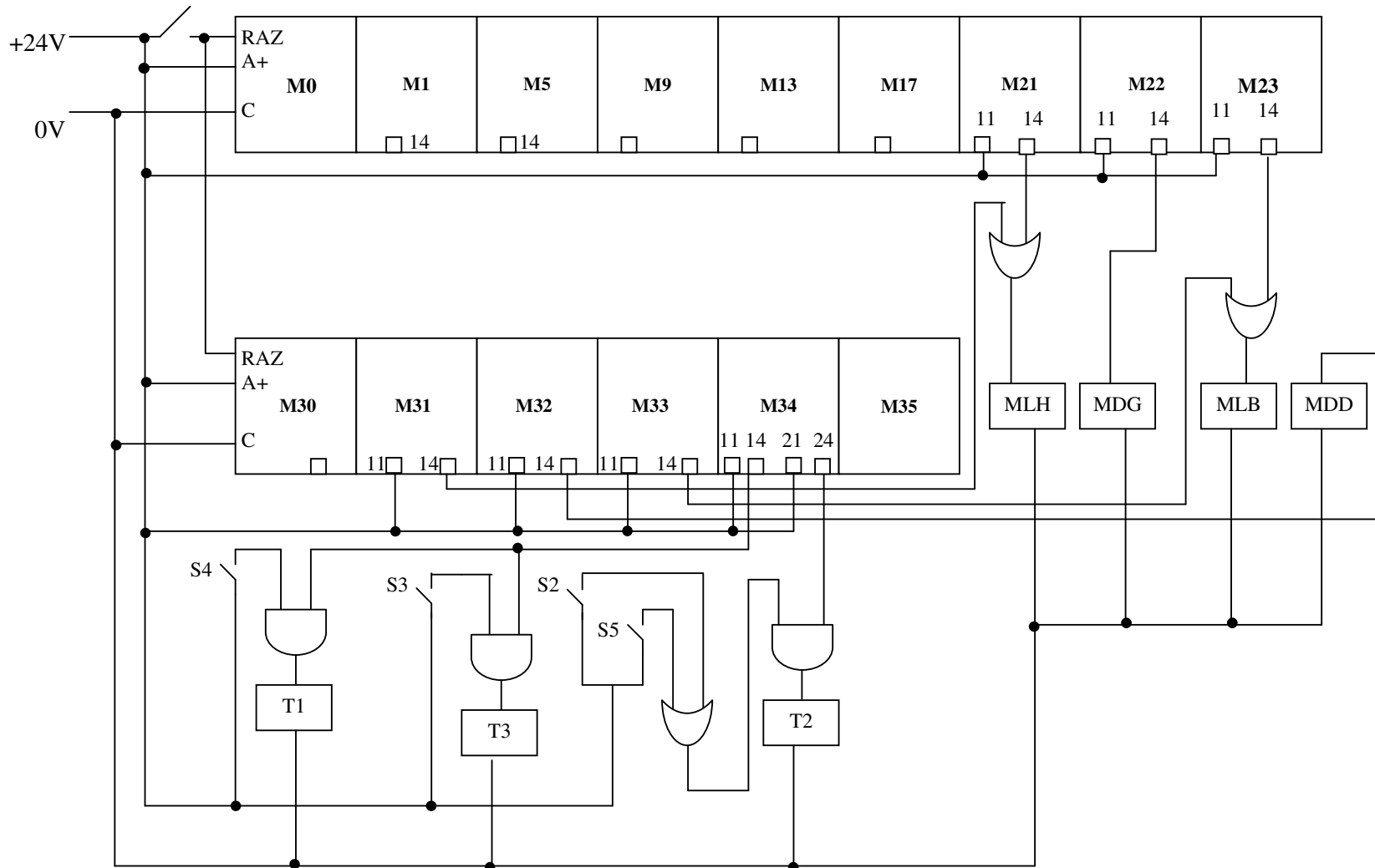
Exercice 3.12: câblage de séquenceurs

Dans le cas d'une commande par séquenceurs, donner les schémas de câblage des séquenceurs nécessaires à la commande de l'automatisme dont le fonctionnement est modélisé par les grafquets suivants:

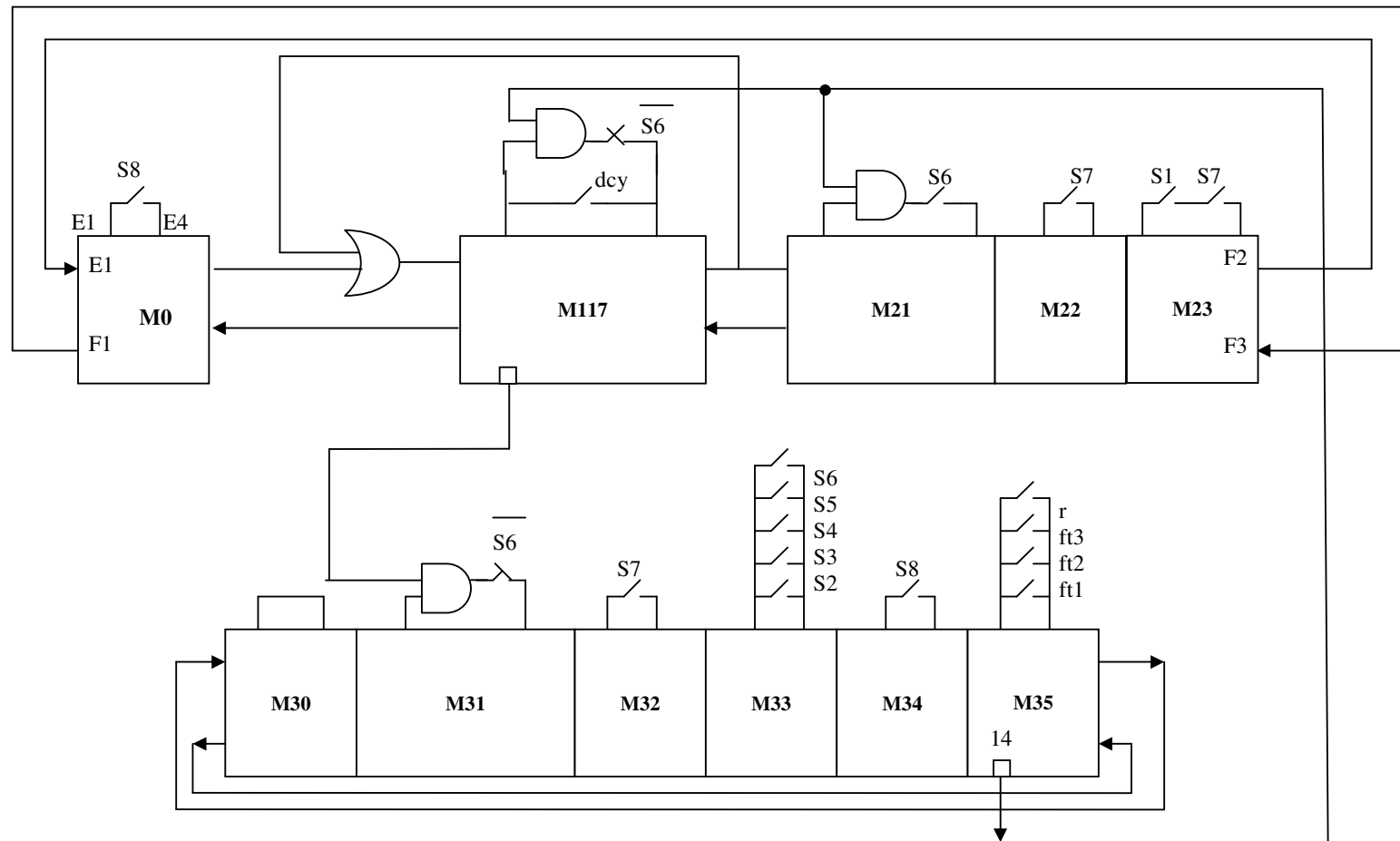


Solution exercice 3.1: traitement de surfaces n°2 (grafcet de l'automatisme de l'exercice 2.7)*-1-a-Schéma du séquenceur (câblage des modules d'étapes ou modules mémoires) de la solution1*

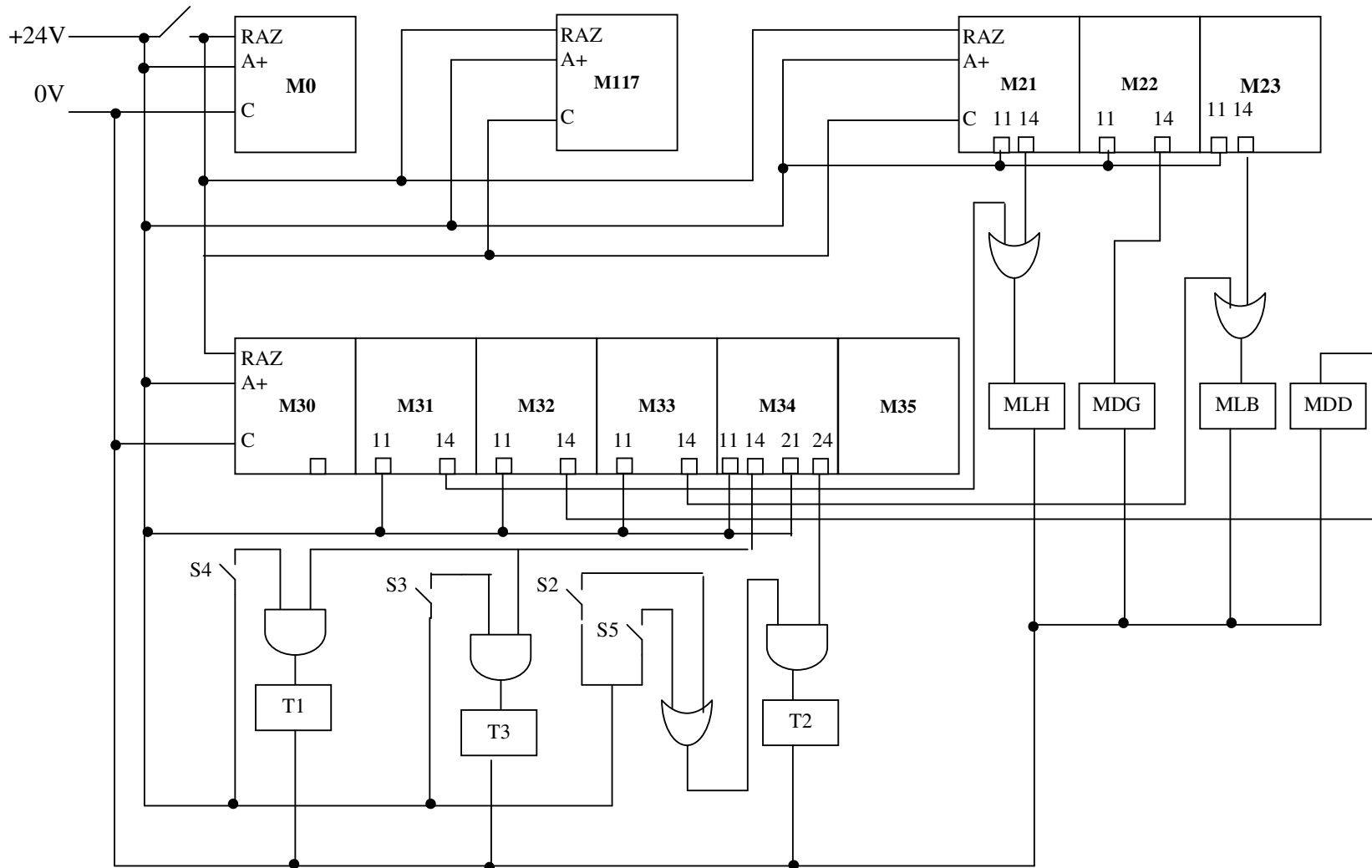
-1-b-Alimentations et câblage des sorties de la solution 1





-2-a-Schéma du séquenceur (câblage des modules d'étapes ou modules mémoires) de la solution2

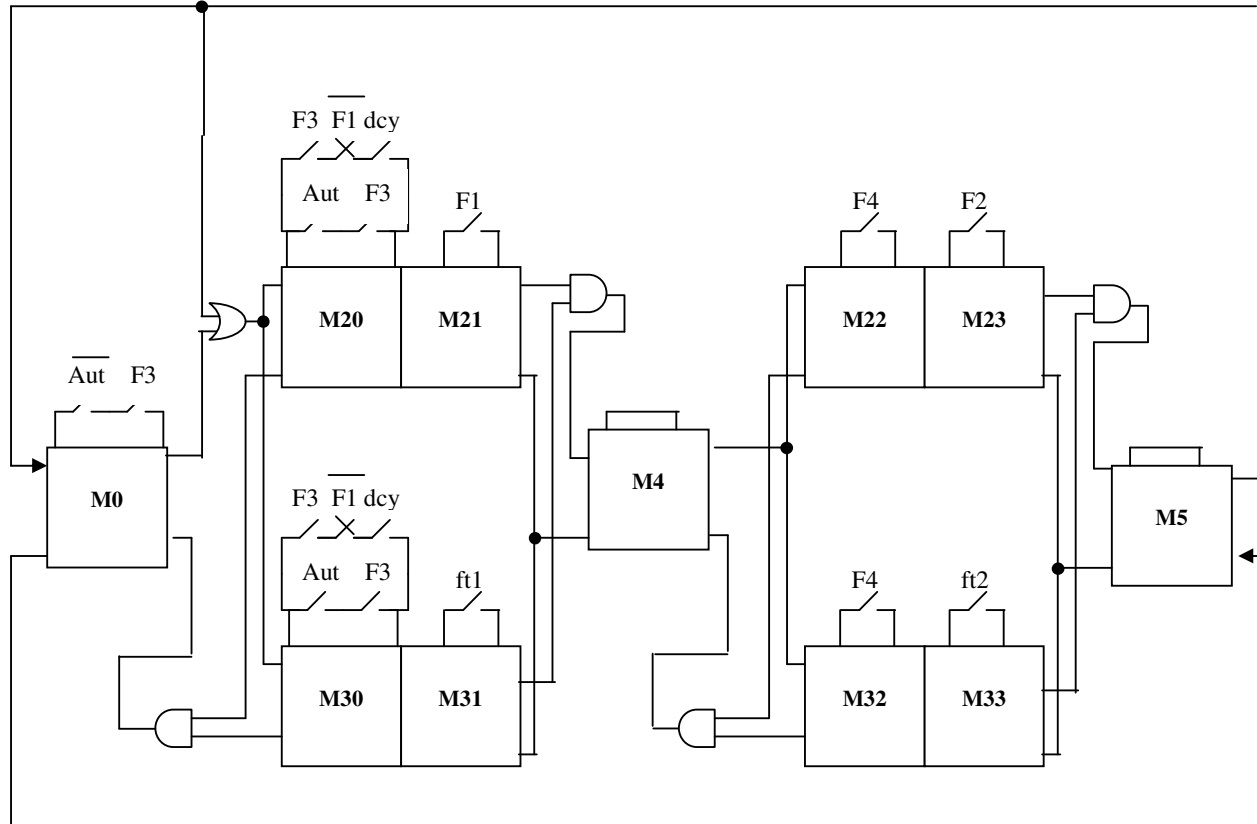


-2-b-Câblage des alimentations et des préactionneurs de la solution2



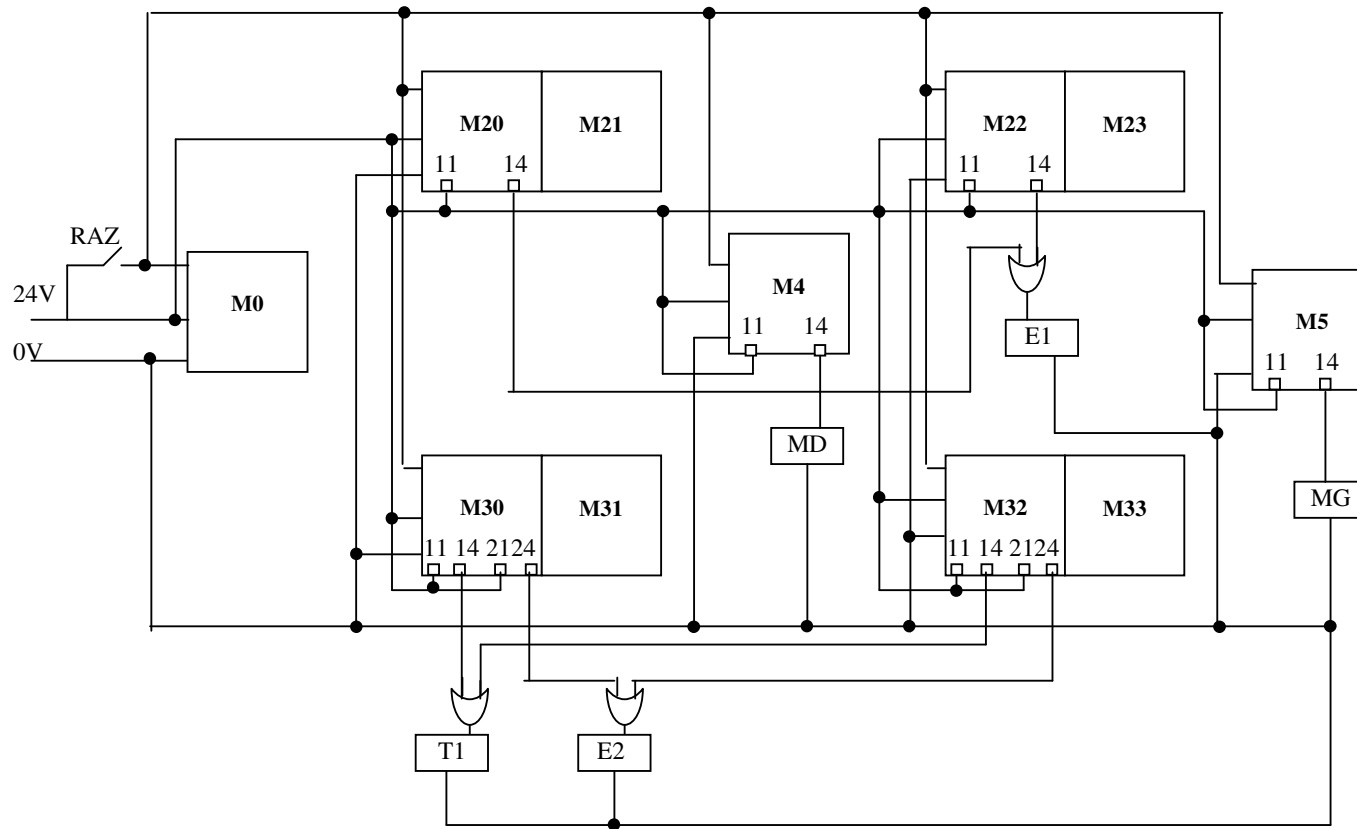
Remarques

- 1-** En automatique on n'utilise pas de portes logiques mais des cellules. Ainsi on doit remplacer partout le dessin de la porte OU  par celui de la cellule OU $\boxed{\geq 1}$, et le dessin de la porte ET  par celui de la cellule ET $\boxed{\&}$.
- 2-** Dans de le schéma figure 1-a du séquenceur de la solution 1, nous avons écrit X35 pour la réceptivité du module d'étape M5. Nous aurions pu écrire la même chose pour les modules M9, M13, M17, M21. Si cette écriture est exacte sur le plan de la forme, cela ne donne aucune information sur la manière de câbler cette information (réceptivité). C'est pourquoi nous lui préférons l'écriture adoptée dans le schéma pour les étapes 9, 13, 17 et 21, car il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit d'un schéma de câblage électrique, il doit donc refléter fidèlement la réalité.
- 3-** Dans le grafcet de la solution 2, l'étape 117 boucle sur elle même. Dans le schéma du séquenceur correspondant figure 2-a, le module d'étape 117 boucle sur lui même pour se valider, mais il ne peut pas se désactiver lui même en application de la règle numéro trois du grafcet: "quand une étape doit être activée et désactivée en même temps, elle reste active".
- 4-** Il ne faut pas oublier que les étapes 0 et 30 sont des étapes initiales. Il faut donc prévoir un forçage à 1 de ces étapes en début de cycle: un bouton poussoir relié au +24 V, branché entre E1 et E4, permet d'envoyer une impulsion pour valider et activer les deux modules d'étapes.
- 5-** On remarquera l'utilisation de cellules "ET" pour représenter les actions conditionnelles.
- 6-** On remarque sur les schémas d'alimentation que pour tout module dont on utilise la sortie 14 (et/ou 24), sa borne 11 (et/ou 21) est reliée à la tension utilisée pour la commande des préactionneurs, qui est en général soit 24 V soit 220 V. Il ne faut pas confondre cette tension de travail avec la tension d'alimentation A+ permettant la commande des bobines du relais bistable du module d'étape, qui est en général également utilisée pour l'alimentation des capteurs (qui est presque toujours de 24 V).
- 7-** Dans les schémas des séquenceurs, on a utilisé la sortie 14 de certains modules comme information d'entrée pour la réceptivité d'un autre module. Cette manière de procéder n'est valable que si la tension d'utilisation (entrées 11-21 et sorties 14-24) est égale à la tension d'alimentation des bobines (entrées A+), et si les entrées 11 des modules sont alimentées. Sinon si ces tensions sont différentes et/ou si les entrées 11 ne sont pas alimentées, à la place de la sortie 14 prendre la sortie F2 (module M35 fig1-a). Pour les modules M1, M5, M17 dont la sortie F2 n'est pas disponible, la prélever sur la borne E1 du module suivant validé. Par exemple au lieu de prélever le signal sur la sortie 14 du module M1 pour attaquer la cellule OU, on le prélève sur l'entrée E1 du module M5 (qui est relié à la sortie F2 du module M1).

Solution exercice 3.5: chariots de transport de minerai (grafcet de l'exercice 2.9)**-1-Schéma du séquenceur (câblage des modules d'étapes ou modules mémoires)**

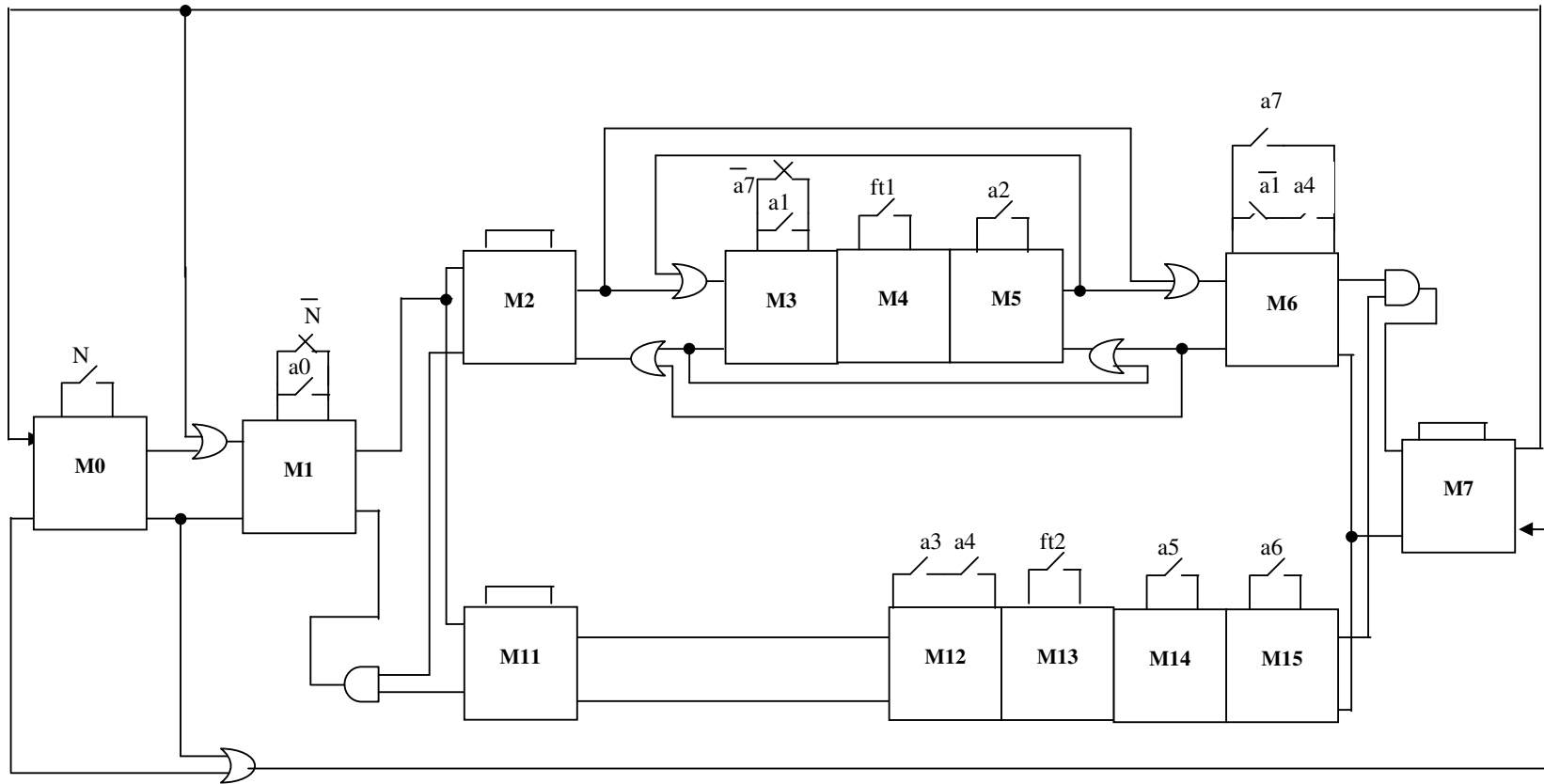
-2-Câblage des alimentations et des actionneurs

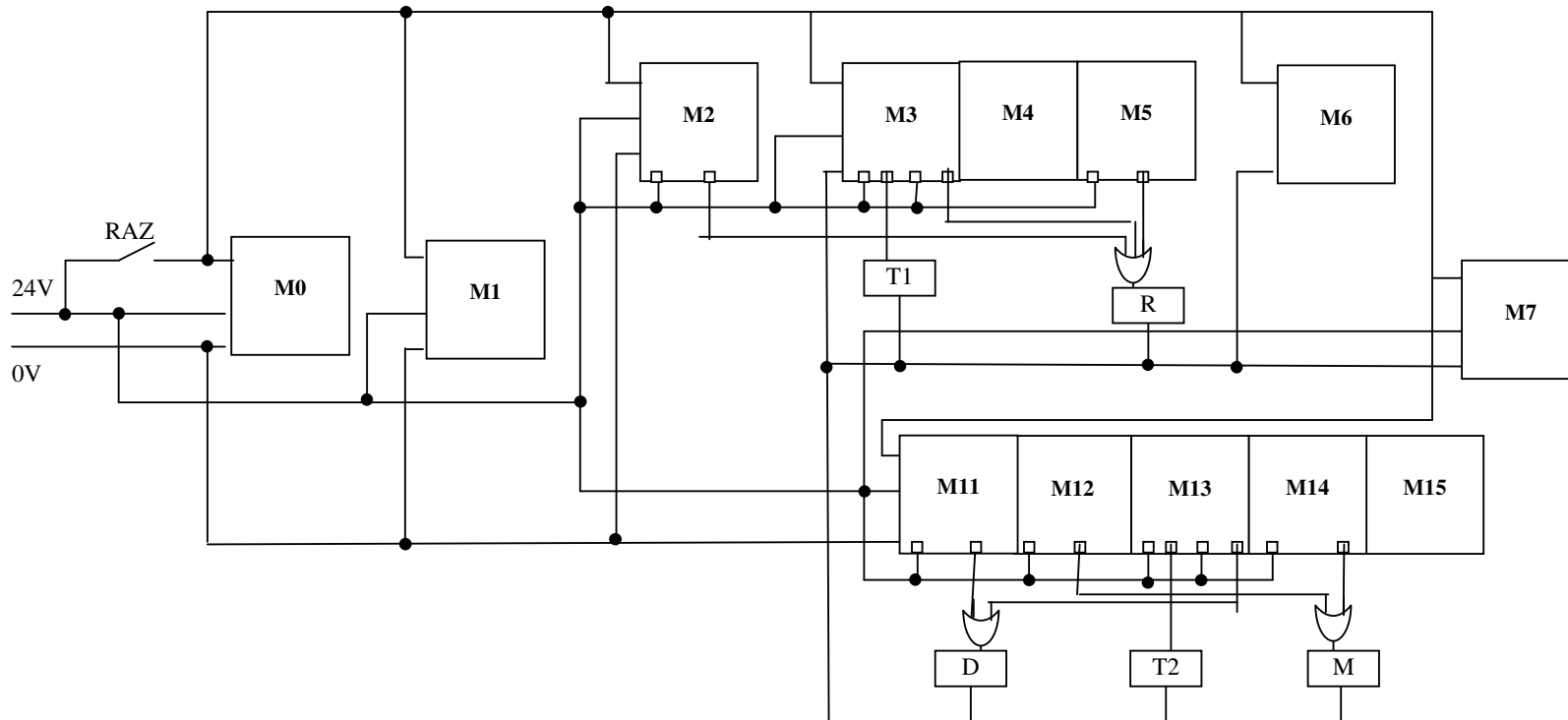
On suppose que la tension de travail (utilisation) est de 24 V.




Solution exercice 3.11: grafcet de l'exercice 4.10

-1-Schéma du séquenceur (câblage des modules d'étapes ou modules mémoires)

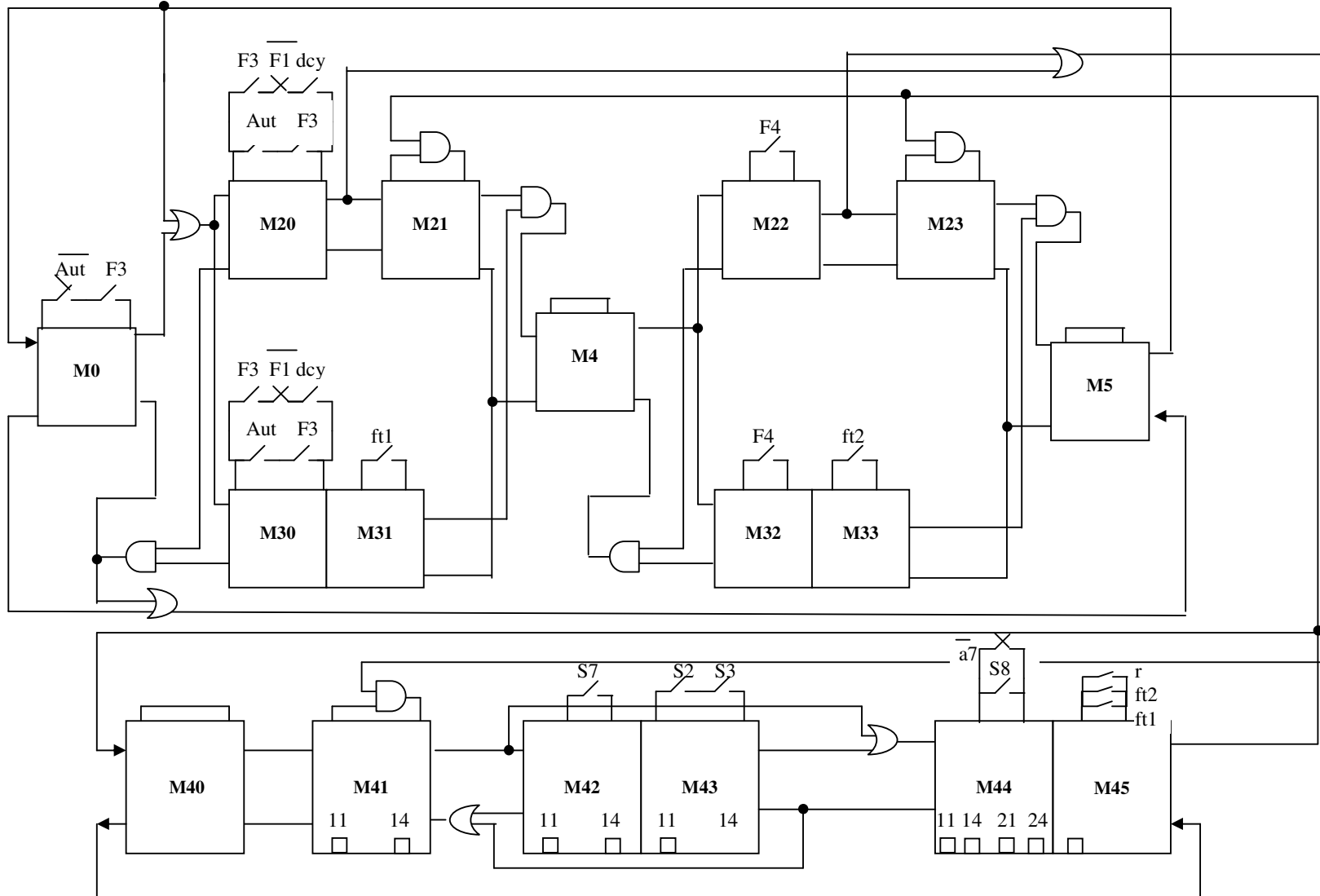


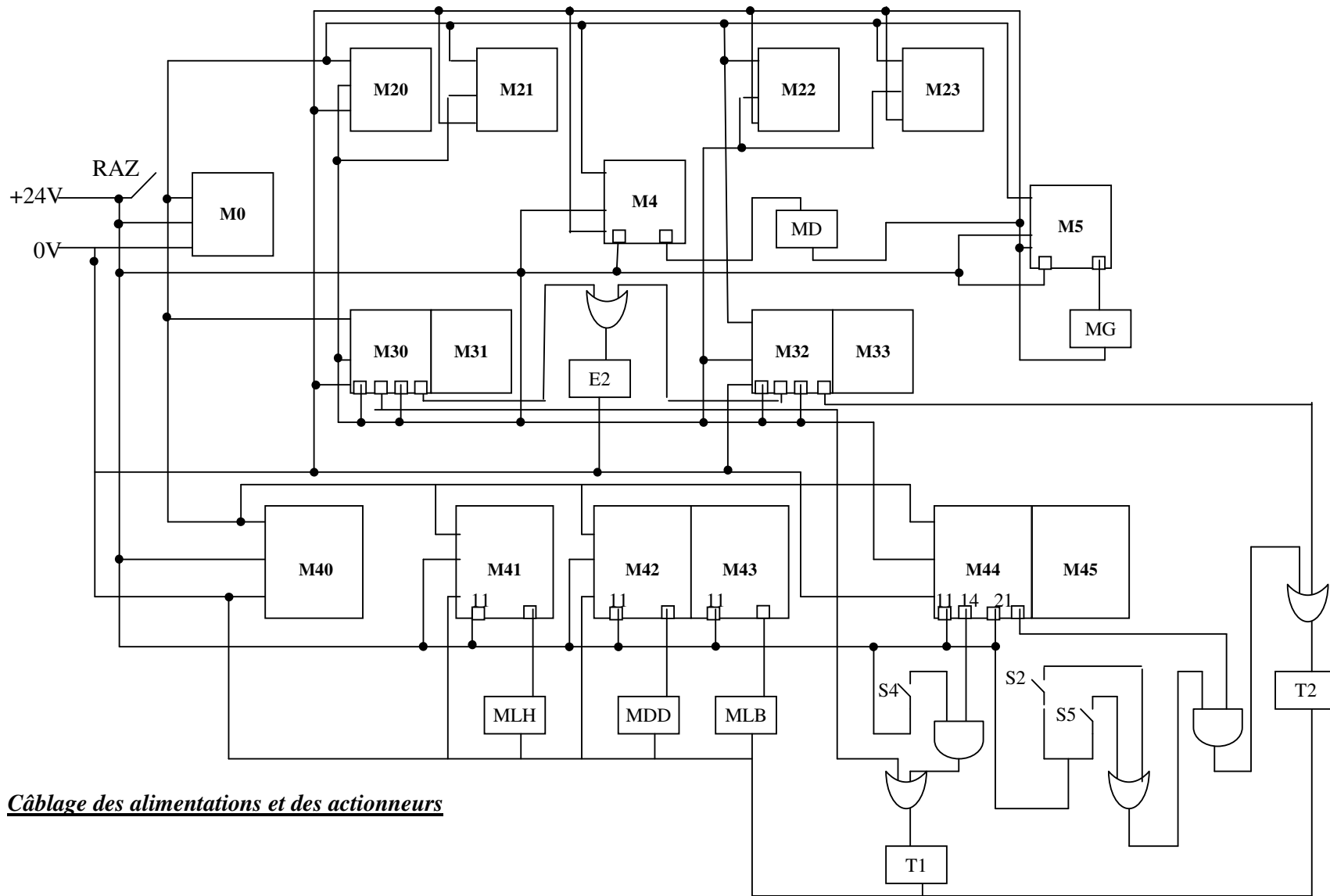
-2-Câblage des alimentations et des actionneurs**Remarque:**

On doit remplacer partout le dessin de la porte OU  par celui de la cellule OU ≥ 1

et le dessin de la porte ET  par celui de la cellule ET $\&$

Solution exercice 3.12 : schéma de câblage du séquenceur



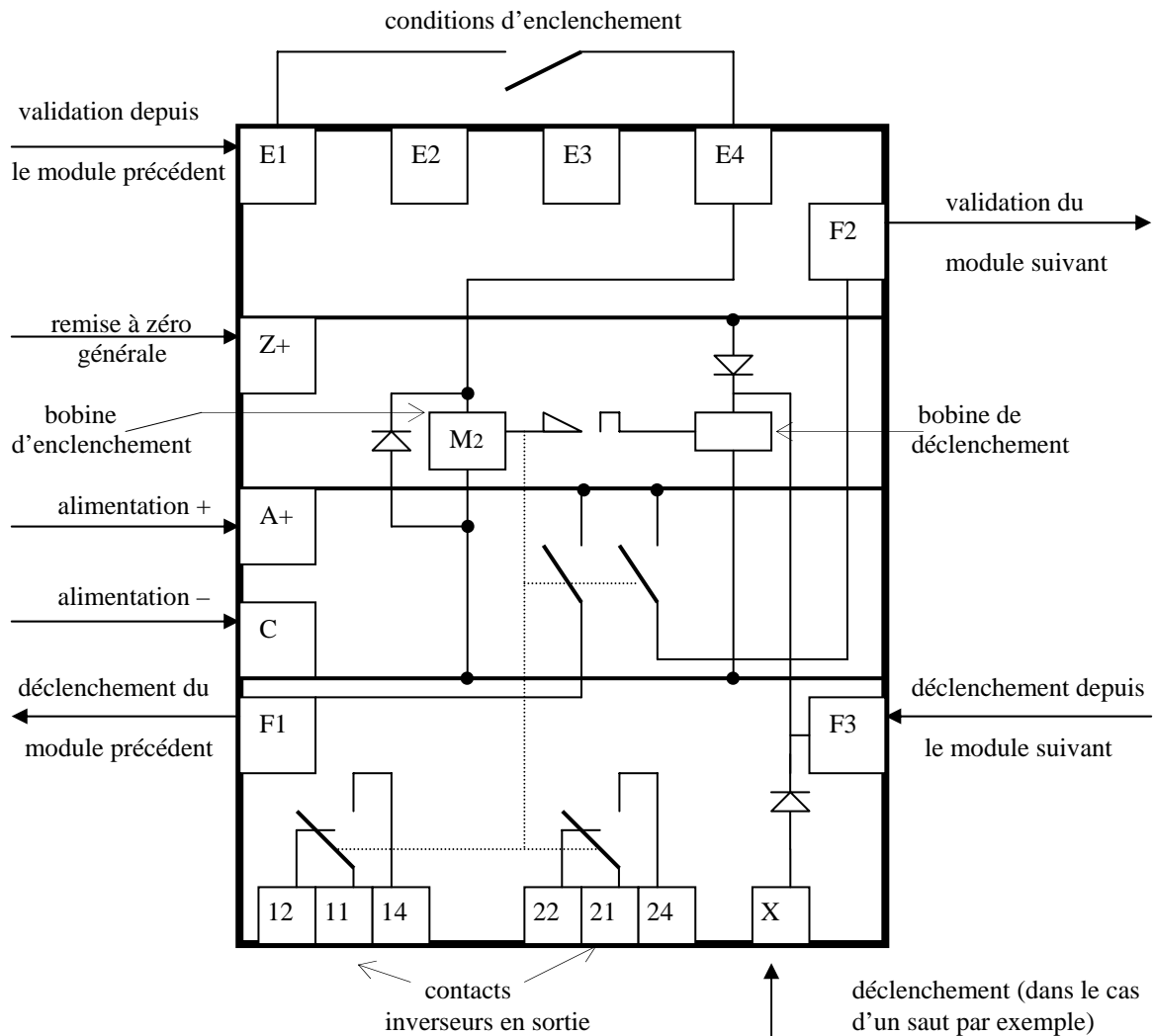


Câblage des alimentations et des actionneurs

SEQUENCEUR OU ASSOCIATION DE MODULES D'ETAPES
COMPLEMENTS SUR LE CABLAGE

Ce paragraphe a été rédigé avec l'aimable collaboration de monsieur K.Oumamar.

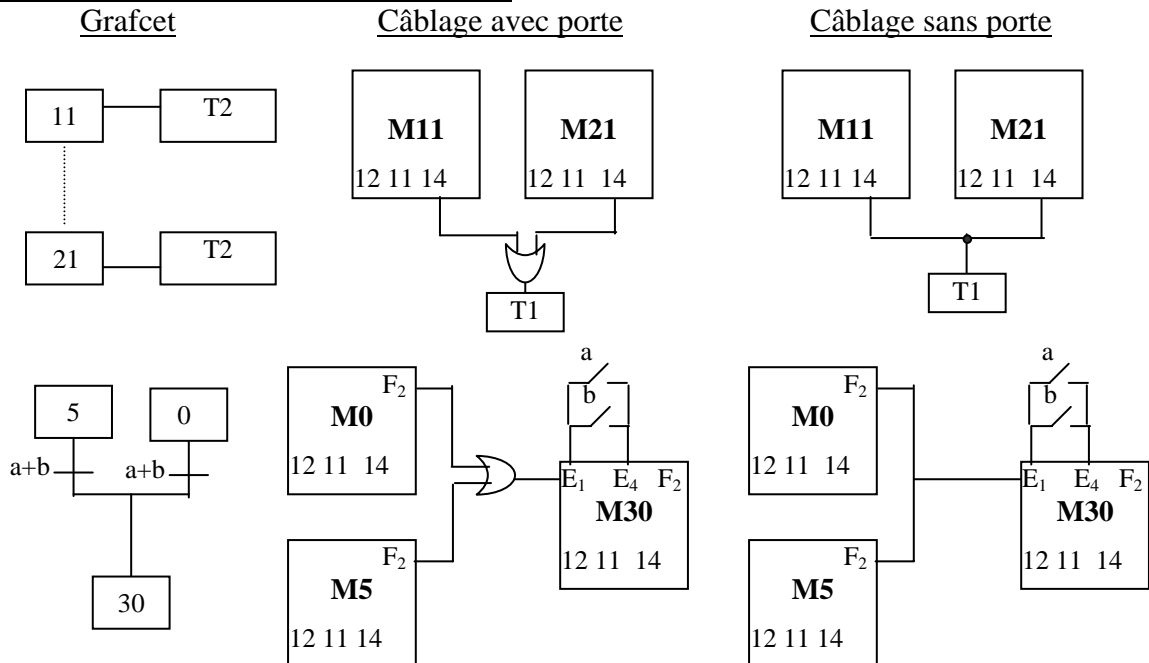
1. Schéma interne d'un module d'étape électrique (doc Télémécanique)
2. Réalisation du « OU » logique
3. Réalisation du « ET » logique
4. Exemples
 - Aiguillage
 - Actions conditionnelles
 - Séquences simultanées
 - Programmes principal et sous programme, utilisation de relais auxiliaire

1. SCHEMA INTERNE D'UN MODULE D'ETAPE ELECTRIQUE (doc Télémécanique)Remarques

Quand la bobine M2 est alimentée par le signal entrant par la borne E4, cette bobine commande la fermeture des contacts du relais. Nous avons alors les jonctions 11-14 et 21-24 qui s'effectuent: le signal qui entre par la borne 11 (ou 21) se retrouve en sortie sur la borne 14 (ou 24).

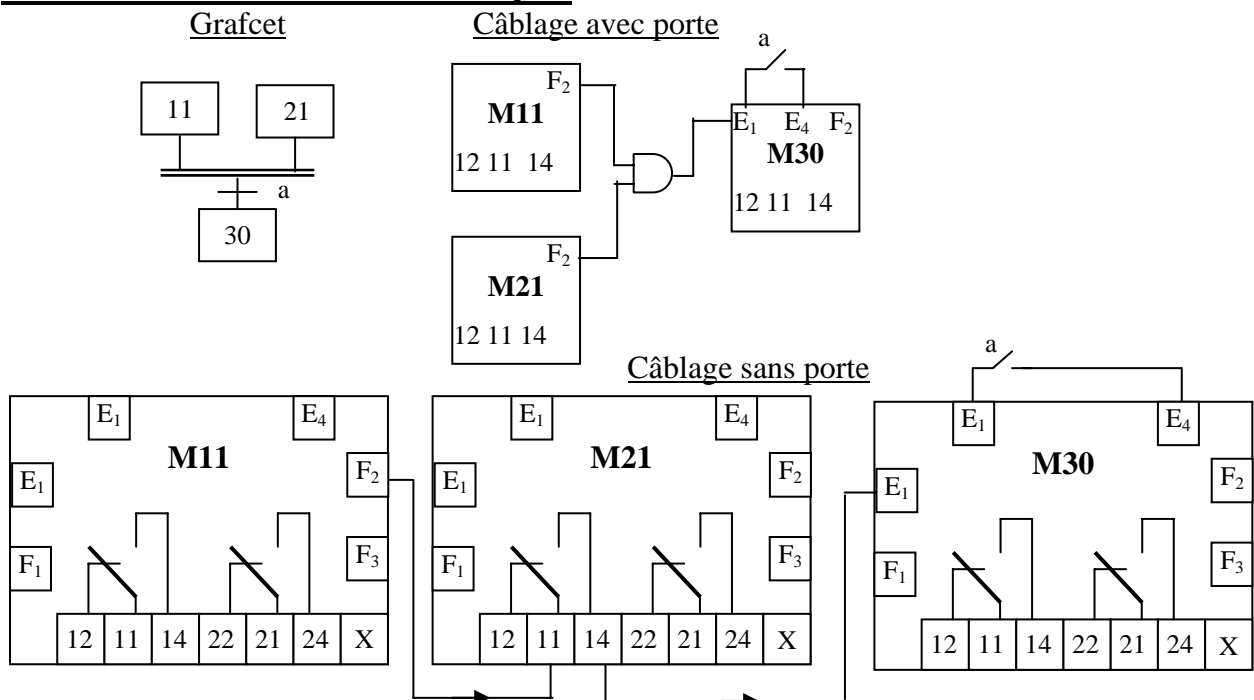
En technologie pneumatique on peut utiliser des cellules logiques. En technologie électronique on peut utiliser des portes logiques. Par contre il n'y a ni porte logique ni cellule en technologie électrique, qui est à base de relais. Par conséquent les portes et cellules logiques doivent être supprimées dans tous les schémas de câblage des séquenceurs électriques, en utilisant au mieux les contacts du relais (module d'étape) qui se ferment quand le module est actif.

2. REALISATION DU « OU » LOGIQUE



Les bornes de sortie d'un module d'étape sont des contacts de relais. Si on relie 2 sorties entre elles, cela réalise un « OU » logique. Il n'y a aucun problème si les 2 sorties « 14 » ou « F2 » sont au « 1 » logique en même temps, puisque les 2 points seront au même potentiel (en général 24 volts).

3. REALISATION DU « ET » LOGIQUE

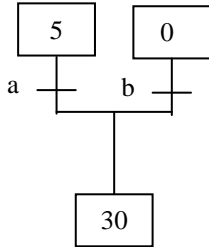


Quand la bobine du module M21 est alimentée, les bornes 11 et 14 de M21 sont reliées entre elles, et le signal venant de F2 du module M11 se retrouve sur la sortie 14 de M21, ce qui a pour effet d'envoyer le signal de validation pour M30. On en conclut que M30 n'est validé que si M11 et M21 sont actifs. Pour que M30 soit actif, il faut en plus un signal sur sa borne E4, pour cela il faut que l'information « a » soit vraie.

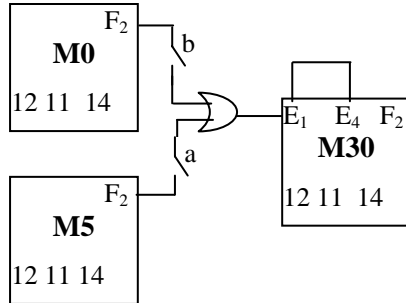
4. EXEMPLES

4.a Aiguillage

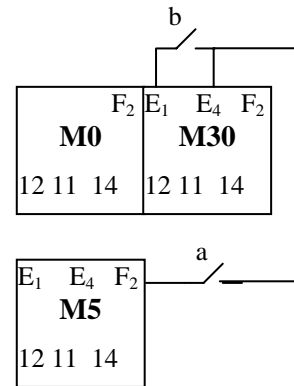
Grafcet



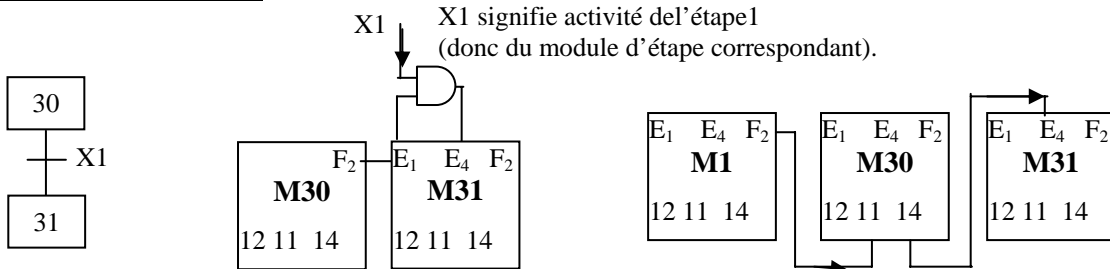
Câblage avec porte



Câblage sans porte



Exemple page 71 vol 2



Grafcet

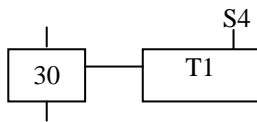
Câblage avec porte

Câblage sans porte

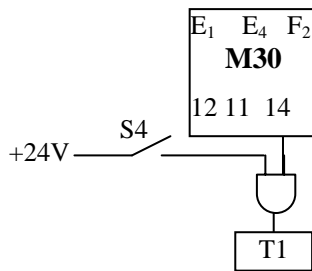
4.b. Actions conditionnelles

Exemples page 74 vol 2

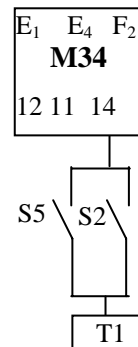
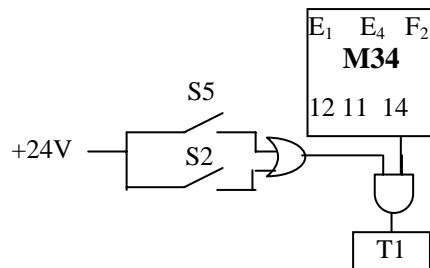
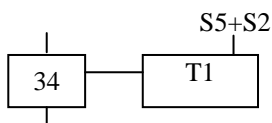
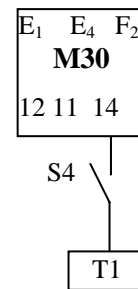
Grafcet



Câblage avec porte



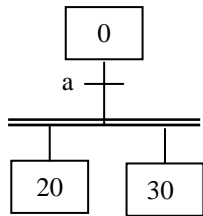
Câblage sans porte



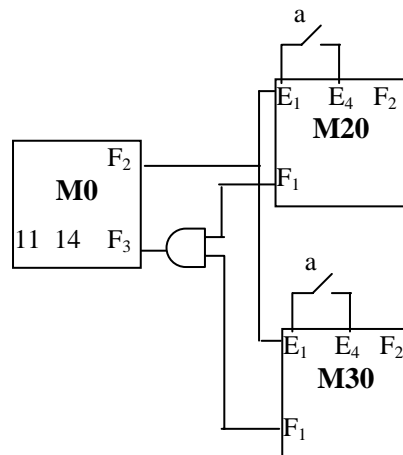
4.c. Séquences simultanées

Exemples page 80 vol 2

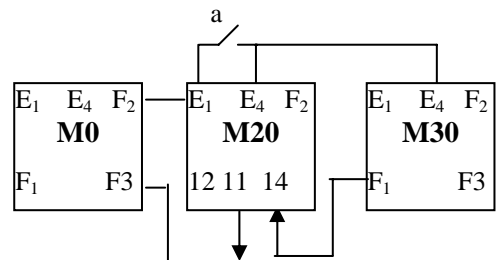
Grafcet



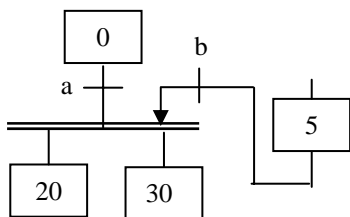
Câblage avec porte



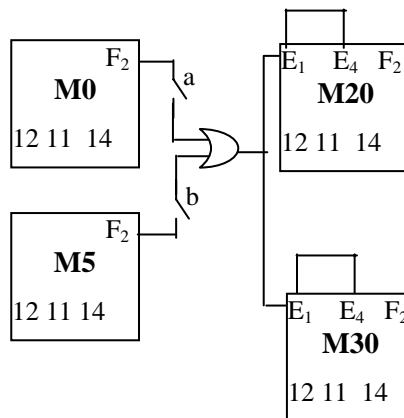
Câblage sans porte



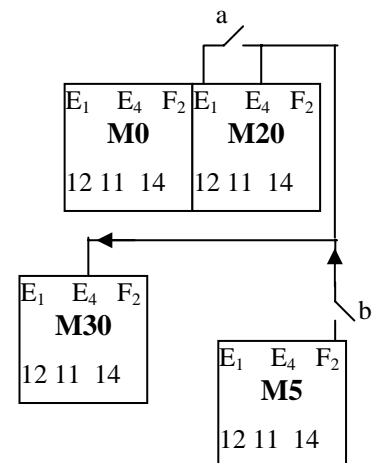
Grafcet



Câblage avec porte



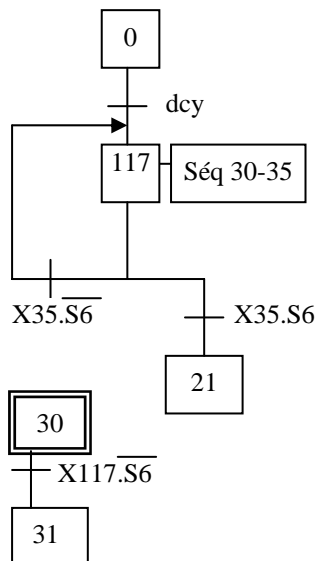
Câblage sans porte



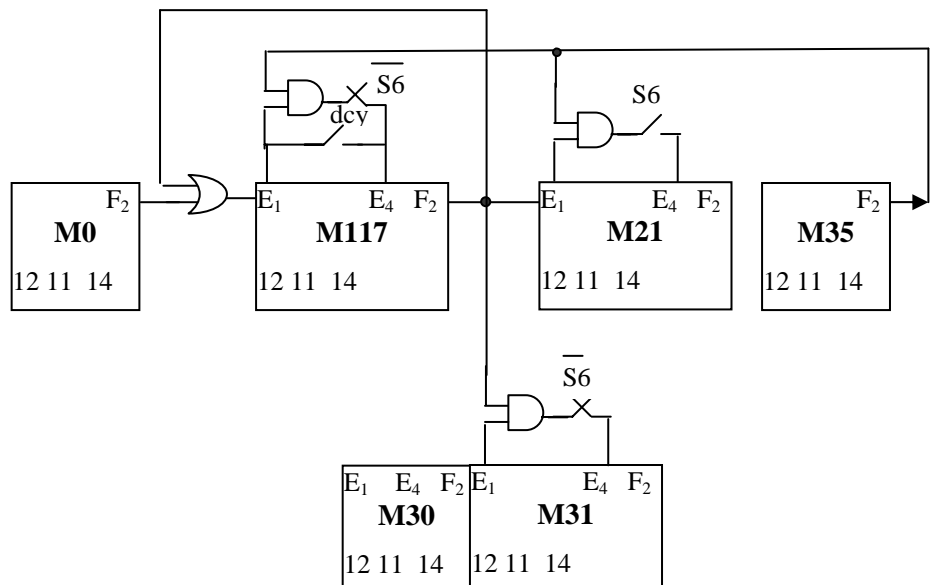
4.d. Programmes principal et sous programme, utilisation de relais auxiliaire

Exemples page 73 vol 2

Grafcet



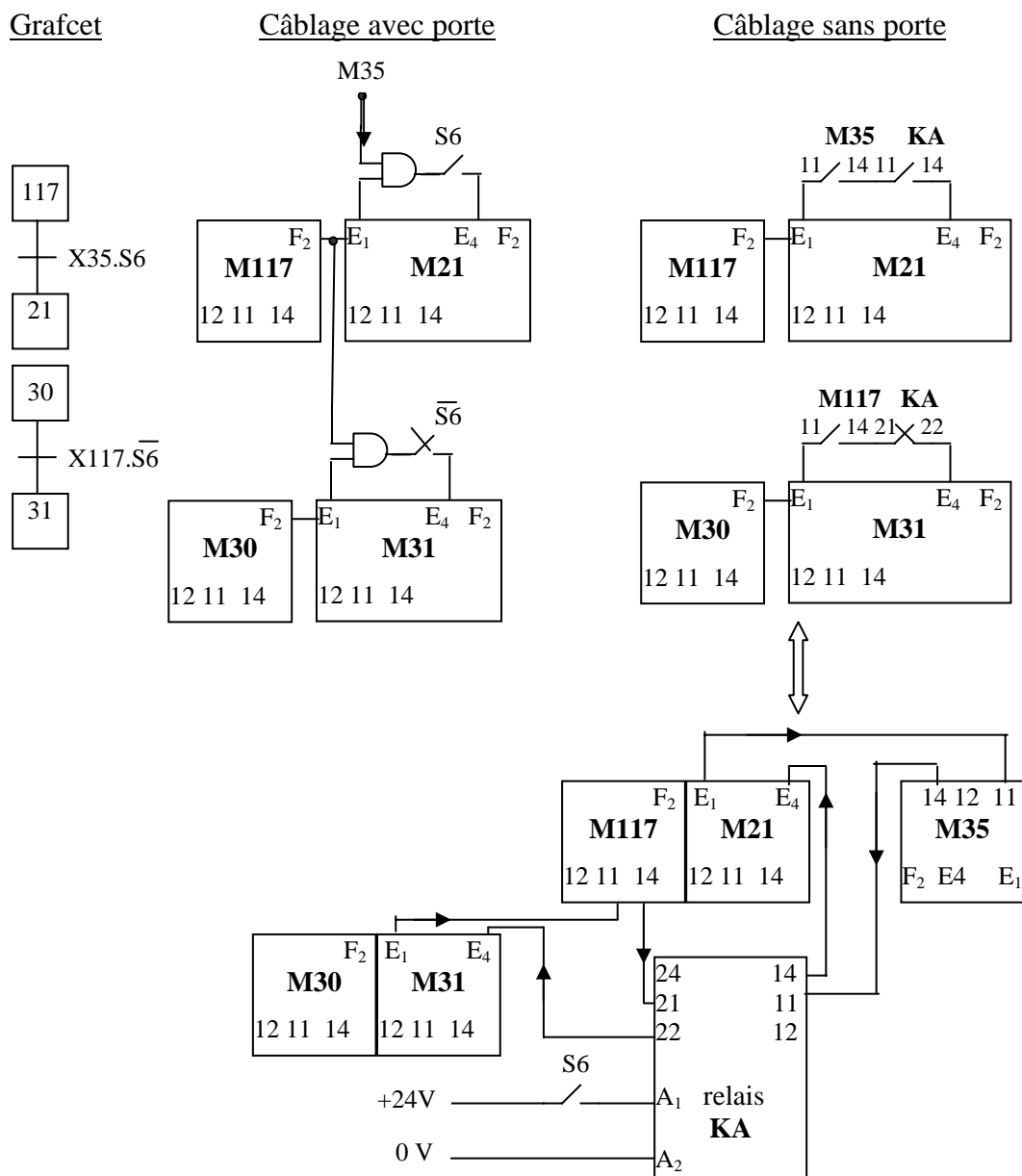
Câblage avec portes



Remarques préliminaires

Comme la règle numéro 5 de la théorie du grafctet impose que “si une étape doit être activée et désactivée en même temps, elle doit rester active”, le bouclage sur elle même de l'étape 117 dans le grafctet n'a pas de raison d'être, et ce d'autant plus que l'on maintient la variable S_6 dans le grafctet esclave. De même si en technologie programmée une même étape peut être bouclée sur elle-même, en technologie câblée à base de modules d'étapes cela est formellement interdit. Par conséquent le grafctet est simplifié en supprimant la boucle de retour de l'étape 117 sur elle même (ce qui supprime les portes logiques “OU” et “ET” du module M117).

Si un capteur “C” est utilisé plusieurs fois dans le montage (comme c'est le cas ici avec une fois S_6 et deux fois $\overline{S_6}$), ce capteur va commander un relais, puis on utilise les contacts travail et repos du relais comme variables “C” et “ \overline{C} ”. Ainsi dans notre cas le contact S_6 commande la bobine d'un relais KA, puis on se sert des 3 ou 4 groupes de contacts d'E/S (11,12,14), (21,22,24), (31,32,34), (41,42,44). Par exemple l'entrée se fait sur 11, et la sortie se fait sur 14 ou sur 12 selon que l'on a besoin de S_6 ou de $\overline{S_6}$.



- PARTIE IV -
COMMANDE PAR AUTOMATES PROGRAMMABLES INDUSTRIELS

SOMMAIRE**SOLUTION EN PAGE**

<i>Exercice 4.1</i> : Langage booléen sur API TSX21	90
<i>Exercice 4.2</i> : Langage booléen sur TSX21 et à contacts sur TSX27	90
<i>Exercices 4.3 à 4.5</i> : langage grafcet sur TSX 21	
<i>Exercice 4.6</i> : doseur malaxeur automatique (grafcet à séquences simultanées sur TSX21 et à contacts sur TSX27)	
<i>Exercice 4.7</i> : Gestion d'une barrière de parking d'immeuble (langage grafcet sur TSX 17-10)	91
<i>Exercice 4.8</i> :train électrique (langage grafcet sur TSX21 et à contacts sur TSX27)	
<i>Exercice 4.9</i> : programmation sur l'API TSX 21 et utilisation de compteurs (grafcets avec reprise en séquence, saut d'étapes, boucle, séquences simultanées, sous programme)	
<i>Exercice 4.10</i> : programmation sur l'API TSX 21 et utilisation de compteurs (grafcet à séquences simultanées avec saut d'étapes et reprise en séquence)	
<i>Exercice 4.11</i> : programmation sur l'API TSX 21 et utilisation de compteurs (grafcet à séquences simultanées et sous programme avec saut d'étapes)	91
<i>Exercice 4.12</i> : programmation sur l'API TSX 17-20 (langage PL7-2)	93
<i>Exercice 4.13</i> : exercice de synthèse de la programmation de grafcets sur API TSX21 (programmation simultanément de : saut d'étape, reprise en séquence, séquences simultanées, sous programme, compteurs)	94
<i>Exercice 4.14</i> : exercice de synthèse de la programmation de grafcets sur API TSX17 (Schéma de câblage des entrées sorties de l'API TSX 17, programmation en langage PL7-1, programmation en langage PL7-2	95

PARTIE IV: COMMANDE PAR API**Données sur le TSX21 de Télémécanique :**

Extrait du langage : L, A, O, =, N, LN, AN, ON, A770, O770

@ d'entrée : 200 à 217, 240 à 257

@ de sortie : 230 à 237, 260 à 267

Adresses de 3 compteurs : 400, 500, 600

N° d'étapes : 00 à 07, 10 à 17, 30 à 37

@ des temporisations analogiques : 771, 772, 773

Exercice 4.1

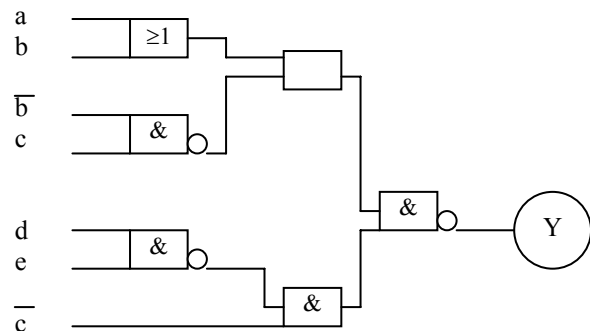
Donner le programme en langage booléen des équations logiques suivantes pour le TSX 21:

$$X = \bar{a}(a b + \bar{b}) \bar{c} \quad Y = \bar{a} \bar{b}(b + c) \bar{c} d(\bar{d} + a) b \quad Z = \bar{a} \bar{b} \bar{c}(c + \bar{b}) b \bar{d} a(\bar{a} + d) \bar{d} c$$

Remarque: les variables doivent rester dans le même ordre, et on n'utilisera pas de variables internes.

Exercice 4.2

Donner le programme en langage booléen (TSX21) et en langage à contacts (TSX27) du logigramme de la figure suivante (adresses du TSX 27: entrées : 1 à 15 ; sorties : 100 à 115).

**Exercice 4.3 chariots sur quai de déchargement (6/4/97)**

Partant des grafjets de commande trouvés aux questions 1 et 2 de l'exercices 2.10, donner les programmes correspondant en langage grafjet dans le cas d'une commande par l'API TSX 21

Exercice 4.4

Partant des grafjets de commande trouvés aux exercices 2.11 (24/12/97) et 2.8 (ts19/9/98), donner les programmes correspondants en langage grafjet dans le cas d'une commande par l'API TSX 21

Exercice 4.5: traitement de surfaces n°1(21/12/1998)

Dans le cas d'une commande par l'API TSX 21, donner les 2 programmes correspondant aux grafquets des questions 1 et 2 de l'exercice 2.7.

Exercice 4.6

1° Dans le cas d'une commande automatique par API, donner le programme correspondant au grafquet de commande de l'automatisme décrit à l'exercice 2.13, pour l'automate TSX 21.

2° Donner (à déduire de préférence du grafquet) les équations logiques des sorties.

3° Donner le schéma à contacts des sorties puis le programme en langage à contacts pour le TSX 27.

Exercice 4.7 Gestion d'une barrière de parking d'immeuble

Donner le programme en langage grafquet de l'automatisme décrit par le grafquet de l'exercice 2.2, dans le cas d'une commande par l'API TSX 17-10.

Exercice 4.8 Train électrique(21/12/98)

Considérons l'automatisme décrit par l'exercice 2.1.

-1- Donner le programme de commande en langage grafquet pour le TSX 21

-2- Donner (à déduire de préférence du grafquet) les équations logiques des sorties.

-3- Donner pour ces équations le schéma à contacts puis le programme en langage à contacts pour le TSX 27.

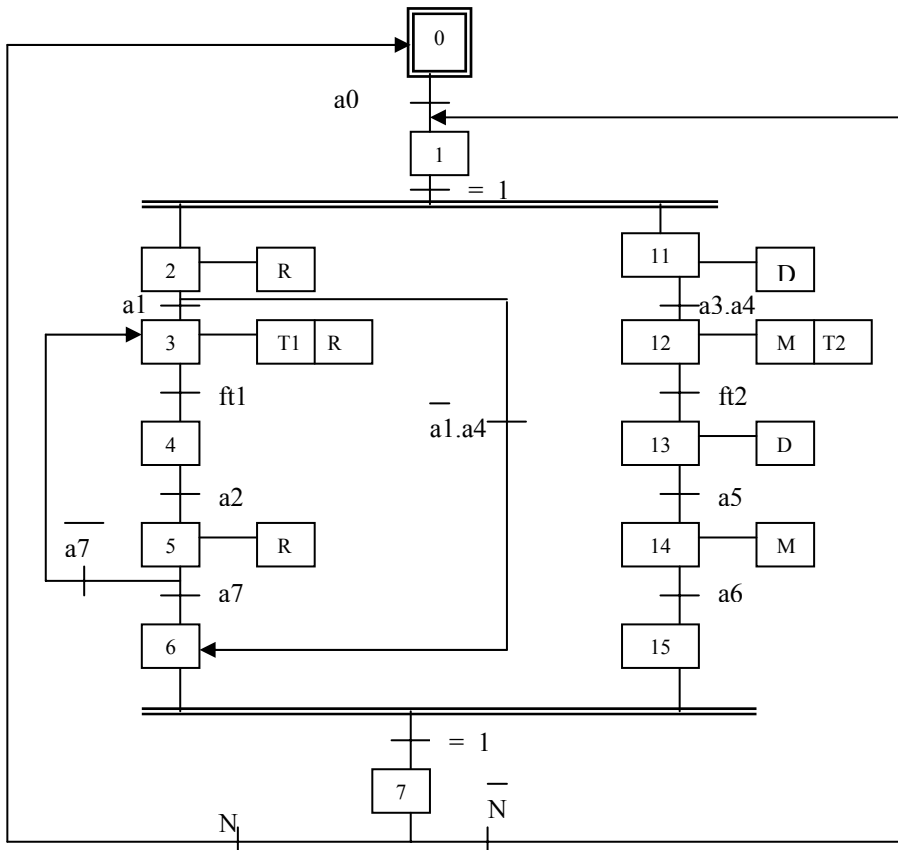
Exercice 4.9

Dans le cas d'une commande par l'API TSX21, donner les programmes correspondant aux grafquets des exercices 3.6 (29/12/99) et 3.7(ts 23/12/98).

Exercice 4.10

On donne le grafcet suivant, dans lequel N désigne un compteur de séquences simultanées (si N différent de 12 en décimal, on refait des séquences simultanées. Si $N = 12$, on retourne à l'étape initiale). Le compteur d'adresse 400 prendra en charge la séquence de droite, et le compteur d'adresse 500 le nombre de séquences simultanées (**ne pas oublier les actions sur les compteurs qui ne sont pas représentées**).

Dans le cas d'une commande par API, donner le programme pour le TSX 21.

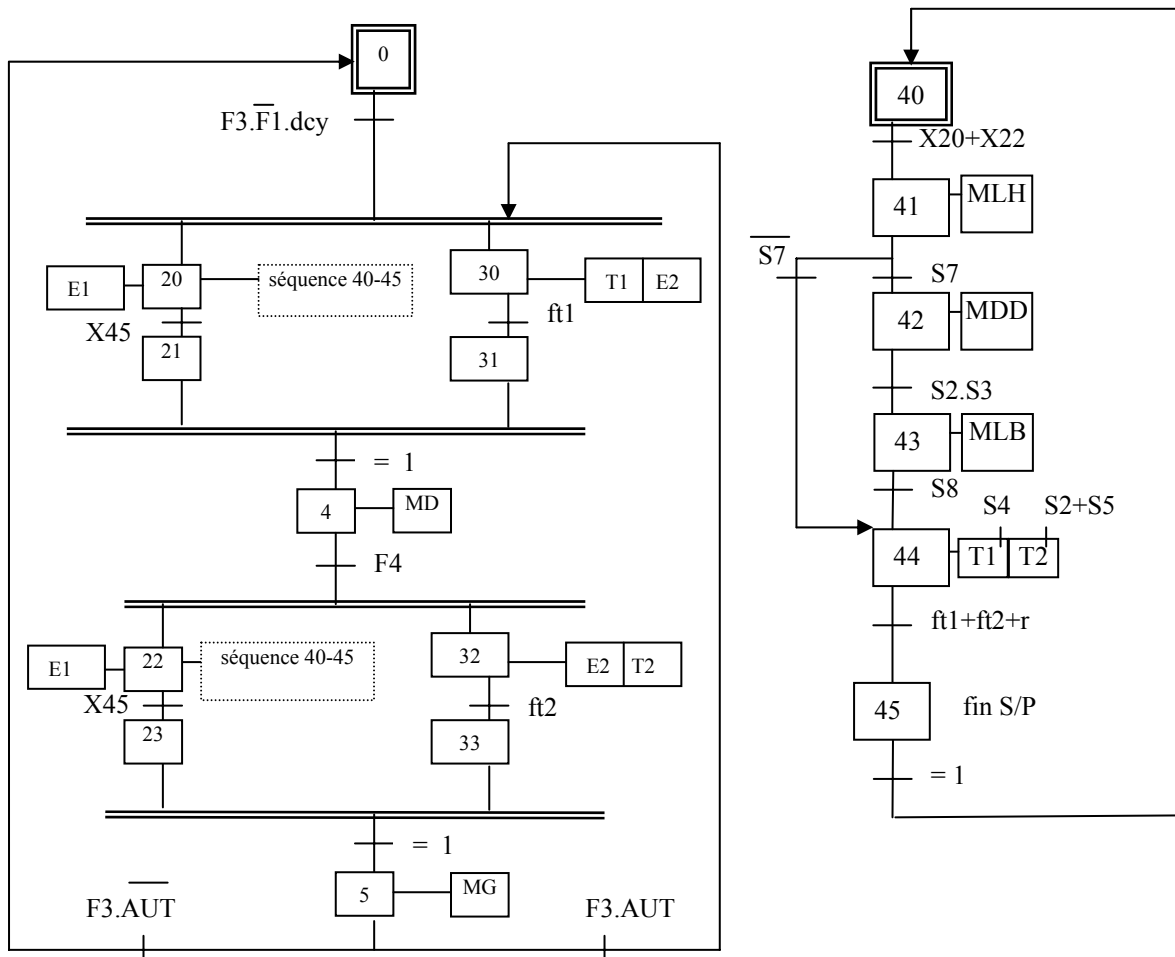


Exercice 4.11

On donne le grafcet suivant. Le compteur d'adresse 400 prendra en charge la séquence de droite de la séquence simultanée, et le compteur d'adresse 500 le sous programme (**ne pas oublier les actions sur les compteurs qui ne sont pas représentées**).

Dans le cas d'une commande par API, donner le programme pour le TSX 21.

Variable	Adresse	Variable	Adresse	Variable	Adresse
F1	201	S2	301	E1	231
F3	202	S3	302	E2	232
F4	203	S4	303	MLH	233
AUT	204	S5	304	MLB	234
dcy	205	S7	305	MDD	235
		S8	306	MD	236
ft1 et T1	771	r	307	MG	237
ft2 et T2	772				



Exercice 4.12: programmation sur l'API TSX 17-20 (langage PL7-2)

On considère le grafcet suivant (décrivant l'automatisme de l'exercice 2.9).

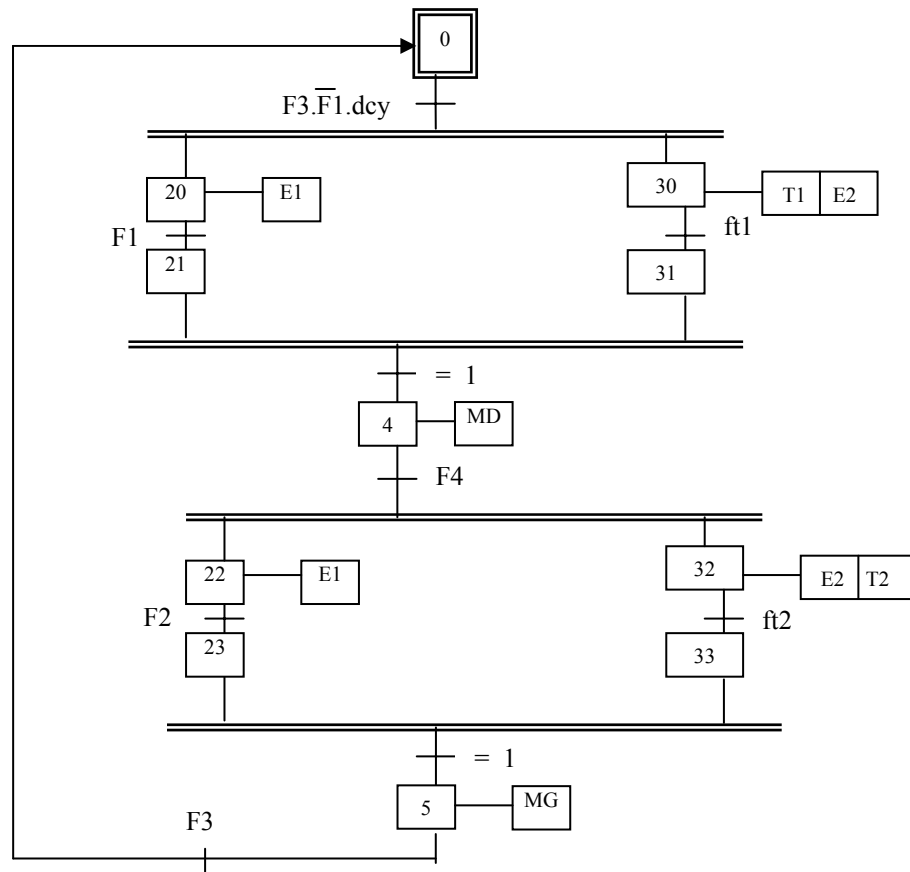
1° Donner les programmes séquentiel, postérieur dans le cas de la programmation sur l'automate TSX 17-20 (en langage à contacts).

2° Le fonctionnement est modifié comme suit: "après appui sur dcy au démarrage, le fonctionnement est entièrement automatique (boucle infinie). Après appui sur un bouton poussoir d'arrêt, le système s'arrête en fin de cycle. Après appui à nouveau sur dcy il redémarre en automatique".

Donner les modifications à apporter au grafcet et au programme.

Tableau des variables d'entrée-sortie

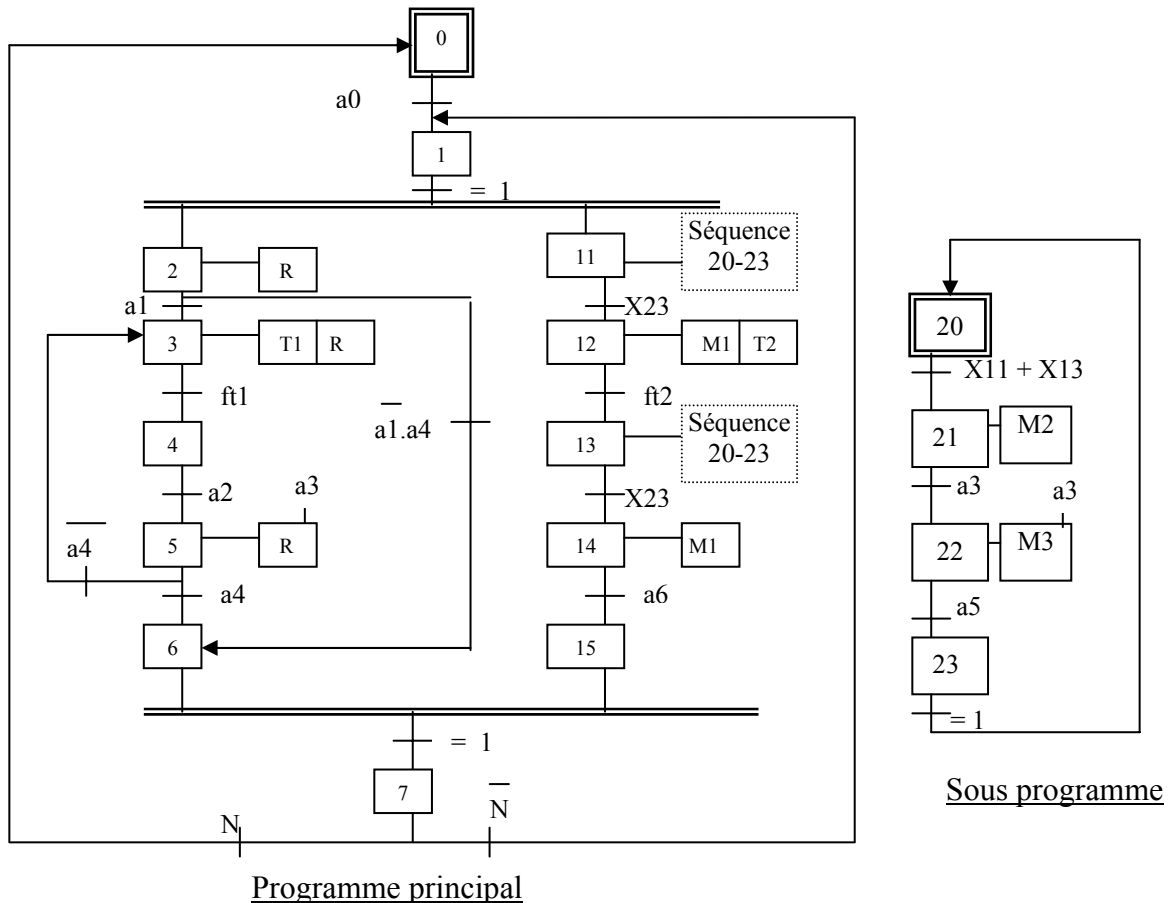
adresse	Nom	Signification	adresse	Nom	Signification
I0.1	dcy	bouton poussoir démarrage cycle	O0.1	E1	ouverture de la cuve de chargement
I0.2	F1	détection wagonnet 1 plein	O0.2	E2	ouverture de la trappe de vidange
I0.3	F2	détection wagonnet 2 plein	O0.3	MD	rotation moteur à droite
I0.4	F3	wagonnet1 en station A	O0.4	MG	rotation moteur à gauche
I0.5	F4	wagonnet 2 en station A (sous la cuve de chargement)	T1	T1	lancement (activation) des temporisations 1 et 2
I0.6	Arrêt	bouton poussoir d'arrêt	Bi	Bi	bits internes : de B1 à B100
T1 & T2	ft1 & ft2	détection des fins de temporisation 1 et 2			

Grafcet de niveau 2

Exercice 4.13: *exercice de synthèse de la programmation de grafjets sur API TSX21*

(Programmation *simultanément* de : saut d'étape, reprise en séquence, séquences *imultanées*, sous programme, compteurs)

On donne le grafjet suivant, dans lequel N désigne un compteur de séquences simultanées (Si N =12 en décimal on retourne à l'étape initiale). Dans le cas d'une commande par API, donner le programme pour le TSX 21 (**ne pas oublier les actions sur les compteurs qui ne sont pas représentés**).



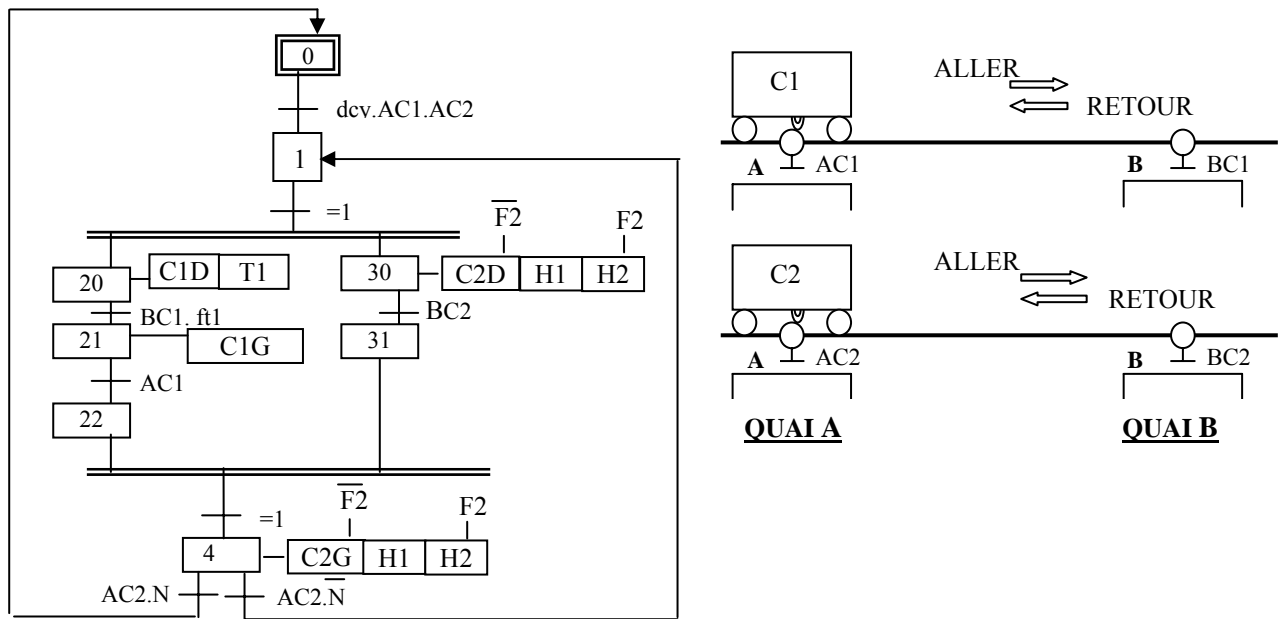
Nom	Adresse
a0	200
a1	201
a2	202
a3	203
a4	204
a5	205
a6	206
ft1 & ft2	771 & 772

Variables d'entrée

Nom	Adresse
M1	231
M2	232
M3	233
R	234
T1	771
T2	772
Compteurs en octal	400, 500, 600

Variables de sortie

Exercice 4.14: *exercice de synthèse de la programmation de grafjets sur API TSX17*



Le grafjet ci-dessus correspond au nouveau mode de fonctionnement du système automatisé de l'exercice 2.10, dont la structure est modifiée selon les indications données ci-après.

Le chariot C1 est commandé par un vérin double effet avec des capteurs fins de course pneumatiques AC1 et BC1 ; les bobines des modules d'interface électropneumatiques sont alimentées en 24V.

Le chariot C2 est commandé par un moteur triphasé à cage, et ses capteurs fins de course sont électromécaniques :AC2 et BC2. Les capteurs sont alimentés en 24v alors que les bobines des contacteurs sont alimentées en 230v. Le moteur possède sur sa plaque signalétique les indications: 230/400V; 6.6kw; $\cos\phi=1/\sqrt{3}$.

Deux voyants H1 et H2 (alimentés en 230v) sont utilisés pour indiquer respectivement la marche et la surcharge du moteur.

- 1- Donner le schéma de câblage de l'automate en faisant clairement apparaître les capteurs et les pré actionneurs.
- 2- Donner le programme en langage PL7-1.
- 3- Donner le programme en langage PL7-2.

Adresse des ENTREES	
R/S	I0.0
AC1	I0.1
BC1	I0.2
AC2	I0.3
BC2	I0.4
dcy	I0.5
$\overline{F2}$ (relais thermique : contact fermé au repos)	I0.6
ft1 (fin de temporisation)	B1 (bit interne)
C1 (Compteur)	B2 (bit interne)

Adresse des SORTIES	
C1D	O0.1
C1G	O0.2
KMC2D	O0.4
KMC2G	O0.5
H1	O0.6
H2	O0.7
T1 (temporisation)	T1
C1 (compteur)	C1

Solution exercice 4.1

adresses	$X = \bar{a}(a + \bar{b}) \bar{c}$	$Y = \bar{a} \bar{b} (b + c) \bar{c} d (\bar{d} + a) b$	$Z = \bar{a} \bar{b} c (c + b) \bar{b} \bar{d} a (a + d) \bar{d} c$
a 220	LN 220	LN 220	LN 220
b 221	L 220	AN 221	AN 221
c 222	A 221	L 221	AN 222
d 223	ON 221	O 222	L 222
X 230	A 770	A 770	ON 221
Y 231	AN 222	AN 222	A 770
	= 230	A 223	A 221
		LN 223	AN 223
		O 220	A 220
		A 770	LN 220
		A 221	O 223
		= 231	A 770
			AN 223
			A 222
			= 230

Solution exercice 4.2

En utilisant les règles de Morgan l'expression logique de Y se simplifie: $Y = c + d.e$

Programme sur le TSX 21

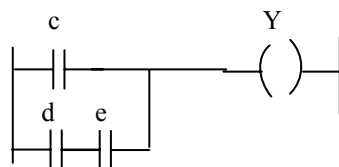
Adresses: a = 220 b = 221 c = 222 d = 223 e=224 Y = 231

Programme: L 222 L222 O770
 O 223 L223 =231
 = 231 A224

Programme sur le TSX 27:

Adresses: c = 3 d = 4 e=5 Y = 101

Programme:



Solution exercice 4.7 (API TSX 17-10)

Variable	Adresse	Programme séquentiel		Programme postérieur
bb	I0.1	==* 01	--*-- 03	==* POST
bl	I0.2	L I0.5	L T0	L X02
bs	I0.3	A I0.3	# 04	= O0.01
e	I0.4	O I0.6	--*-- 04	L X03
s	I0.5	# 02	L I0.4	= T0
v	I0.6		O I0.5	L X04
ft	T0	--*-- 02	AN I0.1	= O0.02
M+	O0.1	L I0.2	# 02	
M-	O0.2	# 03	L I0.1	EP
T	T0		# 01	

Solution exercice 4.11(API TSX 21)**1°Equivalence étapes - adresses des compteurs**

Etape	Adresse	Etape	Adresse	Etape	Adresse
30	401	40	500	44	504
31	402	41	501	45	505
32	401	12	502		
33	402	43	503		

2°Remarques

-a- Les deux séquences de droite de la séquence simultanée sont prises en charge par le même compteur, donc les adresses du compteur 400 prennent en charge chacune deux étapes.

* **-b-** L'initialisation de l'étape 40 (étape initiale du sous programme d'adresse 500) doit se faire obligatoirement dans la partie séquençement (programme séquentiel), et non dans la partie actions (programme postérieur) de l'étape zéro, car sinon elle ne pourra jamais avoir lieu. En effet et comme on évalue tout le programme durant le même cycle machine, dès le départ l'étape zéro est activée puis désactivée pour entrer dans la séquence simultanée. Quand on arrivera à la partie actions on trouvera l'étape zéro désactivée, et on ne pourra pas initialiser l'étape 40 (adresse 500). Par ailleurs et pour éviter le même problème, cette initialisation se fait juste après l'initialisation de l'étape zéro.

* **-c-** Pour les mêmes raisons que précédemment, on fera de même pour l'initialisation (remise à zéro) de tous les compteurs au niveau de l'étape zéro.

** **-d-** Toujours à cause de l'évaluation de tout le programme durant le même cycle d'horloge, on doit obligatoirement réinitialiser le compteur d'adresse 400 à la sortie de la séquence simultanée, car sinon l'activité de l'étape 4 fait rentrer directement dans la deuxième séquence simultanée prise en charge par le même compteur, avant d'avoir eu le temps de réinitialiser le compteur dans la partie "actions". Ceci engendrera un problème de prise en charge de cette deuxième séquence simultanée.

*** **-e-** Les étapes 30 et 32 sont prises en charge par la même adresse du compteur (l'adresse 401). Pour éviter le déclenchement simultané des 2 temporisations à l'étape 30 (ce qui posera problème pour la temporisation 2 quand on en aura besoin au niveau de l'étape 32), on introduit la notion d'action conditionnelle par les variables F3 et F4 du grafcet. Ainsi on aura T1 si F3 et T2 si F4.

**** **-f-** Le saut d'étape dans le sous programme pour passer de l'étape 41 à 44 (adresses 501 à 504) doit se faire par une triple incrémentation du compteur.

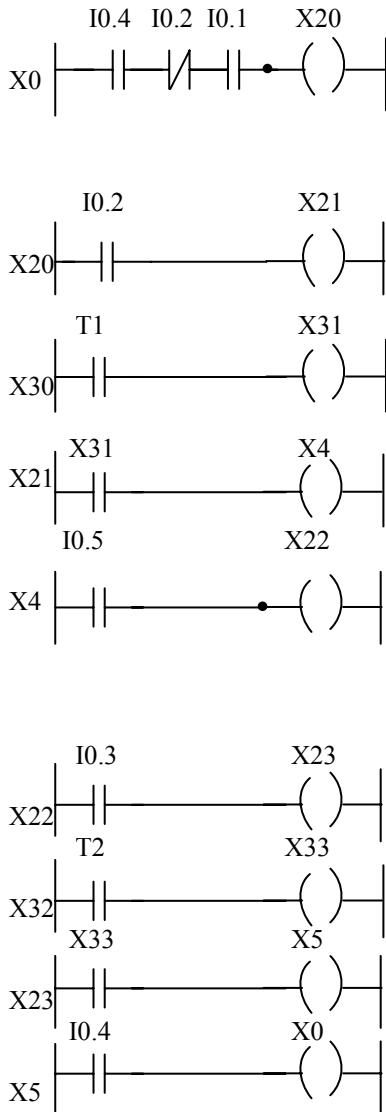
3°Programme pour le TSX21

ligne	Mném	Adr	Ligne	Mném	Adr	ligne	Mném	Adr
000	L	05	046	L	23	112	L	20
001	A	202	047	A	402	113	O	22
002	AN	204	048	=	05	114	=	231
003	=	00				115	L	401
			050	** L	05	116	=	232
004	* L	00	051	=	400			
005	=	400				117	*** L	401
006	=	500	052	L	05	120	A	202
			053	A	202	121	=	771
007	L	00	054	AN	204	122	L	401
010	A	202	055	=	00	123	A	203
011	AN	201				124	=	772
012	A	205	056	L	500			
013	L	05	057	L	X20	125	L	04
014	A	202	060	O	X22	126	=	236
015	A	204	061	A	770	127	L	05
016	O	770	062	=	501	130	=	237
017	=	20	063	L	501	131	L	501
020	=	401	064	A	305	132	=	233
021	L	20	065	=	501	133	L	502
022	A	505	066	L	502	134	=	235
023	=	21	067	A	301	135	L	503
024	L	401	070	A	302	136	=	234
025	A	771	071	=	501	137	L	504
026	=	401	072	L	503	140	A	303
027	L	21	073	A	306	141	=	771
030	A	402	074	=	501	142	L	504
031	=	04				143	L	301
			075	**** L	501	144	O	304
032	** L	04	076	AN	305	145	A	770
033	=	400	077	=	501	146	=	772
			100	=	501			
034	L	04	101	=	501			
035	A	203						
036	=	22	102	L	504			
037	=	401	103	L	771			
040	L	22	104	O	772			
041	A	505	105	O	307			
042	=	23	106	A	770			
043	L	401	107	=	501			
044	A	772	110	L	505			
045	=	401	111	=	500			

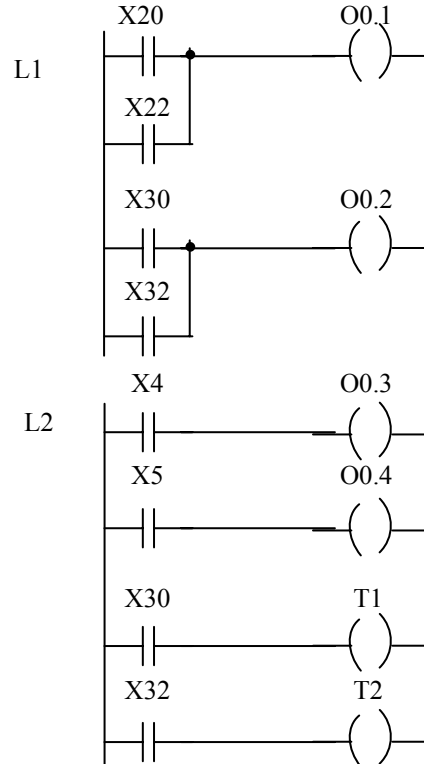
Solution exercice 4.12 (API TSX 17 en langage PL7-2)

Question1

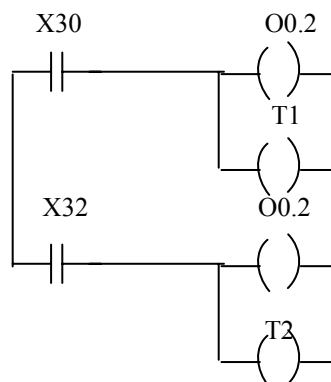
Programme séquentiel



Programme postérieur



Variante pour les étapes 30 et 32 (à proscrire):



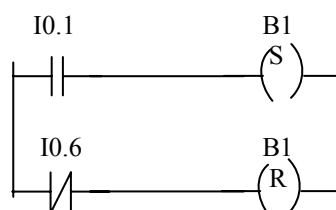
Il est formellement interdit d'écrire plusieurs fois la même adresse de sortie. Sinon on risque l'activation et la désactivation dans le même cycle.

Question2

Dans le grafcet il faut remplacer la réceptivité dcy par le bit interne B1. Ce bit sera mis à 1 par la détection de "dcy" et mis à zéro par la détection du bouton "arrêt". Puis on programme ce bit B1 dans le programme préliminaire (en langage à contacts) de la manière suivante (où S et R signifient respectivement "set" et "reset"):

dcy: adresse I0.1

arrêt: adresse I0.6



Programme préliminaire

Solution exercice 4.13(API TSX21)

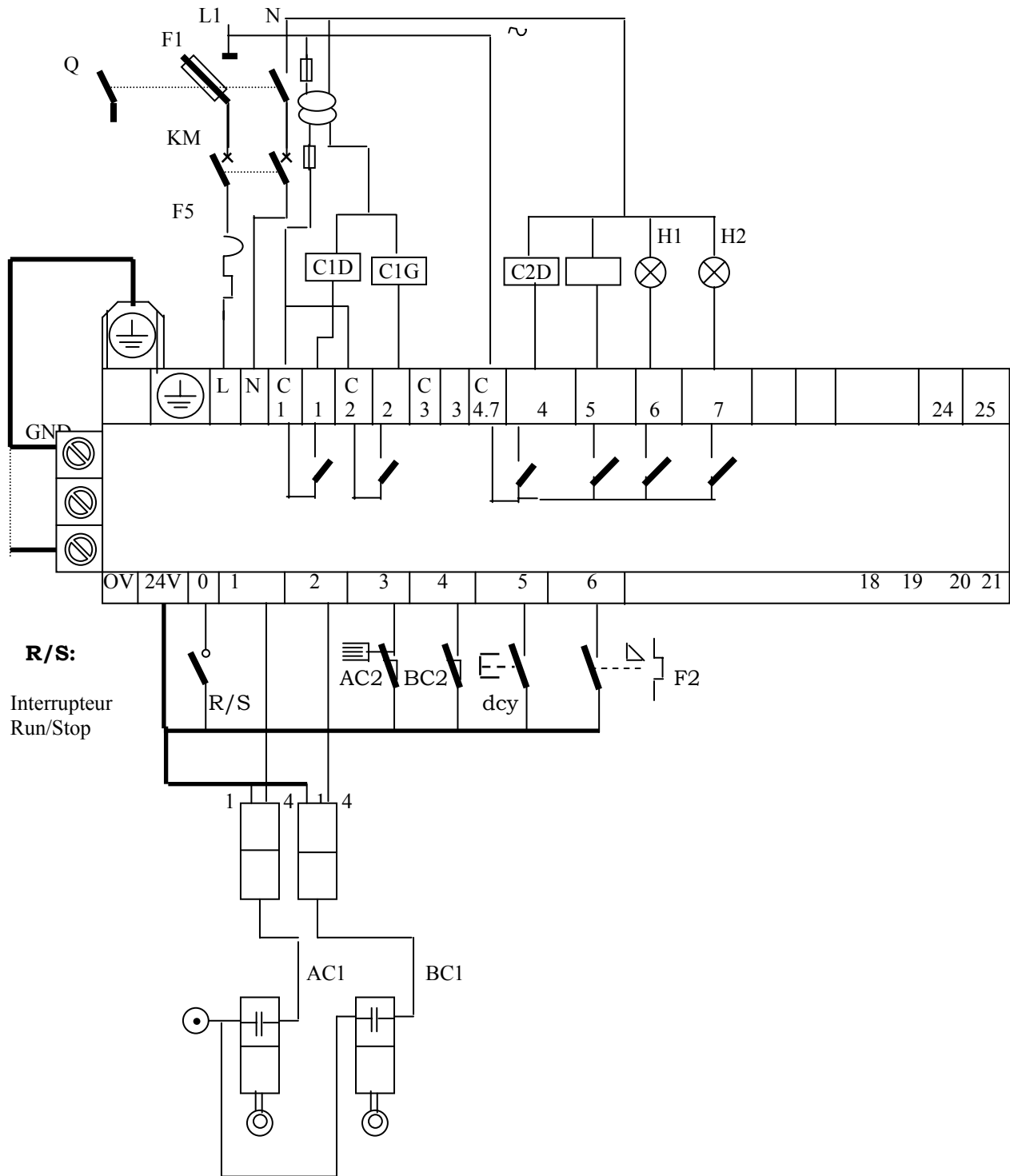
EQUIVALENCES DES ADRESSES DES COMPTEURS					
Compteur d'adresse 400		Compteur d'adresse 500		Compteur d'adresse 600	
adresse	étape	adresse	étape	adresse	valeur décimale
401	11	500	20	614	12
402	12	501	21		
403	13	502	22		
404	14	503	23		
405	15				

PROGRAMME

SEQUENCEMENT			SEQUENCEMENT (suite)			ACTIONS		
L	07	initialisation de l'étape 0	L	401	séquence de droite	L	02	
A	614		A	503		O	03	
=	00		=	401		=	234	
L	00	L	402	L		03		
=	400	A	772	=		771		
=	500	=	401	L		05	action conditionnelle	
=	600	L	403	A		203		
L	00	passage de l'étape 0 à l'étape 1	A	503		=	234	
A	200		=	401		L	402	
L	07		L	404		O	404	
AN	614		A	206	=	231		
O	770		=	401	L	402		
=	01		L	06	=	772		
L	01	entrée séquence simultanée	A	405	L	501		
=	02		=	07	=	232		
=	401		L	07	L	502	action conditionnelle	
L	02		=	400	A	203		
A	201	séquence de gauche	=	601	=	233		
L	05							
AN	204		L	07				
O	770		A	614				
=	03		=	00				
L	03		L	500	S			
A	A771		L	401	O			
=	04		O	403	U			
L	04		A	770	S			
A	202		=	501	P			
=	05		L	501	R			
L	05		A	203	O			
A	204		=	501	G			
L	02		L	502	R			
AN	201		A	205	A			
A	204		=	501	M			
O	770		L	503	M			
=	06		=	500	E			

Exercice 4.14: *exercice de synthèse de la programmation de grafjets sur API TSX17*

1- Schéma de câblage de l'API TSX 17



2-Programme en langage PL7.1

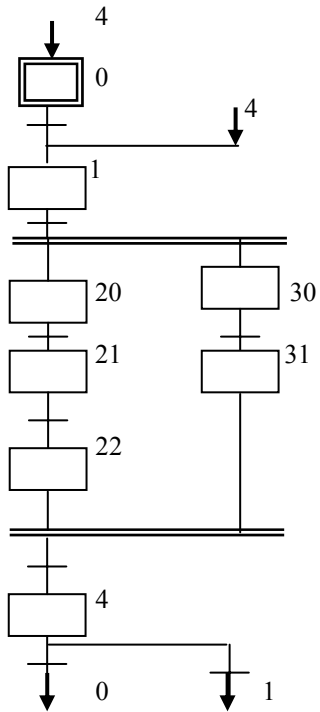
N°ligne	Mnémonique	Opérande	Commentaire
00	==*=	00	Initialisation et début du programme séquentiel
01	L	I0.5	
02	A	I0.1	
03	A	I0.3	
04	#	01	
05	-*-	01	
06	#	20	Entrée dans la séquence simultanée par une divergence en ET.
07	#	30	
07	-*-	20	
09	L	I0.2	
10	A	T1	Fin de temporisation
11	#	21	
12	-*-	21	
13	L	I0.1	
14	#	22	
15	-*-	30	
16	L	I0.4	
17	#	31	
18	-*-	22	Sortie de la séquence simultanée par une convergence en ET. On peut écrire soit à la place de ces 3 lignes, soit en plus : -*- 31, L X22, # 04
19	L	X31	
20	#	04	
21	-*-	04	
22	L	I0.3	
23	A	B2	Fin de comptage (bit interne)
24	#	00	
25	L	I0.3	
26	AN	B2	
27	#	01	

N°ligne	Mnémonique	Opérande
27	==*=	POST
28	L	X20
29	=	O0.1
30	=	T1
31	L	X21
32	=	O0.2
33	L	X30
34	A	I0.6
35	=	O0.4
36	L	X4
37	A	I0.6
38	=	O0.5
39	L	X30
40	O	X4
41	A	I0.6
42	=	O0.7
43	L	X30
44	O	X4
45	=	O0.6
46	L	X4
47	=	C1
48	EP	

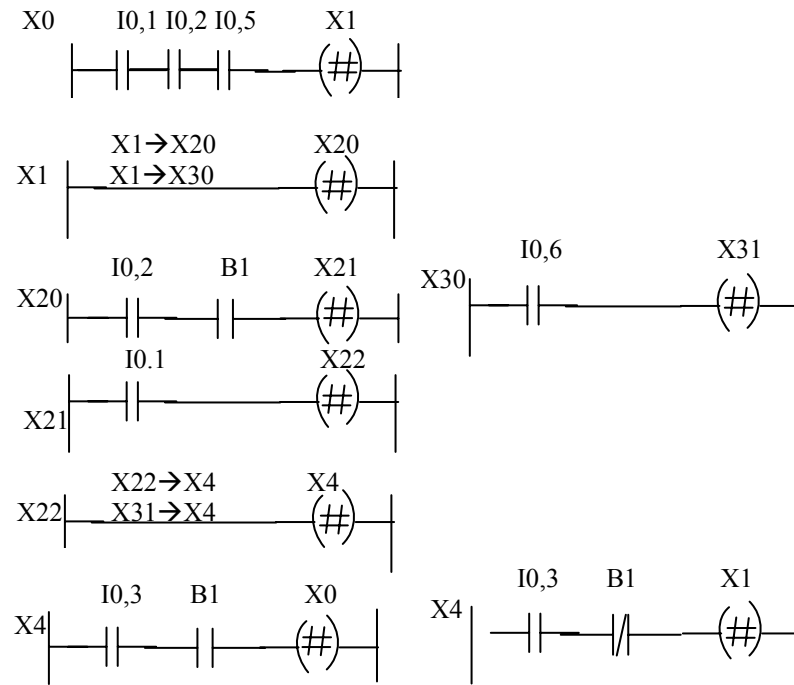
3. Programme en langage PL7.2

PROGRAMME SEQUENTIEL

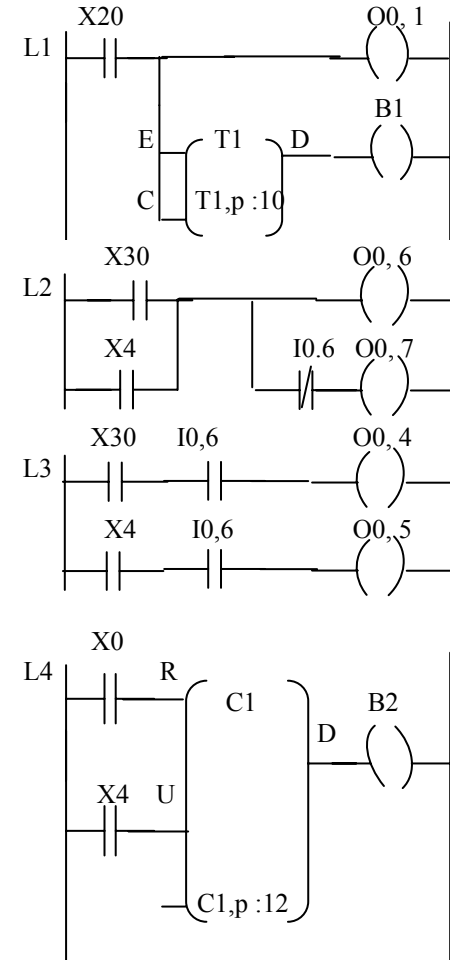
Dessin du grafcet



Réceptivités ou séquençement des étapes



PROGRAMME POSTERIEUR



- PARTIE V -
MODELISATION D'AUTOMATISMES PAR RESEAUX DE PETRI

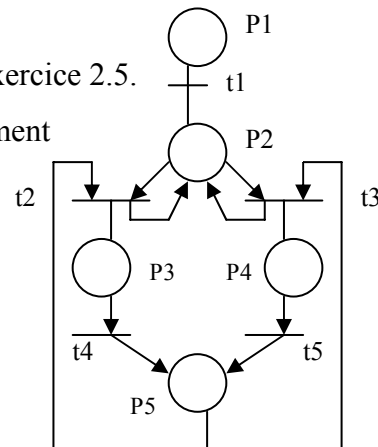
SOMMAIRE**SOLUTION EN PAGE**

<i>Exercice 5.1</i> : éléments de base des RDP	101
(matrice d'incidence; arbre, graphe et matrice des marquages; états et classe d'accueil; semi flot et réseau borné)	
<i>Exercice 5.2</i> : RDP interprété <i>généralisé</i>	103
(démonstration algébrique du fonctionnement cyclique et réseau borné)	
<i>Exercice 5.3</i> : détermination du graphe à partir de la matrice d'incidence	107
<i>Exercice 5.4</i> : synchronisation d'accès aux ressources communes	109
<i>Exercice 5.5</i> : station de mélange de briquettes avec arrêt d'urgence	111
<i>Exercice 5.6</i> : chariots de transport de minerai en modes cycle/cycle et automatique	112
<i>Exercice 5.7</i> : station de perçage de 2 pièces munie de vérins	
<i>Exercice 5.8</i> : station robotisée de tri automatique	
<i>Exercice 5.9</i> : empaquetage de dalles plastiques par RDP généralisé	

PARTIE V : MODELISATION D'AUTOMATISMES PAR RDP**Exercice 5.1**

La figure représente le graphe du RDP généralisé de l'exercice 2.5.

- 1- Donner le marquage initial nécessaire au fonctionnement
- 2- Donner la matrice des marquages accessibles
- 3- Le réseau possède-t-il des états d'accueil?
Classes d'accueil?
- 4- Le réseau possède-t-il des semi-flots?
- 5- Calculer le vecteur validation algébriquement.
- 6- Le réseau est-il borné?

**Exercice 5.2: perçage avec débouillage**

- 1° Donner le réseau de Petri interprété généralisé de l'automatisme décrit à l'exercice 2.4.
- 2° Donner l'arbre, la matrice et le graphe des marquages. En déduire l'existence d'états d'accueil.
- 3° Démontrer que le réseau possède un fonctionnement cyclique.
- 4° Ce réseau est-il borné (faire la démonstration algébriquement)?
- 5° Peut-on calculer le vecteur validation algébriquement? Si oui effectuer ce calcul.

Exercice 5.3

On donne la matrice d'incidence C d'un réseau de Petri.

- 1° En déduire le graphe du réseau de Petri.
Puis donner le marquage initial nécessaire au fonctionnement.

Remarque : toutes les questions sont indépendantes.

- 2° Ce réseau est-il borné ?
- 3° Peut-on calculer le vecteur validation algébriquement ? Si oui effectuer ce calcul.
- 4° Trouver un semi-flot pour ce réseau.
Vérifier que c'est bien un semi-flot.

$$C = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}$$

Exercice 5.4

Une machine de fabrication de vis produit des vis une à une, et les dépose 4 par 4, par le haut dans un magasin vertical. Le magasin a une capacité de 6 vis.

Deux robots de montage R1 et R2 accèdent au magasin par le bas pour y prendre les vis, et les monter sur des platines électromécaniques. Le robot R1 retire les vis du magasin par groupe de deux et les visse une par une. Le robot R2 retire les vis une par une et les visse une

par une. Les robots accèdent au magasin à **tour de rôle** (pas d'accès 2 fois de suite), et n'ont **pas de conflit d'accès avec la machine** de production : elle peut accéder par le haut pendant qu'un robot accède par le bas.

1° Donner le graphe du RDP interprété modélisant ce processus.

2° Le système peut-il arriver en situation de blocage **définitif** ? Pourquoi ?

3° Si oui donner la séquence S qui y amène, ainsi que le vecteur caractéristique correspondant.

Exercice 5.5 : station de mélange de briquettes

1° Donner le graphe du réseau de petri interprété de l'automatisme décrit à l'exercice 2.13, ainsi que le marquage initial nécessaire à son fonctionnement.

2° On rajoute à l'automatisme un bouton d'arrêt d'urgence AU. La détection de AU pendant la phase de pesage ou d'amenée des briquettes provoque directement un branchement à la phase de vidange. Donner le nouveau graphe du RDP

3° Que doit-on modifier sur le graphe pour pouvoir calculer le vecteur validation algébriquement?

Exercice 5.6 : chariots de transport de minerai (grafcet p41)

1° Donner le graphe du réseau de petri interprété modélisant le fonctionnement de l'automatisme décrit à l'exercice 2.9, ainsi que le marquage initial nécessaire à son fonctionnement.

2° On rajoute un interrupteur deux positions AUT permettant un fonctionnement soit automatique (AUT=1), soit cycle par cycle (AUT=0) avec redémarrage manuel par appui sur le bouton poussoir DCY de démarrage cycle. Donner les modifications sur le graphe permettant un fonctionnement manuel et automatique.

3° On reprend le premier graphe. Que doit-on modifier sur le graphe pour pouvoir calculer le vecteur validation algébriquement?

4° Démontrer algébriquement (pour le premier graphe) que le réseau est borné.

Exercice 5.7: perçage de 2 pièces

Donner le réseau de petri interprété de l'automatisme décrit à l'exercice 2.3

Exercice 5.8: 3 tapis et 3 robots

Donner le réseau de petri interprété de l'automatisme décrit à l'exercice 2.5, en faisant clairement ressortir le marquage initial nécessaire au fonctionnement.

Exercice 5.9: empaquetage de dalles plastiques

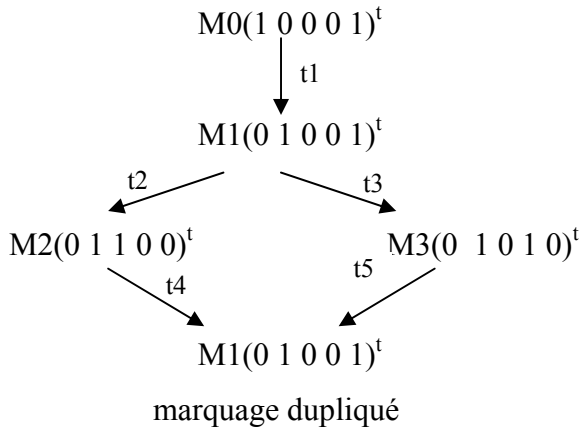
Donner le réseau de petri généralisé de l'automatisme décrit à l'exercice 2.17

Solution exercice 5.1

1° Le marquage initial nécessaire au fonctionnement est $(1\ 0\ 0\ 0\ 1)^t$

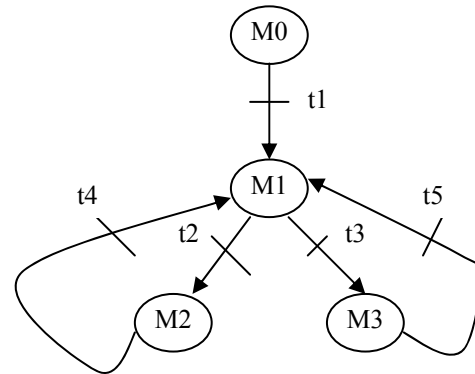
2°

a° Arbre des marquages accessibles



3°

a° Graphe des marquages



b° Matrice M des marquages accessibles

$$M = \begin{matrix} & M0 & M1 & M2 & M3 \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

b° Etats et classes d'accueil

On a un état d'accueil: le marquage M1
Il est donc inutile de parler de classe d'accueil, puisqu'on a un état d'accueil qui est un marquage toujours accessible.

4°

a° Matrice Post

	t1	t2	t3	t4	t5
p1	0	0	0	0	0
p2	1	1	1	0	0
p3	0	1	0	0	0
p4	0	0	1	0	0
p5	0	0	0	1	1

b° Matrice Pre

Pre	t1	t2	t3	t4	t5
p1	1	0	0	0	0
p2	0	1	1	0	0
p3	0	0	0	1	0
p4	0	0	0	0	1
p5	0	1	1	0	0

c° Matrice d'incidence

	t1	t2	t3	t4	t5
p1	-1	0	0	0	0
p2	+1	0	0	0	0
p3	0	1	0	-1	0
p4	0	0	1	0	-1
p5	0	-1	-1	1	1

d° Si $f = (a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5)^t$ est un semi-flot $\rightarrow f^t \cdot C = 0 \iff (a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5) \cdot C = 0 \iff$

$$\left. \begin{array}{l} (1) \ -a_1 + a_2 = 0 \\ (2) \ a_3 - a_5 = 0 \\ (3) \ a_4 - a_5 = 0 \\ (4) \ -a_3 + a_5 = 0 \\ (5) \ -a_4 + a_5 = 0 \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} (1) \rightarrow a_1 = a_2 \\ (2) \text{ et } (4) \rightarrow a_3 = a_5 \\ (3) \text{ et } (5) \rightarrow a_4 = a_5 \end{array} \right\} \rightarrow \begin{cases} a_1 = a_2 \\ a_3 = a_4 = a_5 \end{cases}$$

Un vecteur f qui répond à ces conditions est $f = (1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)^t$

e° Si f est un semi-flot il l'est pour tout marquage accessible. Nous aurons alors une relation invariante sur les marquages, c'est à dire $\forall M \in M$ et $\forall M' \in M$ (matrice des marquages), nous aurons la relation $f^t M = f^t M'$.

Nous n'avons pas besoin d'effectuer les calculs pour le démontrer. En effet compte tenu du fait que seules les 2 premières composantes de f sont non nulles, et si l'on observe les deux premières composantes des vecteurs marquages, on remarque qu'il y a à chaque fois une seule composante non nulle. Par conséquent $\forall M \in M$ on aura $f^t M = 1$.

Donc la relation d'invariance sur les marquages est vérifiée, par conséquent le vecteur f est bien un semi-flot pour tout marquage accessible.

5° Le réseau est vivant et sain, donc conforme. Par conséquent on peut calculer le vecteur validation algébriquement.

$$\overline{V} = [\text{Pre}(p,t)]^t \otimes \overline{[M0]} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$V = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^t$$

6° Pour démontrer que le réseau est borné, il suffit de dire que l'existence d'un semi-flot rend le réseau borné.

En effet:

l'existence d'un semi-flot se vérifie par l'existence d'un vecteur f tel que $f^t \cdot C = \vec{0}$
 le fait que le réseau soit borné " " " " " " " $f^t \cdot C \leq 0$ }

→ Donc il suffit de prouver l'existence d'un semi-flot.

Par conséquent le vecteur $f = [1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^t$ rend le réseau borné.

Solution exercice 5.2

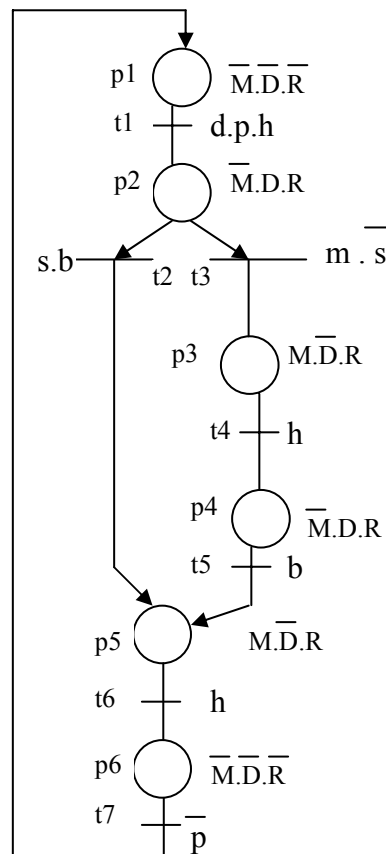
1°

-a-Tableau des variables d'entrée-sortie

ENTREES		SORTIES	
d	départ cycle	$\overline{M \ \& \ M}$	commande et arrêt moteur translation en montée
s & \overline{s}	choix du type de perçage: avec & sans déburrage	$\overline{D \ \& \ D}$	commande et arrêt moteur translation en descente
b	perceuse en position basse	$\overline{R \ \& \ R}$	commande et arrêt moteur rotation
m	perceuse en position médiane		
h	perceuse en position haute		
p	détecteur présence pièce		

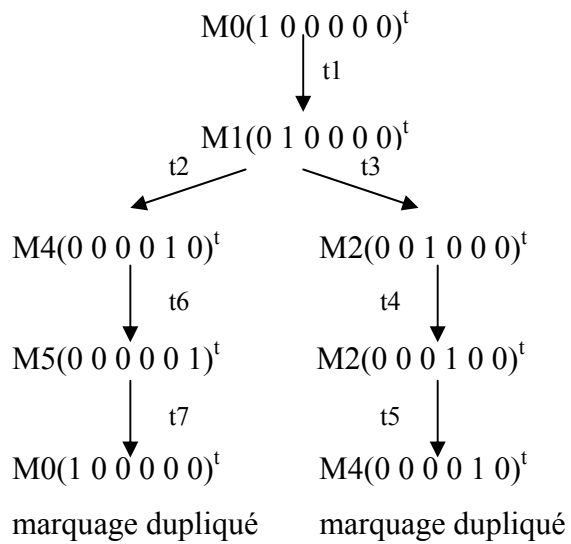
-b-RDP interprété généralisé

Dans le cas du réseau généralisé, on peut mettre les actions au niveau des places et les informations (réceptivités) au niveau des transitions. On se retrouve dans le même cas que le grafcet (où la place remplace l'étape), avec cependant les règles de fonctionnement du RDP.

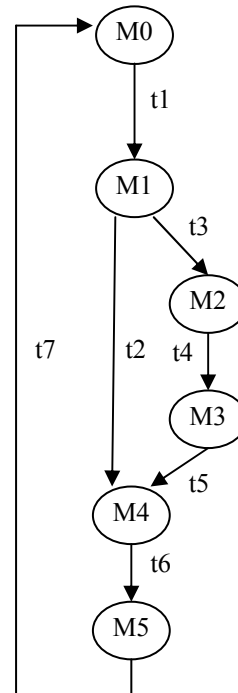


2°

-a-Arbre des marquages accessibles



-b-Graphe des marquages



-c-Matrice des marquages

$$M = \begin{matrix} & M0 & M1 & M2 & M3 & M4 & M5 \\ \begin{matrix} p1 \\ p2 \\ p3 \\ p4 \\ p5 \\ p6 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

-d-Etats et classes d'accueil

Les marquages M0, M1, M4 et M5 sont des états d'accueil car ce sont des marquages toujours accessibles quelle que soit l'évolution du réseau.

On a une multitude de classes d'accueil: $Ca_1 \{ M2, M4 \}$; $Ca_2 \{ M3, M4 \}$; etc...

3° Fonctionnement cyclique

Recherchons d'abord l'existence d'un semi-flot. Puis nous essaierons de prouver à l'aide de ce semi-flot que $\forall M \in M$ on aura $f^t M = f^t M_0$, ce qui signifie que quel que soit le marquage accessible on arrivera toujours au marquage initial M0.

-a-Matrice des préconditions (Pre(p,t)) et postconditions (Post(p,t))

$$\text{Pre}(p,t): \quad \forall p_i \in P, \Gamma(p_i) = \{ t \in T / \text{Pre}(p_i,t) > 0 \}$$

$$\Gamma(p1) = \{t1\}; \quad \Gamma(p2) = \{t2, t3\}; \quad \Gamma(p3) = \{t4\}; \quad \Gamma(p4) = t5; \quad \Gamma(p5) = t6; \quad \Gamma(p6) = t7.$$

$$\text{Post}(p,t): \quad \forall t_i \in P, \Gamma(t_i) = \{ p \in P / \text{Post}(p,t_i) > 0 \}$$

$$\Gamma(t1) = p2; \quad \Gamma(t2) = p5; \quad \Gamma(t3) = p3; \quad \Gamma(t4) = p4; \quad \Gamma(t5) = p5; \quad \Gamma(t6) = p6; \quad \Gamma(t7) = p1.$$

Matrice Pre (p,t)

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7
p1	1	0	0	0	0	0	0
p2	0	1	1	0	0	0	0
p3	0	0	0	1	0	0	0
p4	0	0	0	0	1	0	0
p5	0	0	0	0	0	1	0
p6	0	0	0	0	0	0	1

Matrice Post (p,t)

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7
p1	0	0	0	0	0	0	1
p2	1	0	0	0	0	0	0
p3	0	0	1	0	0	0	0
p4	0	0	0	1	0	0	0
p5	0	1	0	0	1	0	0
p6	0	0	0	0	0	1	0

-b-Matrice d'incidence: $C(p, t) = \text{Post}(p, t) - \text{Pre}(p, t)$

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7
p1	-1	0	0	0	0	0	1
p2	1	-1	-1	0	0	0	0
p3	0	0	1	-1	0	0	0
p4	0	0	0	1	-1	0	0
p5	0	1	0	0	1	-1	0
p6	0	0	0	0	0	1	-1

-c-Semi-flot

Un vecteur f d'entiers, solution de $f^t \cdot C = 0$ est un semi-flot. f est un vecteur colonne valant les places.

Si $f = (a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6)^t$ est un semi-flot $\iff f^t \cdot C = 0 \iff (a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6) \cdot [C] = 0$

$$\begin{aligned} \iff & \left. \begin{aligned} -a_1 + a_2 &= 0 \\ -a_2 + a_5 &= 0 \\ -a_2 + a_3 &= 0 \\ -a_3 + a_4 &= 0 \\ -a_4 + a_5 &= 0 \\ -a_5 + a_6 &= 0 \\ a_1 - a_6 &= 0 \end{aligned} \right\} \rightarrow a_1 = a_2 = a_5 = a_3 = a_4 = a_6 \\ & \text{Une solution est } f = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1)^t \end{aligned}$$

-d-Fonctionnement cyclique

Si f est un semi-flot, il l'est pour tous marquages accessibles; c'est à dire $\forall M \in \mathcal{M}$ et $\forall M' \in \mathcal{M}$ obtenu à partir de M , nous avons la relation $f^t M' = f^t M$.

En particulier si le marquage de départ est M_0 , $\forall M \in \mathcal{M}$, $f^t M = f^t M_0$.

On remarque d'après la matrices des marquages que pour tous les marquages accessibles, on a une seul composante non nulle, qui est égale à 1. Comme toutes les composantes de f sont égales à 1, par conséquent $\forall M \in \mathcal{M}$, $f^t M = f^t M_0$. Donc le système a un fonctionnement cyclique.

4° Réseau borné

Montrer que le réseau est borné revient à trouver un vecteur f non nul tel que $f^t \cdot C \leq 0$.

$$f^t \cdot C \leq 0 \iff (f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4 \ f_5 \ f_6) \cdot (C) \leq 0 \iff \begin{cases} -f_1 + f_2 \leq 0 \\ -f_2 + f_5 \leq 0 \\ -f_2 + f_3 \leq 0 \\ -f_3 + f_4 \leq 0 \\ -f_4 + f_5 \leq 0 \\ -f_5 + f_6 \leq 0 \\ f_1 - f_6 \leq 0 \end{cases} \iff \begin{cases} f_2 \leq f_1 \\ f_5 \leq f_2 \\ f_3 \leq f_2 \\ f_4 \leq f_3 \\ f_5 \leq f_4 \\ f_6 \leq f_5 \\ f_1 \leq f_6 \end{cases}$$

$$\rightarrow f_2 \leq f_1 \leq f_6 \leq f_5 \leq f_4 \leq f_3 \leq f_2.$$

Les seuls vecteurs qui vérifient ces relations sont des vecteurs dont toutes les composantes sont identiques (à cause de $f_2 \leq f_2$). Par ailleurs étant donné que le réseau est vivant et sain donc conforme, il est à valuation unité, donc les composantes du vecteur f sont binaires (0 ou 1).

Par conséquent le seul vecteur non nul qui vérifie la relation est $f = (1 \ 1 \ 1 \ 1)^t$.

On peut donc conclure qu'il existe un vecteur f tel que $f^t C \leq 0 \rightarrow$ le réseau est borné.

5° Le réseau est sain \rightarrow on peut calculer le vecteur validation algébriquement.

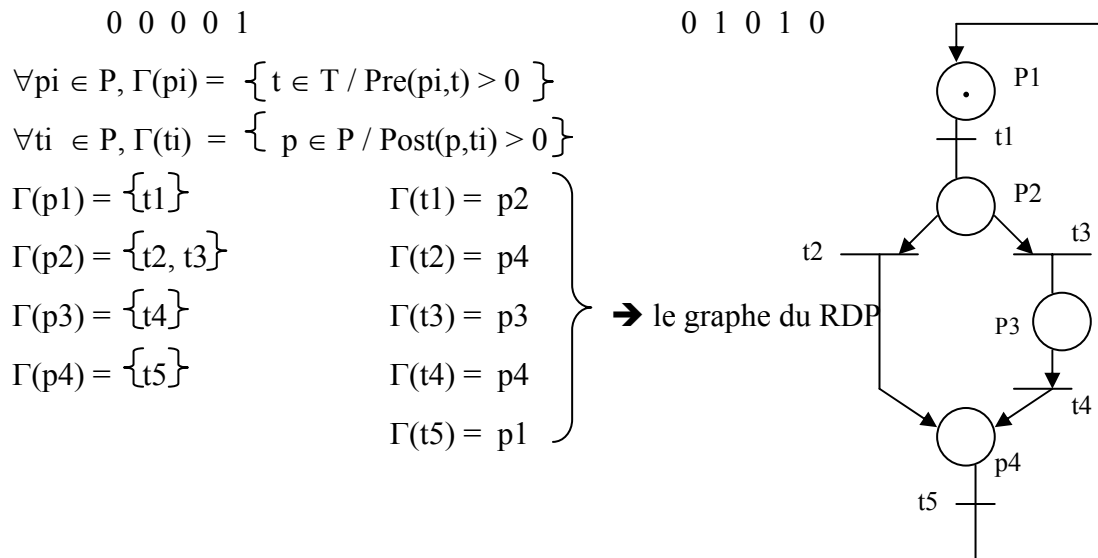
$$V = [\text{Pre}(p,t)]^t \otimes [M_0] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0+0+\dots+0 \\ 0+1+0\dots+0 \\ 0+1+0\dots \\ 0+1+0\dots+0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow V = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^t$$

Solution exercice 5.3

1° On suppose que le réseau est pur, alors on peut calculer les matrices Pré et Post à partir de la matrice d'incidence: $\text{Pre} = \text{Max}(0, -C)$; $\text{Post} = \text{Max}(0, C)$.

$$\text{Pre} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{Post} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



Le marquage initial nécessaire au fonctionnement est $M_0 = (10\ 0\ 0)^t$

2° Montrer que le réseau est borné revient à trouver un vecteur f non nul tel que $f^t \cdot C \leq 0$.

$$f^t \cdot C \leq 0 \iff (f_1\ f_2\ f_3\ f_4) \cdot \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \leq 0 \iff \begin{cases} -f_1 + f_2 \leq 0 \\ -f_2 + f_4 \leq 0 \\ -f_2 + f_3 \leq 0 \\ -f_3 + f_4 \leq 0 \\ f_1 - f_4 \leq 0 \end{cases} \iff \begin{cases} f_2 \leq f_1 \\ f_4 \leq f_2 \\ f_3 \leq f_2 \\ f_4 \leq f_3 \\ f_1 \leq f_4 \end{cases}$$

→ $f_4 \leq f_3 \leq f_2 \leq f_1 \leq f_4$.

Les seuls vecteurs qui vérifient ces relations sont des vecteurs dont toutes les composantes sont identiques (à cause de $f_4 \leq f_4$). Par ailleurs étant donné que le réseau est vivant et sain donc conforme, il est à valuation unité.

Par conséquent le seul vecteur qui reste est $f = (1\ 1\ 1\ 1)^t$

On peut donc conclure qu'il existe un vecteur f tel que $f^t C \leq 0$ → le réseau est borné.

3° Le réseau est sain → on peut calculer le vecteur validation algébriquement.

$$\overline{V} = [\text{Pre}(p,t)]^t \otimes \overline{[M_0]} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

→ $V = [1\ 0\ 0\ 0\ 0]^t$

4° Comme on a trouvé un vecteur f tel que $f^t C \leq 0$, le même vecteur vérifie la relation

$f^t C = 0$. Par conséquent il existe un semi-flot, c'est le vecteur $f = (1\ 1\ 1\ 1)^t$

Si f est bien un semi-flot il l'est pour tout marquage accessible.

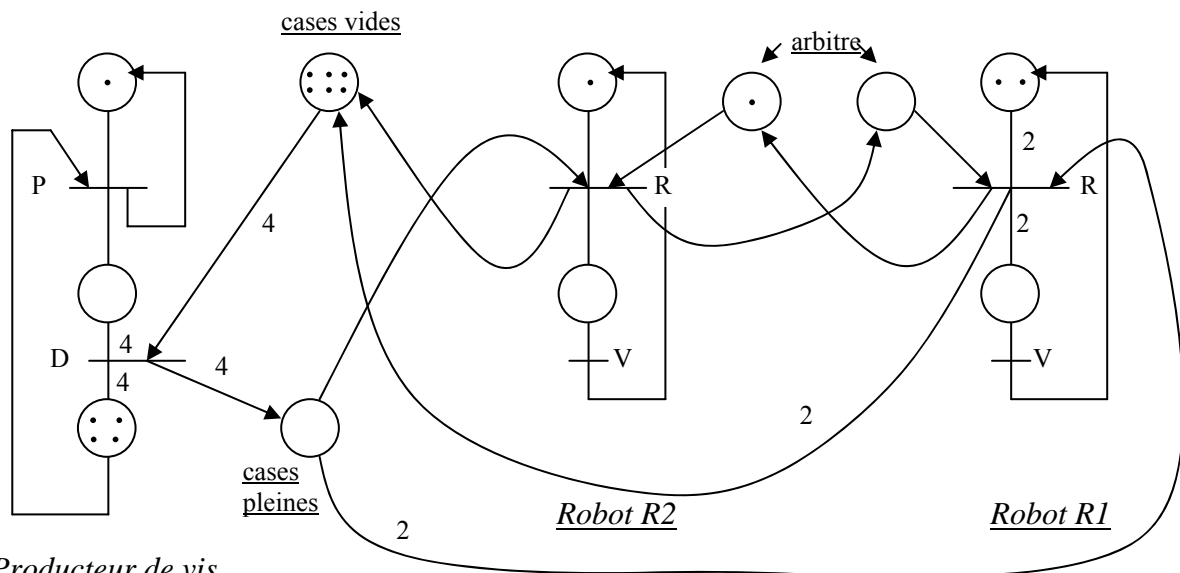
Calculons la matrice des marquages .

$$M = \begin{matrix} & M0 & M1 & M2 & M3 \\ \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

On remarque que $\forall M \in M$ on a $f^t M = 1 = f^t M0$. Donc $\forall M \in M$ et $\forall M' \in M$, nous avons la relation $f^t M = f^t M'$. On peut alors conclure que f est bien un semi-flot pour tout marquage accessible.

Solution exercice 5.4

1° Réseau de petri interprété



Producteur de vis

Actions: R: retrait D: dépôt P: production V: vissage

2° Blocages

a° Au bout de 2 cycles on peut avoir un blocage *temporaire* car le magasin sera plein, et le producteur ne peut pas déposer. Il lui suffit d'attendre que l'un des robots prélève des vis pour qu'il puisse déposer à nouveau dans le magasin (voir détails page suivante).

b° Il ne peut pas y avoir de blocage *définitif* car il y a une indépendance entre le producteur de vis et les consommateurs de vis pour l'accès au magasin.

c° Le magasin ne peut pas déborder également car la place "cases vides" contrôle le dépôt des vis dans le magasin.

d° Le seul cas de blocage définitif c'est quand l'un des robots tombe en panne. Pour éviter ce blocage il faut modifier les conditions de l'énoncé et autoriser les robots à accéder deux fois de suite (ceci ne fait pas partie de l'énoncé).

3° Séquences de franchissement

Cycle	Phase	Action			Etat après l'action		Observations
		D Dépôt	R2 Retrait Robot R2	R1 Retrait Robot R1	CV Nombre cases vides	CP Nombre cases pleines	
1	0				6	0	
	1	x			2	4	
	2		x		3	3	
	3			x	5	1	
2	4	x			1	5	
	5		x		2	4	Après cette phase , seule R1 est franchissable.
	6			x	4	2	
3	7	x			0	6	
	8		x		1	5	Après cette phase , seule R1 est franchissable.
	9			x	3	3	Après cette phase, le producteur ne peut plus produire
	10		x		4	2	
	11			x	6	0	

1- D'après le RDP on voit que le dépôt et les retraits sont indépendants, ils sont simplement synchronisés par CV ET CP. Ainsi après la phase 3, on peut encore franchir D, ainsi que R2. Les deux transitions peuvent être franchies en parallèle.

2- Supposons alors, pour simplifier, que parmi les 3 transitions D, R2 et R1 (R2 et R1 sont exclusives pour le jeton), on ne franchit qu'une seule transition à la fois, et qu'on effectue des cycles de franchissement à tour de rôle.

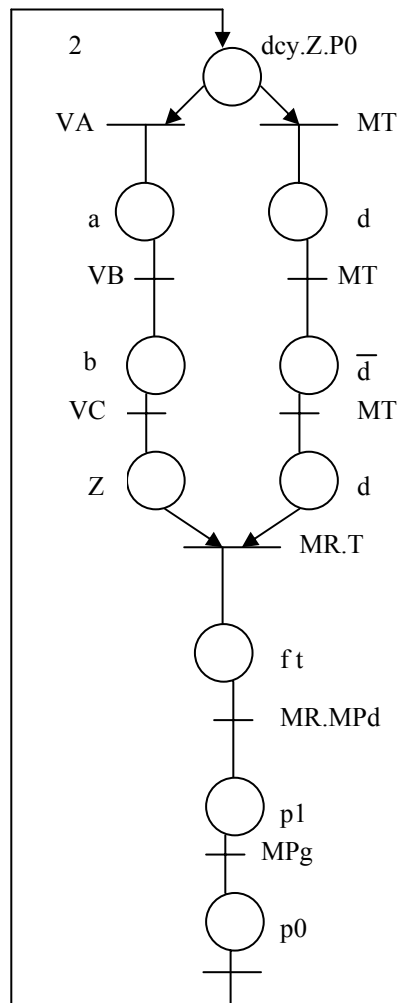
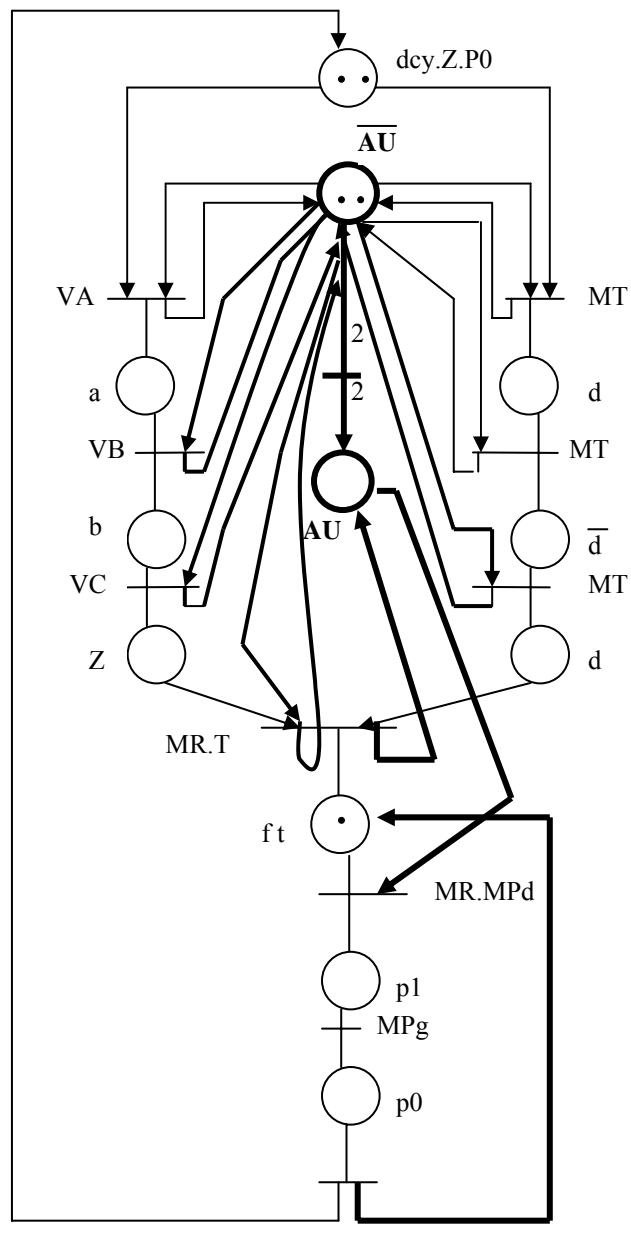
Après le 3°cycle (après la phase 9), le producteur ne peut plus déposer dans le magasin car CV=3 et la valuation de l'arc est égale à 4. Il doit attendre un nouveau retrait de la part de R2 pour que la transition devienne franchissable.

3- Supposons maintenant que le retrait et le dépôt peuvent effectivement se faire en parallèle.

* après la phase 3 : D et R2 sont franchissables. Si on franchit D et R2 en même temps, on arrive directement à la fin de la phase 5. Cela revient à effectuer les deux actions des phases ϕ_4 et ϕ_5 (puisque les règles du RDP disent que l'exécution de ϕ_4 puis ϕ_5 ou bien ϕ_5 puis ϕ_4 donnent le même résultat). Après seule R1 est franchissable.

* après la phase 6, on voit que compte tenu du nombre de case pleines, D et R2 sont à nouveau franchissables toutes les 2. En utilisant les mêmes règles du RDP, on aboutit donc à la fin de la phase 8. Seule R1 est franchissable. Après son franchissement (phase 9), le producteur est bloqué et ne peut plus produire. On se retrouve dans la même situation qu'à la fin du paragraphe 2, où les franchissements se faisaient à tour de rôle.

4- Par conséquent, on va adopter la règle des systèmes à événement discrets : « deux événements non corrélés ne peuvent pas se produire en même temps », et effectuer donc le franchissement des transitions l'une après l'autre et jamais deux transitions en même temps.

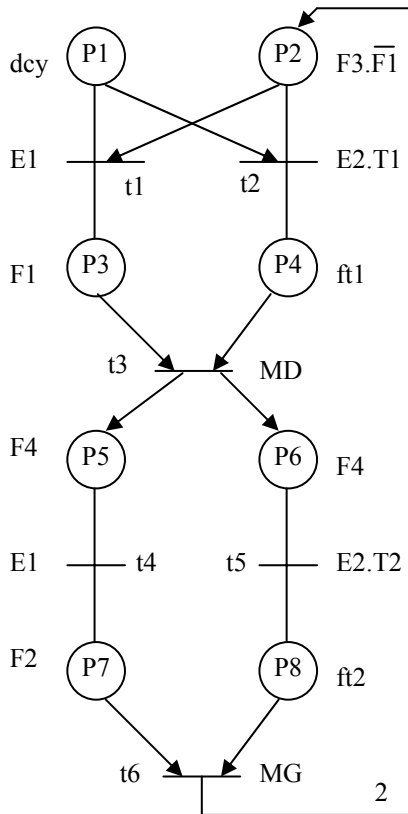
Solution exercice 5.5**1° RDP interprété****2° RDP interprété avec arrêt d'urgence**

Remarque: si on détecte l'arrêt d'urgence, donc passage de \overline{AU} à AU , la place AU n'a plus de marques pour le franchissement des transitions. Après vidange et retour en début de cycle, on doit forcer manuellement le passage de AU à \overline{AU} .

3° Pour calculer le vecteur validation algébriquement, il faut que le réseau soit sain (aucune place ne doit avoir plus d'une marque). Pour le rendre sain il suffit de dédoubler la place initiale et la remplacer par deux places identiques ayant chacune une seule marque. Quant à l'arc menant de la place p_0 à cette place, il sera remplacé par 2 arcs menant vers ces deux nouvelles places.

Solution exercice 5.6

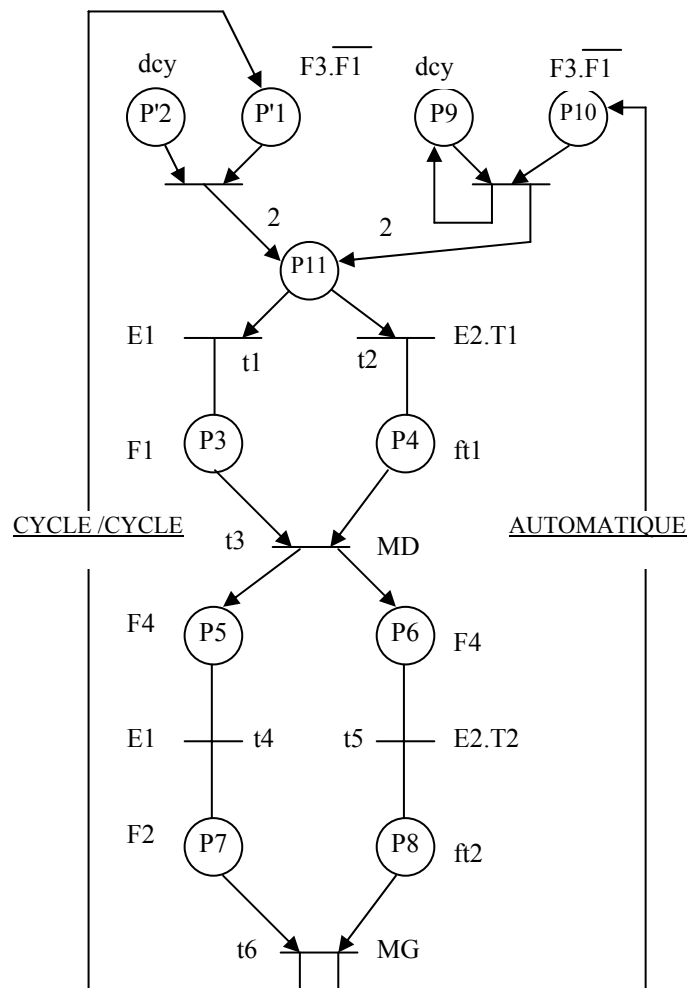
1° Réseau de petri interprété



Marquage initial:

$$M_0 = (2 \ 2 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)^t$$

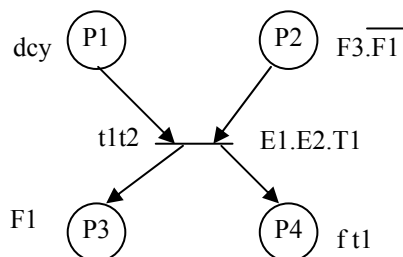
2° Réseau avec mode automatique



Marquage initial cycle / cycle: $M'_0 = (1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)^t$

Marquage initial automatique: $M'_0 = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0)^t$

3° Pour calculer le vecteur validation algébriquement, il faut que le réseau soit sain. Pour le rendre sain il suffit de mettre ensemble les deux transitions t1 et t2. Tous les arcs seront alors à valuation unité et les places avec une seule marque. La seule modification sur le graphe est la suivante:



4° Démontrer que le réseau est borné revient à trouver un vecteur f tel que $f^t \cdot C \leq 0$.

Calculons d'abord la matrice d'incidence.

	t1	t2	t3	t4	t5	t6
p1	1	1	0	0	0	0
p2	1	1	0	0	0	0
p3	0	0	1	0	0	0
p4	0	0	1	0	0	0
p5	0	0	0	1	0	0
p6	0	0	0	0	1	0
p7	0	0	0	0	0	1
p8	0	0	0	0	0	1

	t1	t2	t3	t4	t5	t6
p1	0	0	0	0	0	0
p2	0	0	0	0	0	1
p3	1	0	0	0	0	0
p4	0	1	0	0	0	0
p5	0	0	1	0	0	0
p6	0	0	1	0	0	0
p7	0	0	0	1	0	0
p8	0	0	0	0	1	0

	t1	t2	t3	t4	t5	t6
p1	-1	-1	0	0	0	0
p2	-1	-1	0	0	0	1
p3	1	0	-1	0	0	0
p4	0	1	-1	0	0	0
p5	0	0	1	-1	0	0
p6	0	0	1	0	-1	0
p7	0	0	0	1	0	-1
p8	0	0	0	0	1	-1

$$f^t \cdot C \leq 0 \iff (f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4 \ f_5 \ f_6 \ f_7 \ f_8) \cdot (C) \leq 0 \iff$$

$$f_3 \leq f_1 + f_2$$

$$f_4 \leq f_1 + f_2$$

$$f_5 + f_6 \leq f_3 + f_4$$

$$f_7 \leq f_5$$

$$f_8 \leq f_6$$

$$f_2 \leq f_7 + f_8$$

\iff un vecteur f solution de ce système d'équations (càd qui rend le réseau borné) est le vecteur unitaire.

$$f = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1)^t$$

- PARTIE VI -
MODELISATION GEOMETRIQUE DE ROBOTS

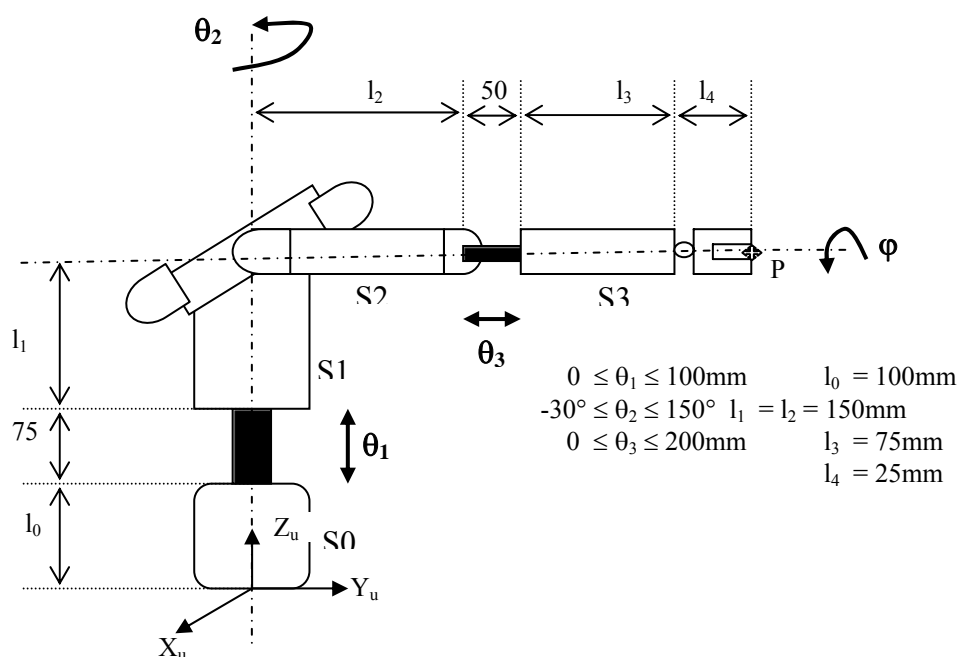
SOMMAIRE**SOLUTION EN PAGE**

<i>Exercice 6.1</i> : modélisation libre et problème géométrique inverse notion de résolvabilité	122
<i>Exercice 6.2</i> : modélisation libre avec articulations doubles, et problème géométrique direct	126
<i>Exercice 6.3</i> : modélisation par la méthode de Denavit-Hartenberg	129
<i>Exercice 6.4</i> : modélisation par la méthode de Denavit-Hartenberg et couplage robot-vision (calibration)	134
<i>Exercice 6.5</i> : recherche de la matrice de denavit hartenberg à partir du dessin des repères des segments	120
<i>Exercice 6.6</i> : Changement successifs des repères et disposition des repères à partir des matrices d'orientation	137

PARTIE VI : MODELISATION GEOMETRIQUE DE ROBOTS**Exercice 6.1 : Modélisation libre et problème géométrique inverse**

On considère le SMA donné par la figure ci-après. Le porteur est constitué de 4 segments dont 3 sont mobiles. Les articulations θ_1 et θ_3 sont prismatiques, et l'articulation θ_2 est rotoïde. La pince tourne d'un angle φ par rapport au segment S_3 . Sur la figure on a $\underline{\theta} (75, 0, 50)$ et $\varphi = 90^\circ$.

- 1° Faire une figure indiquant les différents repères associés aux segments du porteur.
- 2° Etablir les matrices de transformation homogène de changement de repère A_{i-1}^i , en détaillant chaque étape.
- 3° En déduire la matrice T du porteur.
- 4° Calculer les matrices E (effecteur par rapport à R_0) et Z (R_0 par rapport au repère de référence de l'univers R_u donné sur la figure).
- 5° Donner les expressions de X_P , Y_P , Z_P , en fonction des variables articulaires θ_i , des longueurs l_i et de φ . Que remarque-t-on? Que peut-on en conclure?
- 6° Pour la configuration de la figure donner les valeurs de X_P , Y_P , Z_P .
- 7° Donner les expressions des variables θ_i en fonction de X_P , Y_P , Z_P et des longueurs l_i .
- 8° On veut atteindre un point de l'espace de coordonnées $X = Y = 2l_2$, $Z = 2l_0$. Le robot est-il résolvable? Combien y-a-t-il de configurations solutions? (on donnera dans chaque cas les valeurs des variables articulaires).
- 9° Même question que pour la question 8° avec $X = Y = l_1\sqrt{2}$, $Z = 2l_1$.



Exercice 6.2: modélisation libre avec articulations doubles, et problème géométrique direct

On considère le robot de type "scara" modifié, possédant 5 articulations dont deux sont doubles: rotation θ_1 , rotation θ_2 + translation T_1 (articulation double liant les segments de longueurs l_2 et l_1), translation T_2 + rotation φ de la tige de longueur l_3 par rapport à son axe de translation.

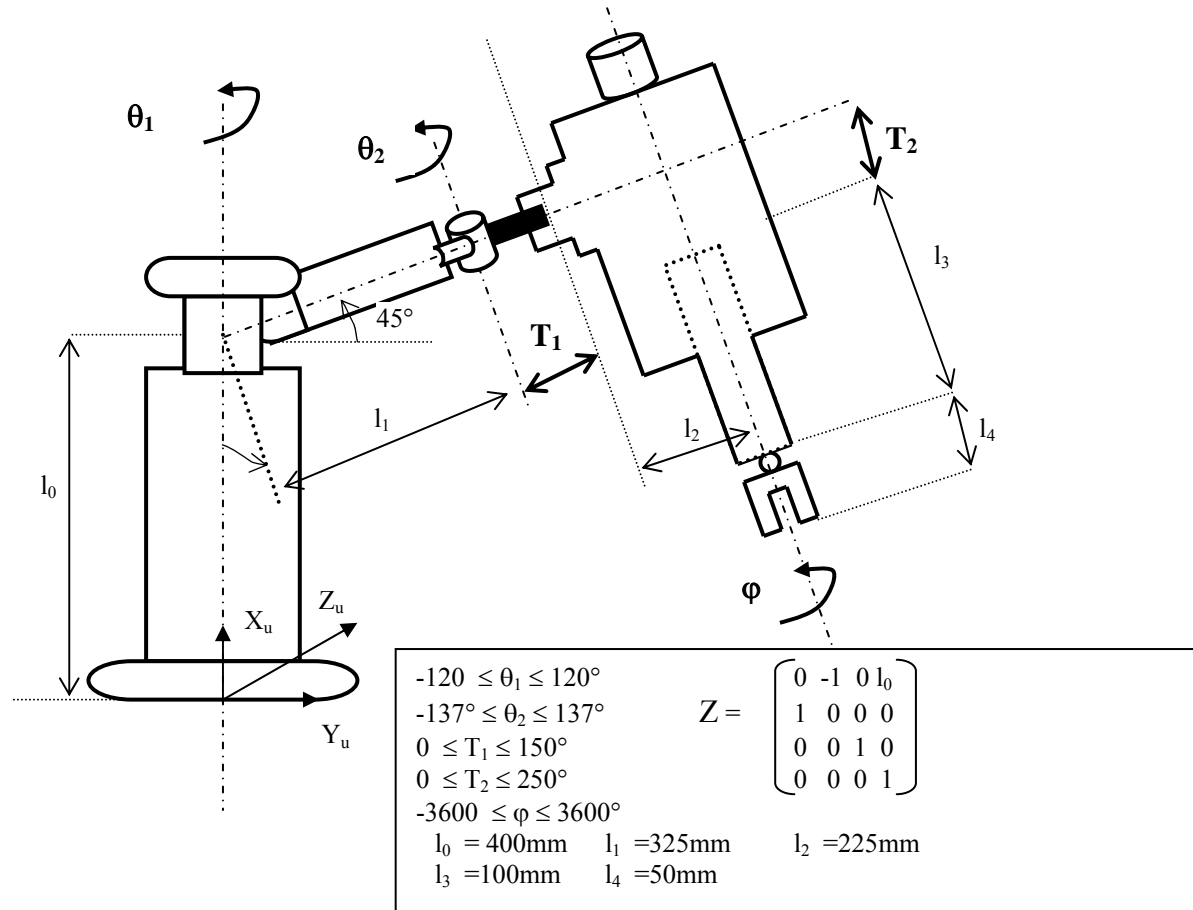
1° Faire une figure indiquant les différents repères associés aux segments du porteur et de l'effecteur.

2° Etablir les matrices de transformations homogènes de changements de repères (l'expression de Z est donnée sur la figure).

3° On veut faire prendre un objet par le manipulateur. Quand l'objet est tenu par la pince les capteurs proprioceptifs donnent pour vecteur de variables articulaires: $\theta_1 = 45^\circ$, $\theta_2 = \varphi = 0^\circ$, $T_1 = 50\text{mm}$, $T_2 = 75\text{mm}$. Calculez la matrice donnant la position et l'orientation de l'objet par rapport au repère de base R_0 du manipulateur. En déduire les transformations géométriques permettant de passer de R_0 au repère de l'objet. Tracer ces repères.

4° Déduire de la question 2 la matrice T du porteur.

5° Donner les expressions de X_P , Y_P , Z_P (coordonnées de l'extrémité de l'effecteur par rapport au repère de l'univers) en fonction des variables θ_1 , θ_2 , T_1 , T_2 , φ et des longueurs l_i .



Exercice 6.3: modélisation par la méthode de Denavit-Hartenberg

Considérons un SMA à 6 segments, dont les paramètres sont donnés dans la modélisation de Denavit-Hartenberg par le tableau suivant.

Un caméra est fixée sur le segment S4, et repérée dans le repère R4 par la matrice CAM. Tout objet sera décrit par rapport à Rc (caméra) par sa matrice OBJ, et par rapport à Re (effecteur) par une matrice X.

1° Exprimer X en fonction des A_i , CAM, Z, OBJ, et E. Pour simplifier les expressions on posera $T4 = Z \times A1 \times A2 \times A3 \times A4$.

2° Quand l'effecteur tient l'objet, quelle est la valeur de X ? Dans ce cas la caméra donne pour matrice OBJ celle indiquée plus bas, les capteurs proprioceptifs donnent $\underline{\theta}$ (0,0,0,0,0) et $d3=40$, et le système donne pour coordonnées de l'effecteur la matrice Y (coordonnées par rapport à R0).

a°) Faire une figure sur laquelle seront indiqués tous les repères associés aux segments.

b°) Donner à partir de la figure la valeur de la matrice T du porteur.

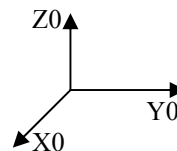
c°) Calculer la valeur de la matrice E sans utiliser le résultat de T.

d°) Calculer la matrice T du porteur. Conclure.

e°) Si on intervertit α_1 et α_2 , calculer à nouveau T et E, puis TE. Conclure.

Seg men	θ_i	d_i	a_i	α_i
S1	θ_1	40	0	-90
S2	θ_2	30	0	90
S3	0	d_3	0	0
S4	θ_4	0	0	-90
S5	θ_5	10	0	90

On prend comme orientation pour le repère R0 le repère ci-contre.



CAM=

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 5 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Y=

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 48 \\ 0 & 1 & 0 & 80 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

OBJ=

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & -8 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Exercice 6.4 : modélisation par la méthode de Denavit-Hartenberg et couplage robot-vision

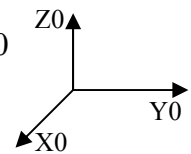
Considérons un SMA dont les paramètres sont donnés dans la modélisation de Denavit-Hartenberg par le tableau suivant. On rappelle que dans cette méthode le passage d'un repère à un autre se fait par une succession de 4 transformations géométriques ordonnées :

$$T_{i-1}^i \equiv A_i \equiv \text{Rot}(Z_{i-1}, \theta_i) * \text{Trans}(Z_{i-1}, d_i) * \text{Trans}(X_i, a_i) * \text{Rot}(X_i, \alpha_i)$$

aligne	fait coïncider	fait coïncider	fait coïncider
x_{i-1} et x_i	x_{i-1} et x_i	o_{i-1} et o_i	les repères

1° Donner les différentes matrices de changement de repère A_i

2° Positionner sur une figure les repères associés aux différents segments, ainsi que ceux de l'effecteur, avec comme valeurs des θ_i : (90, 0, 90, 0, 0, 0) et comme repère R_0



3° La structure mécanique articulée est déposée au coin d'une table.

Une caméra CAM1 est montée sur le segment Numéro 2 (segment S2) et sa situation est donnée par rapport à R_2 par une matrice CAM1. Une caméra fixe CAM2 observe la scène, et sa situation est donnée par rapport au repère de référence de la table par une matrice CAM2. Pour déterminer ces matrices (dont on a oublié les valeurs calculées lors de la calibration) on procède à une double expérience :

- On dispose un objet sur la table. On prend une image à l'aide de la caméra fixe CAM2. Elle donne les coordonnées de l'objet par rapport à CAM2 : CAM2OBJ.
- On déplace ensuite par guidage le manipulateur jusqu'à ce que la pince tienne l'objet. La caméra CAM1 prend alors une image et donne les coordonnées de l'objet par rapport à CAM1 : CAM1OBJ. Dans cette situation le calculateur du robot donne par le biais de ses capteurs proprioceptifs :

- les coordonnées de l'objet (par rapport à R_0) : matrice ROBOBJ .

- les valeurs des θ_i : $\theta_3 = 90^\circ$ $\theta_4 = 0^\circ$ $\theta_5 = 90^\circ$ $\theta_6 = 0^\circ$

a°) Donner la valeur de la matrice CAM2.

b°) Donner la valeur de la matrice CAM1.

c°) Donner la valeur de CAM2CAM1 qui donne la position et l'orientation de la caméra 1 par rapport à la caméra 2.

d°) Donner la valeur de CAM1CAM2 qui donne la position et l'orientation de la caméra 2 par rapport à la caméra 1.

4° Si l'on inverse les valeurs de alpha1 et alpha2, refaire les questions 1 et 2 (quels sont les changements? Donner les nouvelles valeurs des matrices, et tracer les nouveaux repères).

Remarque : On n'a pas besoin de calculer la matrice T du porteur.

Articulation	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	300	0	-90
2	θ_2	0	300	90
3	θ_3	0	0	0
4	θ_4	400	0	-90

5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	130	0	0

$$A_i = \begin{pmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\sin \theta_i \sin \alpha_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

← } articulations propres
à l'effecteur

$$\text{CAM1OBJ} \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & -8 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{ROBOBJ} \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 40 \\ 1 & 0 & 0 & -50 \\ 0 & 0 & 1 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

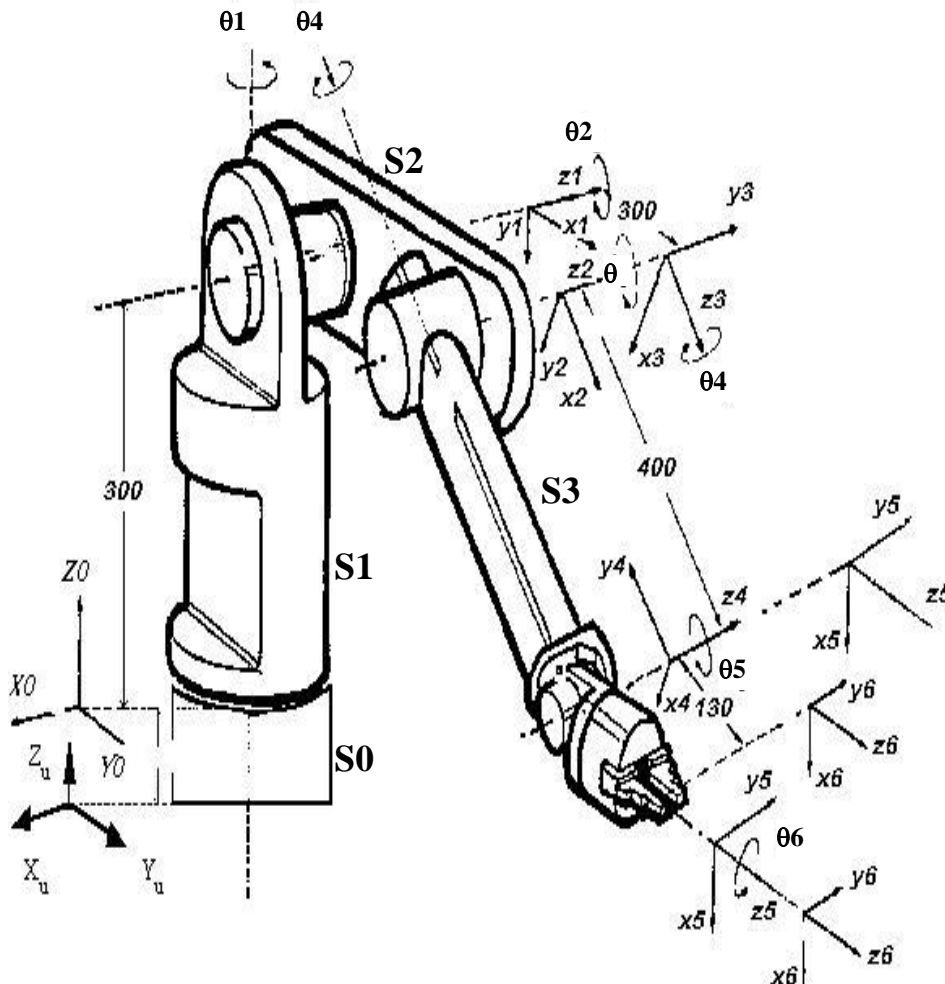
$$\text{CAM2OBJ} \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & -50 \\ 0 & 1 & 0 & 10 \\ 1 & 0 & 0 & 30 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{ROB} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 50 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \equiv Z$$

Exercice 6.5 : modélisation par la méthode de Denavit-Hartenberg

Déduire des repères indiqués sur la figure, la matrice donnant les valeurs des différents paramètres de transformation homogène dans la méthode de Denavit-Hartenberg, et cela pour chaque segment.

Comparer les résultats obtenus avec ceux de la question 4 de l'exercice précédent.

**Solution**

Articulation	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	90	300	0	-90
2	0	0	300	0
3	90	0	0	90
4	0	400	0	-90

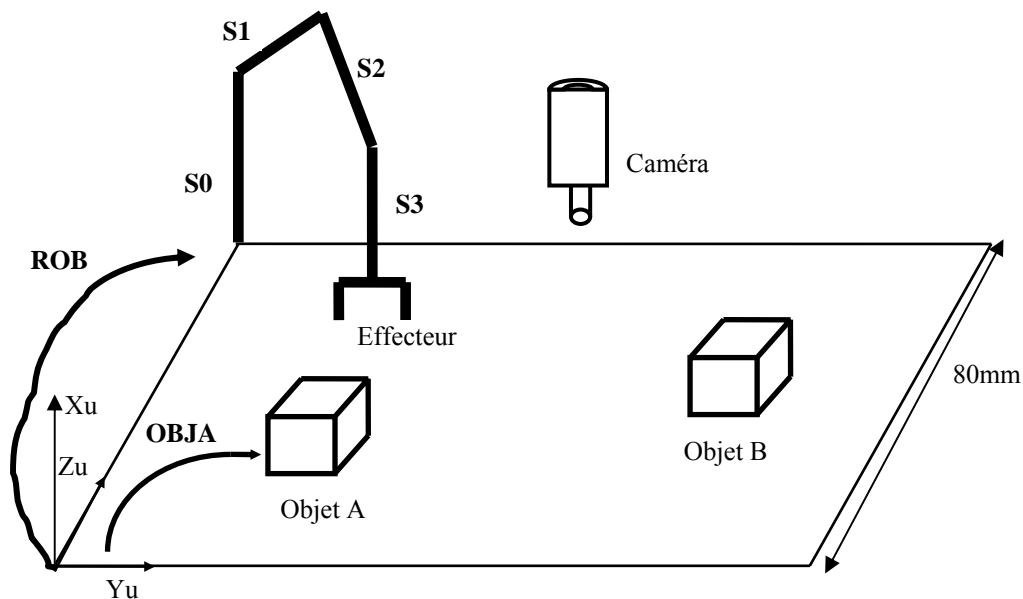
5	0	0	0	90
6	0	130	0	0

} ← articulations propres à l'effecteur

Exercice 6.6

Considérons une structure mécanique articulée à 4 segments (S_0 à S_3) disposée au coin supérieur gauche d'une table, le repère de l'univers étant lui au coin inférieur gauche. Deux *objets cubiques A et B sont disposés sur la table* et une caméra fixe observe la scène.

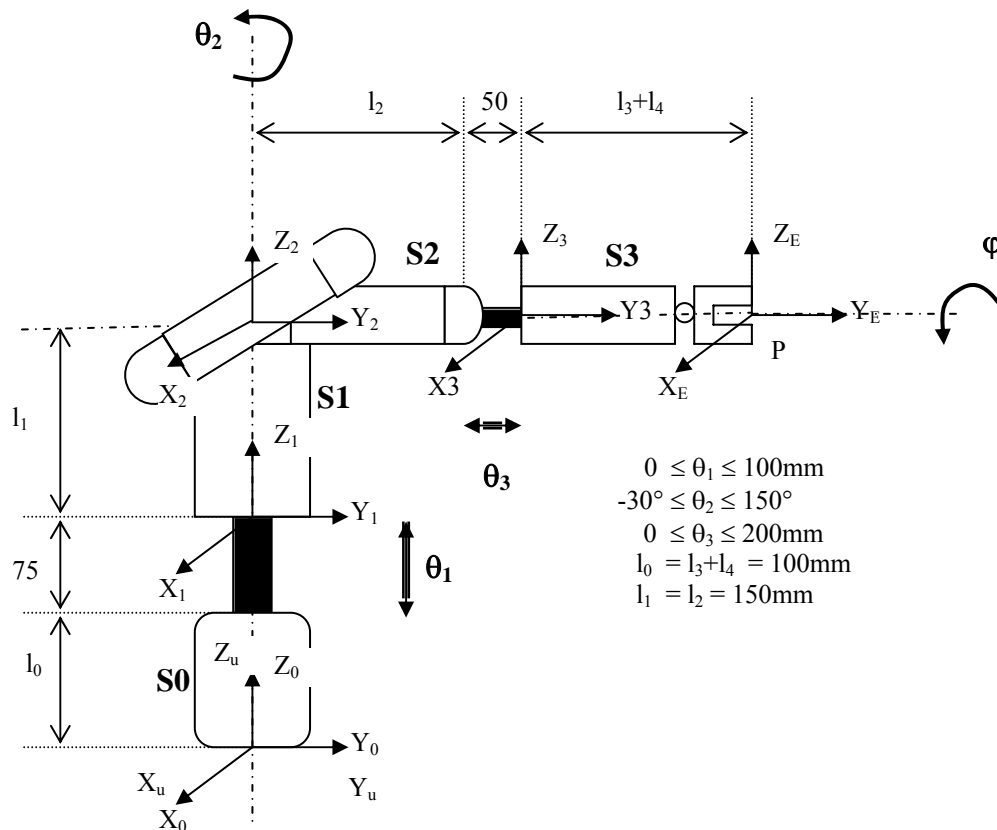
- 1°- -a°-Donner l'expression de la matrice T du porteur quand l'effecteur tient l'objet A.
 -b°-Calculer cette matrice.
 -c°-En déduire l'orientation du repère R_3 puis celle de l'effecteur. Tracer ces repères ainsi que celui associé à S_0 .
- 2°- -a°-Donner l'expression de l'objet B par rapport à la base du manipulateur quand l'effecteur tient l'objet.
 -b°-Calculer cette matrice.
 -c°-En déduire l'orientation du repère associé à l'objet B. Tracer ce repère.
- 3°- -a°-Déduire des questions précédentes la hauteur des objets A et B, si on suppose que les repères des objets et de la caméra sont placés aux centres de gravité.
 -b°-Refaire le dessin de la table à l'échelle en disposant les repères (R_u , R_0 , R_{objA} , R_{objB} , R_{cam}).
 -c°-Que remarquez vous pour la disposition des objets A et B et la caméra?.



ROB \equiv Z	OBJA	E	CAM	CAMOBJB
0 -1 0 0	1 0 0 10	0 -1 0 0	0 0 -1 80	0 0 -1 -50
1 0 0 0	0 1 0 80	1 0 0 0	0 -1 0 50	0 1 0 10
0 0 1 80	0 0 1 10	0 0 1 10	-1 0 0 40	1 0 0 30
0 0 0 1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 0 0 1

Solution exercice 6.1

1° Pour simplifier le repère R_0 est aligné avec le repère de l'univers (on obtient ainsi une matrice Z égale à la matrice identité). Quant à la disposition des repères attachés à chaque segment, on opte pour la position à la base du segment. Par ailleurs pour simplifier les expressions des matrices, on minimise les transformations pour passer d'un repère à un autre. Le résultat obtenu est donné par la figure.



2°

-a- Segment S1: repère associé R1

$$A1 = T_0^1 = \text{Trans}(Z_0, l_0 + \theta_1) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_0 + \theta_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

-b- Segment S2: repère R2

$$A2 = T_1^2 = \text{Trans}(Z_1, l_1) * \text{Rot}(Z_1, \theta_2) =$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & 0 \\ S_2 & C_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & 0 \\ S_2 & C_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

-c- Segment S3: repère R3

$$A3 = T_2^3 = \text{Transl}(Y2, l2 + \theta_3) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l2 + \theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

3°

3

$$T = \prod_{i=1}^3 A_i = A1.A2.A3 = A1.T_1^3 \text{ (en effet } T \equiv T_0^3 = T_0^1.T_1^2.T_2^3 = T_0^1.T_1^3 = A1.T_1^3 \text{)}$$

$$T_1^3 = A2.A3 = \begin{pmatrix} C2 & -S2 & 0 & -S2(l2 + \theta_3) \\ S2 & C2 & 0 & C2(l2 + \theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & l1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T \equiv T_0^3 = T_0^1.T_1^3 = A1.T_1^3 = \begin{pmatrix} C2 & -S2 & 0 & -S2(l2 + \theta_3) \\ S2 & C2 & 0 & C2(l2 + \theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & l1 + l0 + \theta_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

4°

-a- Matrice Z du segment S0

Comme R0 et Ru sont confondus, donc $Z = I$

$$Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

-b- Matrice E de l'effecteur

On passe de R3 à Re par une translation d'axe Y3 et de longueur l3+l4, suivie d'une rotation d'axe Y3 et d'angle φ .

$$E = \text{Transl}(Y3, l3+l4) * \text{Rot}(Y3, \varphi) =$$

$$\begin{pmatrix} C\varphi & 0 & S\varphi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -S\varphi & 0 & C\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l3+l4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C\varphi & 0 & S\varphi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l3+l4 \\ -S\varphi & 0 & C\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

5°

$$Z * T * E = POS = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{Rot} \\ 3 \times 3 \end{pmatrix} & \begin{matrix} -S2(12 + 13 + L4 + \theta_3) \\ C2(12 + 13 + L4 + \theta_3) \\ 11 + 10 + \theta_1 \end{matrix} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow \begin{cases} X_p = -S2(12 + 13 + L4 + \theta_3) \\ Y_p = C2(12 + 13 + L4 + \theta_3) \\ Z_p = 11 + 10 + \theta_1 \end{cases}$$

Ces expressions sont indépendantes de φ , ce qui est normal. En effet l'angle φ ne fait pas partie des variables articulaires, et comme cet angle est simplement lié à l'effecteur car il représente une rotation par rapport à l'axe de l'effecteur, par conséquent il n'interviendra pas dans le positionnement du point P, mais uniquement dans son orientation, donc dans la matrice Rot (3x3).

6°

Pour $\underline{\theta} = (75, 0, 50)$ on a:

$$\left. \begin{matrix} X_p = 0 \\ Y_p = 300 \\ Z_p = 325 \end{matrix} \right\} \text{ On peut le vérifier sur la figure. En effet on trouve: } \begin{matrix} X_p = 0; \\ Y_p = (12 + 13 + L4 + \theta_3); \\ Z_p = 11 + 10 + \theta_1 \end{matrix}$$

7°

$$\begin{matrix} \text{De l'expression de } P_z \text{ on déduit} \\ \text{Les expressions de } P_x \text{ et } P_y \text{ donnent} \end{matrix} \begin{cases} \theta_1 = P_z - (10 + 11) \\ \theta_3 = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} - (12 + 13 + 14) \\ \theta_2 = \text{Arctg}(-P_x/P_y) \end{cases}$$

Si on utilise cette expression de θ_2 , on aura 2 valeurs possibles pour θ_2 . Il est plus judicieux d'utiliser la fonction arctangente à deux arguments, car les expressions de P_x et P_y nous donnent directement celles du sinus et du cosinus, ainsi il ne peut pas y avoir d'ambiguïté possible pour θ_2 :

$$\begin{cases} S2 = -X_p / (12 + 13 + L4 + \theta_3) \\ C2 = Y_p / (12 + 13 + L4 + \theta_3) \\ \theta_2 = \text{Arctg}(-P_x/P_y) \end{cases}$$

8°

$X_p = Y_p = 212$; $Z_p = 210$. Pour atteindre ce point il faut que l'extrémité de l'effecteur soit confondue avec ce point.

$$\theta_1 = Z_p - (10 + 11) = 210 - (10 + 11) = 10 - 11 = -50\text{mm.}$$

Comme $0 \leq \theta_1 \leq 100\text{mm}$ doit être positif \rightarrow on a une butée articulaire sur $\theta_1 \rightarrow$ le robot n'est pas résolvable.

9°

On veut avoir $X_p = Y_p = 11\sqrt{2}$; $Z_p = 211$,

$$\theta_1 = Z_p - (10 + 11) = 211 - (10 + 11) = 11 - 10 = 50\text{mm.}$$

$$\theta_3 = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} - (12 + 13 + 14) = \sqrt{211^2 + 211^2} - (12 + 13 + 14) = 211 - (12 + 13 + 14) = 50\text{mm}$$

Donc θ_1 et θ_3 appartiennent à leurs domaines de définition respectifs.

-a- Si on calcule θ_2 avec l'expression $\theta_2 = \text{Arctg}(-P_x/P_y)$, on trouve $\theta_2 = \text{Arctg}(-1)$

$$\rightarrow \theta_2 = -\pi/4 \text{ ou } \theta_2 = -\pi/4 + \pi = 3\pi/4.$$

Comme dans l'énoncé par construction $-30^\circ \leq \theta_2 \leq 150^\circ \rightarrow$ on va éliminer $-\pi/4$. Il reste $3\pi/4 = 135^\circ$ qui appartient au domaine de variation de θ_2 . Donc théoriquement $\theta_2 = 135^\circ$.

Or on a trouvé que $\sin \theta_2 = -X_p / (12 + 13 + 14 + \theta_3)$. Comme X_p est positif donc $\sin \theta_2$ est négatif. Ceci est contradiction avec $\sin 3\pi/4$ qui est positif. Donc il ne faut pas utiliser l'expression $\theta_2 = \text{Arctg}(-P_x/P_y)$.

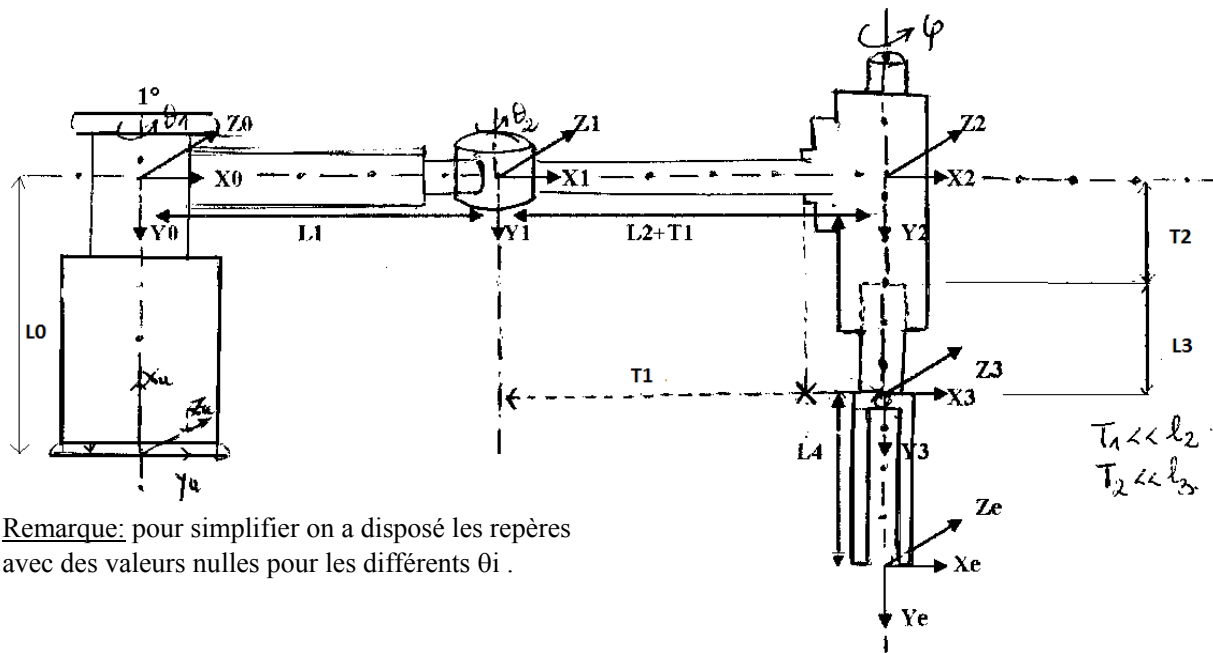
-b- Si on avait utilisé l'expression arctangente à deux arguments on aurait vu que

$$\left. \begin{array}{l} \sin \theta_2 < 0 \\ \cos \theta_2 > 0 \\ \theta_2 = \text{arctg}(-1) \end{array} \right\} \theta_2 = -\pi/4.$$

Comme cette valeur n'appartient pas au domaine de définition de θ_2 , on en conclut qu'il y a butée articulaire sur θ_2 et donc impossibilité d'atteindre la valeur $-\pi/4$. Par conséquent le robot n'est pas résolvable.

Solution exercice 6.2

1°



Remarque: pour simplifier on a disposé les repères avec des valeurs nulles pour les différents θ_i .

2° -a-

$$Z = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & l_0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & l_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \leftrightarrow$$

\leftrightarrow R_u \longrightarrow $R'u$ \longrightarrow R_0

-b- Les transformations ne s'effectuent pas par rapport à des repères absolus, mais par rapport à des repères relatifs (la transformation géométrique numéro i s'effectue par rapport aux axes du repère obtenu après la transformation géométrique numéro i-1).

Par conséquent dans le cas des articulations doubles, et si on place les repères aux extrémités des segments, pour les transformations géométriques on commence par effectuer la rotation avant la translation (si elles n'ont pas lieu sur le même axe). Car si on commence par la translation, on obtient un résultat différent et erroné (cf remarques 5.b et 5.c en fin d'exercice).

Par contre si on place les repères sur la base des segments, il faut faire la translation avant la rotation, pour que l'origine de l'axe de rotation coïncide réellement avec le centre de l'articulation.

$$R_0 \xrightarrow{\text{Rot}(Y_0, -\theta_1)} R'_0 \xrightarrow{\text{Tr}(X'_0, l_1)} R_1$$

$$A1 = \begin{pmatrix} C1 & 0 & -S1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ S1 & 0 & C1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & l_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C1 & 0 & -S1 & l_1 C1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ S1 & 0 & C1 & l_1 S1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{matrix} C(-\theta_1) = C\theta_1 \\ S(-\theta_1) = -S\theta_1 \end{matrix}$$

-c-

$$R_1 \xrightarrow{\text{Rot}(Y_1, -\theta_2)} R'_1 \xrightarrow{\text{Tr}(X'_1, l_2+T1)} R_2$$

$$A2 = \begin{pmatrix} C2 & 0 & -S2 & (l_2+T1)C2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ S2 & 0 & C2 & (l_2+T1)S2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

-d-

$$R_2 \xrightarrow{\text{Tr}(Y_2, l_3+T2) * \text{Rot}(Y_2, -\varphi)} R_3 = \begin{pmatrix} C\varphi & 0 & -S\varphi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_3+T2 \\ S\varphi & 0 & C\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$(\text{Rot}(y) * \text{Tr}(y) \equiv \text{Tr}(y) * \text{Rot}(y))$

$$-e- \quad R_3 \longrightarrow \text{Tr}(Y_3, l_4) \longrightarrow R_E \quad E = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 1 & 0 & l_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

3° Calcul de TE

Pour la valeur de $\underline{\theta}_0$ ($45^\circ, 0^\circ, 50\text{mm}, 75\text{mm}, 0^\circ$), on obtient :

$$A_{145^\circ} = \begin{pmatrix} \sqrt{2}/2 & 0 & -\sqrt{2}/2 & l_1\sqrt{2}/2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sqrt{2}/2 & 0 & \sqrt{2}/2 & l_1\sqrt{2}/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_{20^\circ} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & l_2+T1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_{30^\circ} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_3+T2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_{20^\circ} \cdot A_{30^\circ} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & l_2+T1 \\ 0 & 1 & 0 & l_3+T2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad T(\underline{\theta}_0) = A_{145^\circ} \times [A_{20^\circ} \times A_{30^\circ}]$$

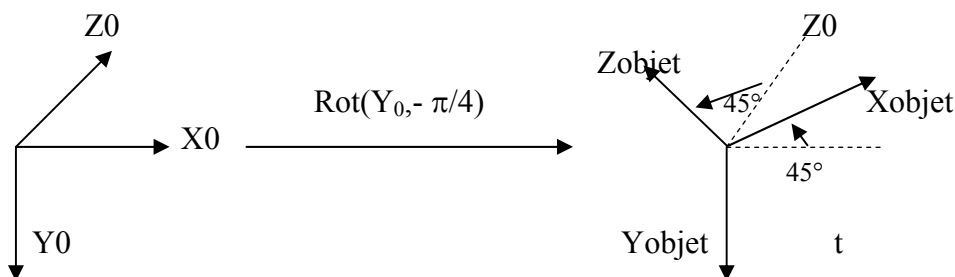
$$T(\underline{\theta}_0) = \begin{pmatrix} \sqrt{2}/2 & 0 & -\sqrt{2}/2 & (l_1+l_2+T1)\sqrt{2}/2 \\ 0 & 1 & 0 & l_3+T2 \\ \sqrt{2}/2 & 0 & \sqrt{2}/2 & (l_1+l_2+T1)\sqrt{2}/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$[T^*E](\underline{\theta}_0) =$$

$$\begin{pmatrix} \sqrt{2}/2 & 0 & -\sqrt{2}/2 & (l_1+l_2+T1)\sqrt{2}/2 \\ 0 & 1 & 0 & l_3+T2+l_4 \\ \sqrt{2}/2 & 0 & \sqrt{2}/2 & (l_1+l_2+T1)\sqrt{2}/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

→ Pour ce qui est de l'orientation, on a :

$$R_0 \xrightarrow{\text{Rot}(Y_0, -\pi/4)} R_{\text{objet}}$$



4° Calcul de la matrice T du porteur

$$A2 * A3 = \begin{pmatrix} C2 C\varphi - S2S\varphi & 0 & -C2S\varphi - S2C\varphi & (l_2 + T1)C2 \\ 0 & 1 & 0 & l_3 + T2 \\ S2C\varphi + C2S\varphi & 0 & -S2S\varphi + C2C\varphi & (l_2 + T1)S2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{array}{l} C12 = \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ = C1C2 - S1S2 \\ S12 = \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ = S1C2 + S2C1 \end{array}$$

$$T = A1 * (A2 * A3) = \begin{pmatrix} C1(C2C\varphi - S2S\varphi) - S1(S2C\varphi + C2S\varphi) & 0 & C1(-C2S\varphi - S2C\varphi) - S1(-S2S\varphi + C2C\varphi) & l_1C1 + C12(l_2 + T1) \\ 0 & 1 & 0 & l_3 + T2 \\ S1(C2C\varphi - S2S\varphi) + C1(S2C\varphi + C2S\varphi) & 0 & S1(-C2S\varphi - S2C\varphi) + C1(-S2S\varphi + C2C\varphi) & l_1S1 + S12(l_2 + T1) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

5° Détermination du vecteur position (Xp, Yp, Zp)

$$T * E = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} 3 \times 3 \\ \text{idem à T} \end{pmatrix} & \begin{array}{l} l_1C1 + C12(l_2 + T1) \\ l_3 + l_4 + T2 \\ l_1S1 + S12(l_2 + T1) \\ 1 \end{array} \end{pmatrix}$$

$$Z * T * E =$$

$$\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & l_0 - (l_3 + l_4 + T2) \\ C1(C2C\varphi - S2S\varphi) - S1(S2C\varphi + C2S\varphi) & 0 & C1(-C2S\varphi - S2C\varphi) - S1(-S2S\varphi + C2C\varphi) & l_1C1 + C12(l_2 + T1) \\ S1(C2C\varphi - S2S\varphi) + C1(S2C\varphi + C2S\varphi) & 0 & S1(-C2S\varphi - S2C\varphi) + C1(-S2S\varphi + C2C\varphi) & l_1S1 + S12(l_2 + T1) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

De cette expression de la matrice POS on déduit:

$$X_p = l_0 - (l_3 + l_4 + T2)$$

$$Y_p = l_1C1 + C12(l_2 + T1)$$

$$Z_p = l_1S1 + S12(l_2 + T1)$$

Remarques

a- On observe que ces expressions sont indépendantes de l'angle φ . Cet angle n'intervient pas dans le vecteur position mais uniquement dans l'orientation de l'effecteur. Ceci est dû au fait que par construction la rotation d'angle φ correspond à une rotation par rapport à l'axe de l'effecteur.

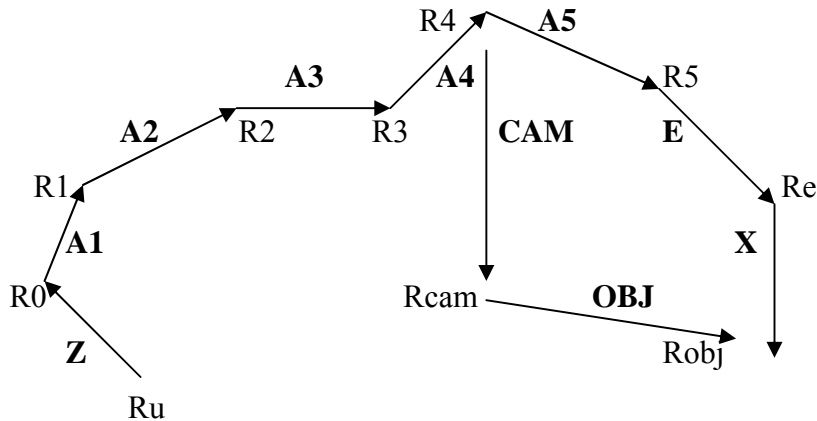
b- Si $\theta_1 = 90^\circ$, $\theta_2 = 0^\circ$ on obtient $X_p = l_0 - (l_3 + l_4 + T2)$, $Y_p = 0$, $Z_p = l_1 + l_2 + T1$. On peut facilement vérifier graphiquement ces valeurs, à partir de la figure de la question 1.

c- Si on avait utilisé la translation avant la rotation lors du calcul de A1 et A2 (questions 2.b et 2.c), on aurait obtenu pour la question 5, $X_p = l_0 - (l_3 + l_4 + T2)$, $Y_p = l_1 + C1(l_2 + T1)$, $Z_p = S1(l_2 + T1)$.

Ceci est faux et complètement aberrant, car il est anormal que seul θ_1 intervienne dans le positionnement de l'effecteur, alors que θ_1 et θ_2 ont des axes de rotation parallèles. De plus avec $\theta_1 = 90^\circ$ et $\theta_2 = 0^\circ$, on obtient $X_p = l_0 - (l_3 + l_4 + T2)$, $Y_p = l_1$, $Z_p = l_2 + T1$. On peut facilement vérifier graphiquement que cela est faux et contraire à la réalité !

Solution exercice 6.3**1° Expression de X**

La matrice X donne la position et l'orientation de l'objet par rapport au repère de l'effecteur.



$$Z.A1.A2.A3.A4.A5.E.X = Z.A1.A2.A3.A4.CAM.OBJ$$

$$T4.A5.E.X = T4.CAM.OBJ \quad \rightarrow \quad A5.E.X = CAM.OBJ$$

$$\rightarrow X = (E)^{-1} . (A5)^{-1} . CAM . OBJ$$

2° Expressions des matrices homogènes de changement de repère

$$A1 = \text{Rot}(Z0, \theta_1) * \text{Trans}(Z0, d1) * \text{Rot}(X0, -90) \quad d1 = 40 \text{ mm}$$

$$A2 = \text{Rot}(Z1, \theta_2) * \text{Trans}(Z1, d2) * \text{Rot}(X1, 90) \quad d2 = 30 \text{ mm}$$

$$A3 = \text{Trans}(Z2, d3)$$

$$A4 = \text{Rot}(Z3, \theta_4) * \text{Rot}(X3, -90)$$

$$A5 = \text{Rot}(Z4, \theta_5) * \text{Trans}(Z4, d5) * \text{Rot}(X4, 90) \quad d5 = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{matrix}
 A1 & A2 & A3 & A4 & A5 \\
 \begin{pmatrix} C\theta_1 & 0 & -S\theta_1 & 0 \\ S\theta_1 & 0 & C\theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 40 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} C\theta_2 & 0 & S\theta_2 & 0 \\ S\theta_2 & 0 & -C\theta_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 30 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} C\theta_4 & 0 & -S\theta_4 & 0 \\ S\theta_4 & 0 & C\theta_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} C\theta_5 & 0 & S\theta_5 & 0 \\ S\theta_5 & 0 & -C\theta_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
 \end{matrix}$$

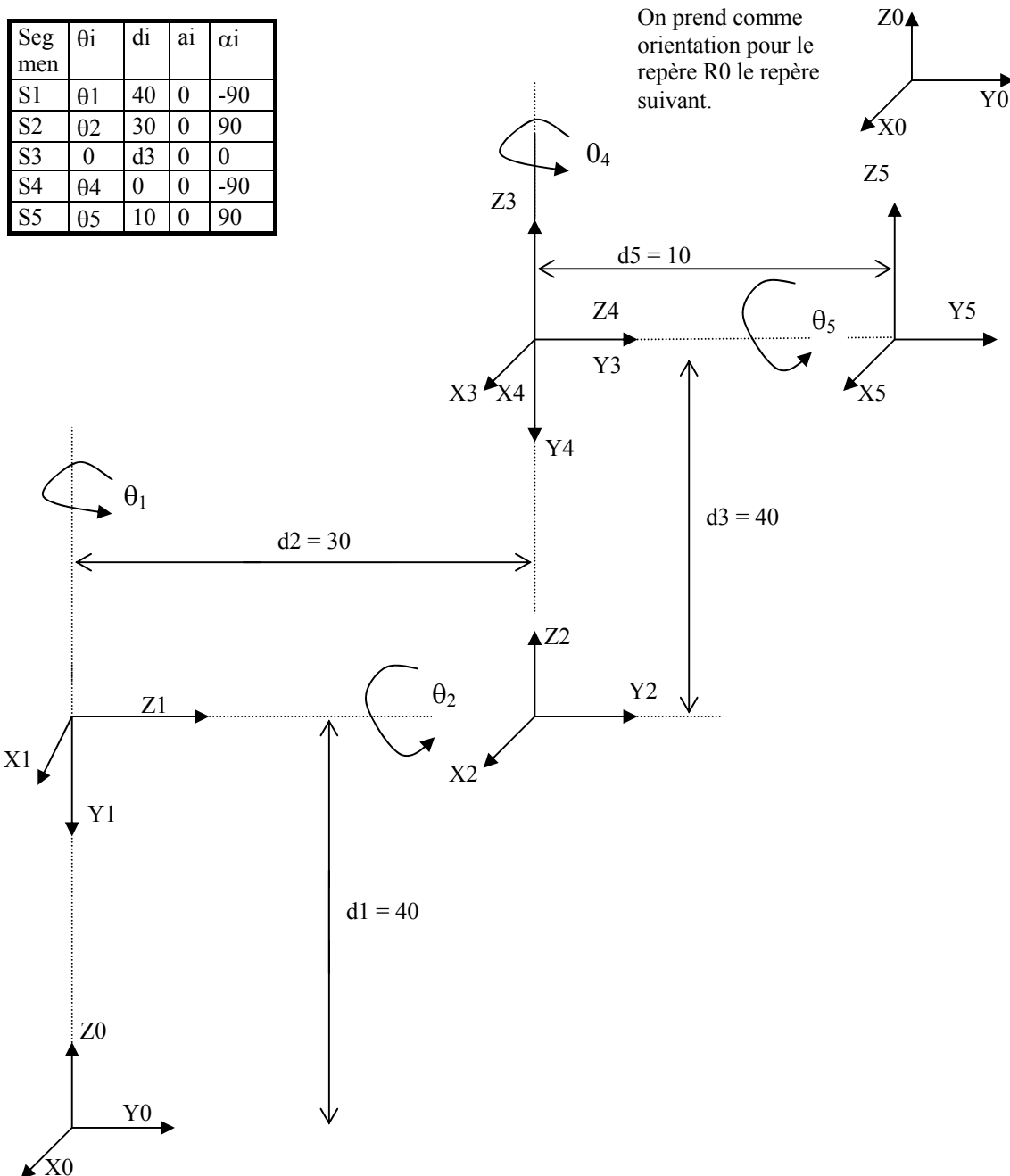
-2-a- Repères associés aux différents segments

On rappelle que dans la méthode de Denavit-Hartenberg le passage d'un repère à un autre se fait par une succession de 4 transformations géométriques ordonnées :

$$T_{i-1}^i \equiv A_i \equiv \text{Rot}(Z_{i-1}, \theta_i) * \text{Trans}(Z_{i-1}, d_i) * \text{Trans}(X_i, a_i) * \text{Rot}(X_i, \alpha_i)$$

aligne fait coïncider fait coïncider fait coïncider
 x_{i-1} et x_i x_{i-1} et x_i o_{i-1} et o_i les repères

Par conséquent les repères R0 à R5, associés respectivement aux segments S0 à S5, sont donnés dans la figure qui suit (avec pour valeurs $\underline{\theta} (0,0,0,0,0)$ et $d_3=40$).



-2-b- D'après la figure on observe que le repère R5 a même orientation que le repère R0, par conséquent la matrice orientation est la matrice identité. Quant aux coordonnées de l'origine du repère R5 par rapport au repère R0, on remarque graphiquement qu'elles valent $X=0$; $Y = 40$; $Z = 80$. Par conséquent la matrice T du porteur vaut:

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 40 \\ 0 & 0 & 1 & 80 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

-2-c- Calcul de la valeur de la matrice E

Considérons une matrice homogène A, son inverse se calcule comme suit:

$$A = \begin{pmatrix} \vec{n} & \vec{s} & \vec{a} & \vec{p} \\ nx & sx & ax & px \\ ny & sy & ay & py \\ nz & sz & az & pz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow A^{-1} = \begin{pmatrix} nx & ny & nz & \vec{-p \cdot n} \\ sx & sy & sz & \vec{-p \cdot s} \\ ax & ay & az & \vec{-p \cdot a} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Par conséquent, pour la valeur $\theta_5 = 0$, on a:

$$A5 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow (A5)^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -10 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Quand l'effecteur tient l'objet la matrice X = identité, par conséquent on a:

$$E = (A5)^{-1} \cdot \text{CAM} \cdot \text{OBJ}$$

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -10 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 5 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & -8 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -10 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 18 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$E = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 8 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

-2-d- Calcul de la matrice T

$$T = A1. A2. A3. A4. A5$$

Pour les valeurs $\underline{\theta}$ (0,0,0,0,0) et $d3=40$, on aura alors

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 40 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 30 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 40 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

En procédant par **post-multiplication** des matrices on arrive à

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 40 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 30 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 40 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 40 \\ 0 & 0 & 1 & 80 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

On remarque qu'on retrouve le même résultat que celui trouvé graphiquement.

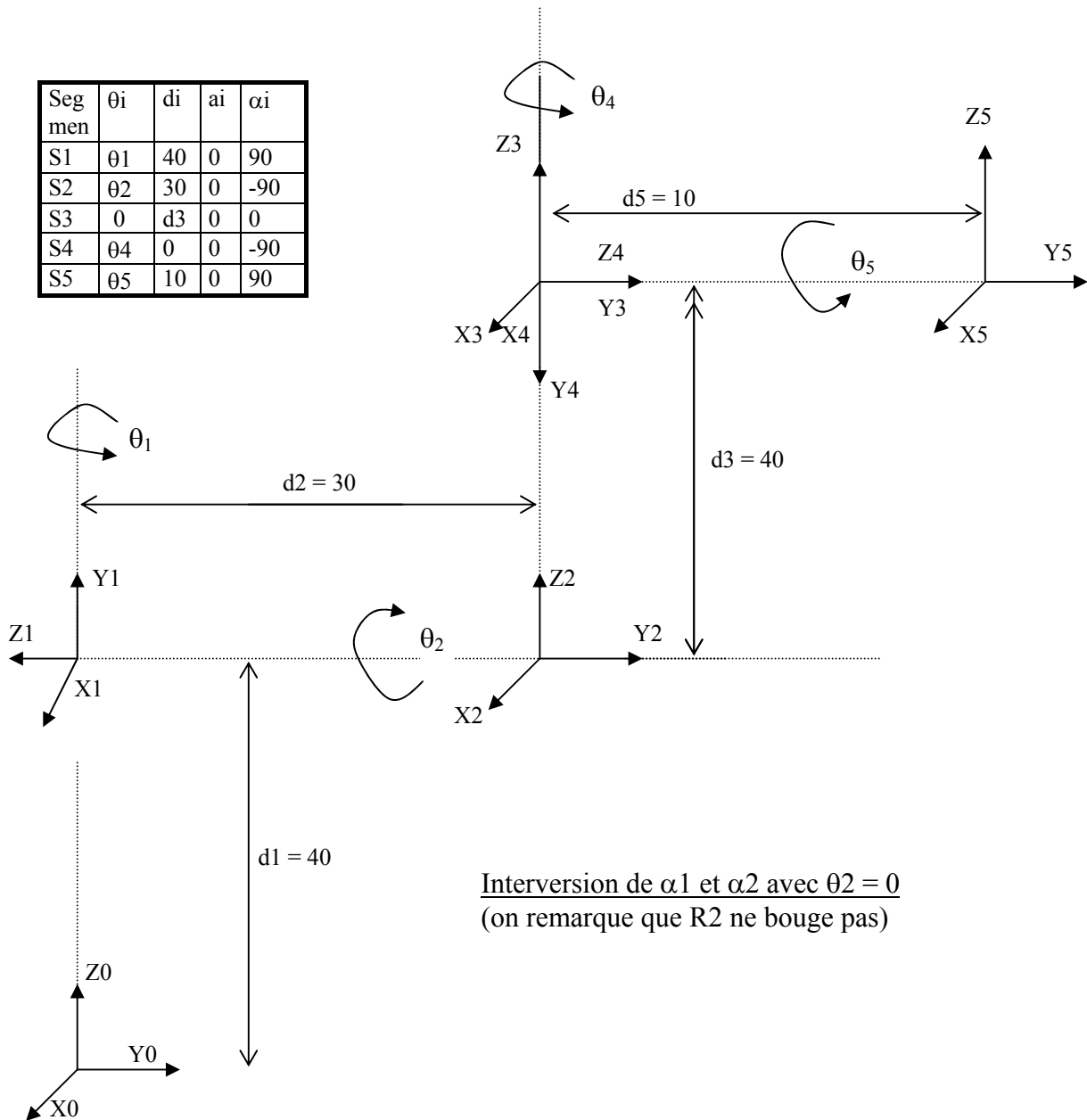
-2-e- Coordonnées de l'effecteur par rapport à R0

$$T.E = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 48 \\ 0 & 1 & 0 & 80 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \text{coordonnées de l'effecteur / R0 : (0, 48, 80)}.$$

-2-f- On intervertit les valeurs de alpha1 et alpha2. Calcul des nouvelles valeurs de T et E puis TE.

Si on maintient les valeurs $\underline{\theta}$ (0,0,0,0,0) on observe graphiquement que si le repère R1 change, par contre on obtient exactement le même repère R2 qu'avant interversion des alpha. Ceci est normal car comme dans Denavit-Hartenberg les transformations géométriques sont toujours effectuées dans le même ordre, si on considère les deux premières articulations on aura exactement la même chose dans les deux cas car θ_2 est nul. En effet sur le plan des transformations géométriques $\text{Rot}(Z,90)*\text{Rot}(X,90)*\text{Rot}(X,-90)$ est identique à $\text{Rot}(Z,90)*\text{Rot}(X,-90)*\text{Rot}(X,90)$, car les deux rotations autour de x s'annulent. En conclusion les seules matrices qui changent sont A1 et A2, mais le résultat du produit A1. A2 est le même que tout à l'heure. Par conséquent on n'aura aucun changement pour les matrices T et E.

Par contre si on prend θ_2 non nul ($\theta_2 = 90$ par exemple), on n'obtient pas du tout les mêmes résultats qu'avant interversion de α_1 et α_2 , car la transformation géométrique $\text{Rot}(Z,90) \cdot \text{Rot}(X,90) \cdot \text{Rot}(Z,90) \cdot \text{Rot}(X,-90)$ est différente de $\text{Rot}(Z,90) \cdot \text{Rot}(X,-90) \cdot \text{Rot}(Z,90) \cdot \text{Rot}(X,90)$.



Solution exercice 6.4

1° Valeurs des matrices de changement de repères

Il suffit de remplacer les valeurs du tableau de l'énoncé dans la formule pour chaque matrice.

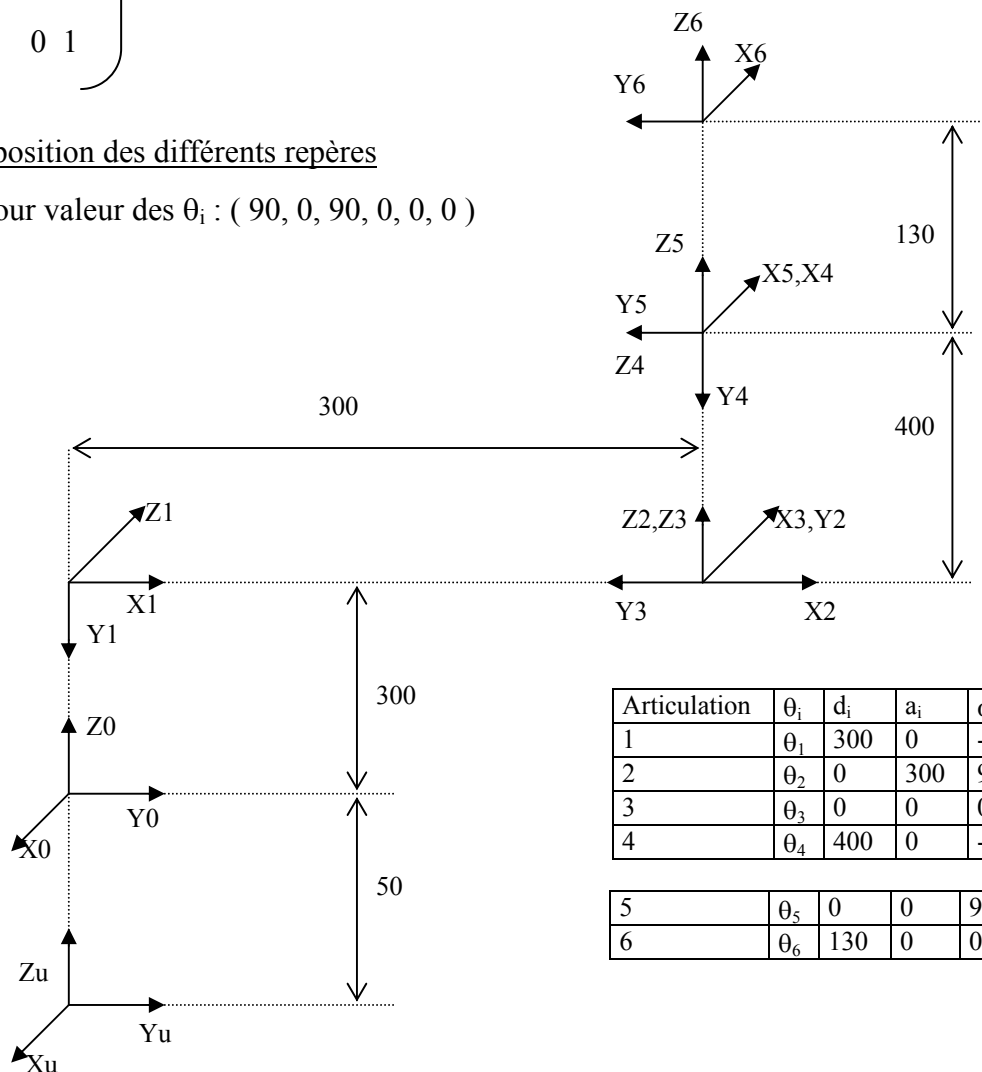
$$\begin{matrix}
 A1 & A2 & A3 & A4 & A5 \\
 \begin{pmatrix} C\theta_1 & 0 & -S\theta_1 & 0 \\ S\theta_1 & 0 & C\theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 300 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} C\theta_2 & 0 & S\theta_2 & 300C\theta_2 \\ S\theta_2 & 0 & -C\theta_2 & 300S\theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} C\theta_3 & -S\theta_3 & 0 & 0 \\ S\theta_3 & C\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} C\theta_4 & 0 & -S\theta_4 & 0 \\ S\theta_4 & 0 & C\theta_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 400 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} C\theta_5 & 0 & S\theta_5 & 0 \\ S\theta_5 & 0 & -C\theta_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
 \end{matrix}$$

$$A6 \begin{pmatrix} C\theta_6 & -S\theta_6 & 0 & 0 \\ S\theta_6 & C\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 130 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Le produit A5. A6 représente la matrice E de l'effecteur.

2° Disposition des différents repères

avec pour valeur des θ_i : (90, 0, 90, 0, 0, 0)

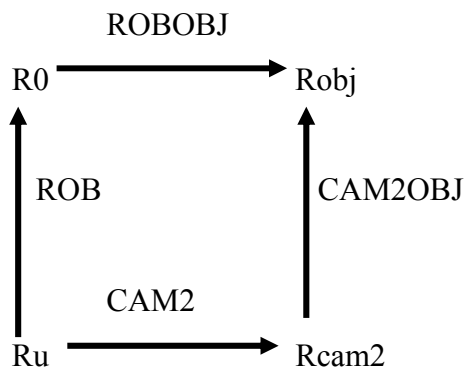


Articulation	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	300	0	-90
2	θ_2	0	300	90
3	θ_3	0	0	0
4	θ_4	400	0	-90

5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	130	0	0

3° Dans le cas où $\theta_3 = 90^\circ$ $\theta_4 = 0^\circ$ $\theta_5 = 90^\circ$ $\theta_6 = 0^\circ$

-3-a-Calcul de CAM2

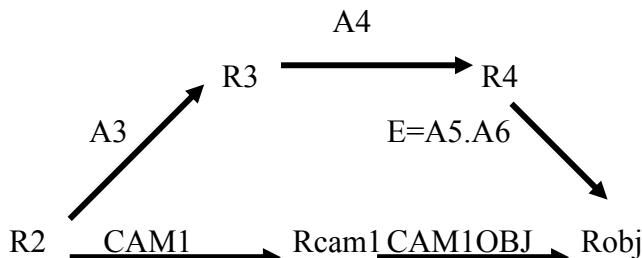


$$\text{ROBOBJ} = \text{ROB}^{-1} * \text{CAM2} * \text{CAM2OBJ}$$

$$\text{CAM2} = \text{ROB} * \text{ROBOBJ} * \text{CAM2OBJ}^{-1}$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 50 \\ 0 & 0 & 1 & -80 \\ -1 & 0 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

-3-b-Calcul de CAM1

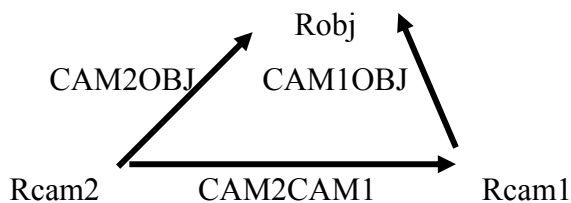


$$\text{A3} * \text{A4} * \text{A5} * \text{A6} = \text{CAM1} * \text{CAM1OBJ}$$

$$\text{CAM1} = \text{A3} * \text{A4} * \text{A5} * \text{A6} * \text{CAM1OBJ}^{-1}$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 122 \\ 0 & 0 & -1 & 405 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

-3-c-Calcul de CAM2CAM1



$$\text{CAM2CAM1} = \text{CAM2OBJ} * \text{CAM1OBJ}^{-1}$$

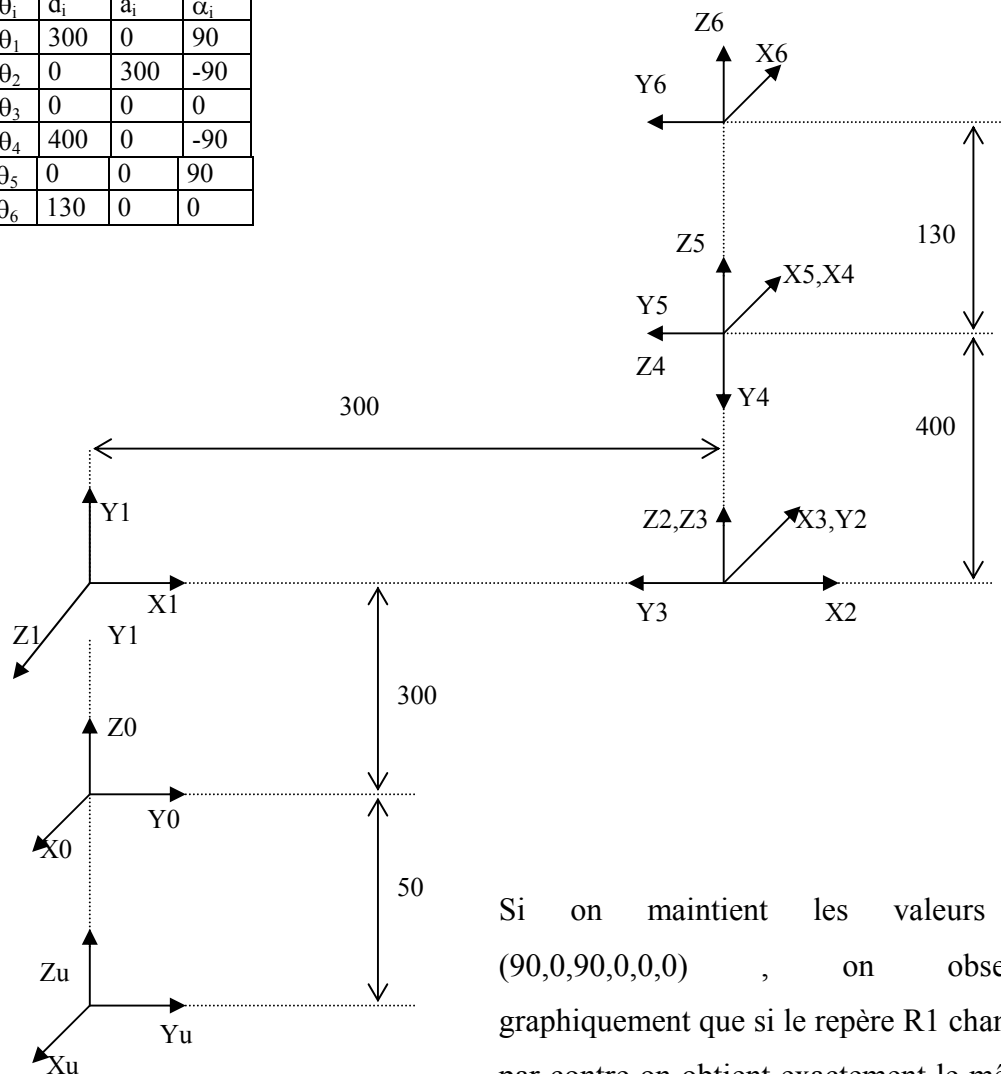
$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -42 \\ 0 & 1 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 1 & 25 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

-3-d-Calcul de CAM1CAM2

$$\text{CAM1CAM2} = (\text{CAM2CAM1})^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 42 \\ 0 & 1 & 0 & -10 \\ 0 & 0 & 1 & -25 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

-4° - Interversion de alpha 1 et alpha2 avec $\theta_i (90, 0, 90, 0, 0, 0)$

Articulation	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	300	0	90
2	θ_2	0	300	-90
3	θ_3	0	0	0
4	θ_4	400	0	-90
5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	130	0	0



Si on maintient les valeurs $\theta (90,0,90,0,0,0)$, on observe graphiquement que si le repère R1 change, par contre on obtient exactement le même repère R2 qu'avant interversion des alpha.

Ceci est normal car, comme dans Denavit-Hartenberg les transformations géométriques sont toujours effectuées dans le même ordre, si on considère les deux premières articulations on aura exactement la même chose dans les deux cas car θ_2 est nul. En effet sur le plan des transformations géométriques $\text{Rot}(Z,90)*\text{Rot}(X,90)*\text{Rot}(X,-90)$ est identique à $\text{Rot}(Z,90)*\text{Rot}(X,-90)*\text{Rot}(X,90)$, car les deux rotations autour de x s'annulent. En conclusion les seules matrices qui changent sont A1 et A2, mais le résultat du produit A1. A2 est le même que tout à l'heure. Par conséquent on n'aura aucun changement pour les matrices T et E.

Par contre si on prend θ_2 non nul ($\theta_2 = 90$ par exemple), on n'obtient pas du tout les mêmes résultats qu'avant interversion de alpha 1 et alpha2, car la transformation géométrique $\text{Rot}(Z,90)*\text{Rot}(X,90)*\text{Rot}(Z,90)*\text{Rot}(X,-90)$ est différente de $\text{Rot}(Z,90)*\text{Rot}(X,-90)*\text{Rot}(Z,90)*\text{Rot}(X,90)$.

Solution exercice 6.6

1°

$$\text{-1-a- } \text{ROB} * \text{T} * \text{E} = \text{OBJA} \rightarrow \text{T} = (\text{ROB})^{-1} * \text{OBJA} * (\text{E})^{-1}$$

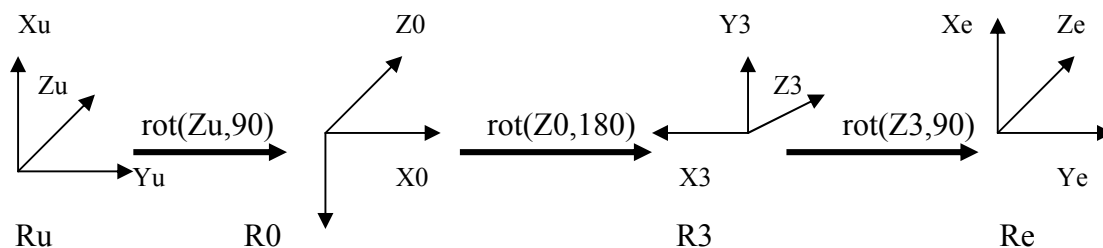
-1-b-

$$(\text{ROB})^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -80 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{E})^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -10 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{T} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 80 \\ 0 & -1 & 0 & -10 \\ 0 & 0 & 1 & -80 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

-1-c-

T donne la position et l'orientation de R3 / R0

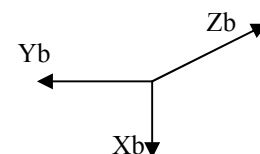
→ $\text{R3} = \text{R0} * \text{Rot}(\text{Z0}, 180^\circ)$ (on ne parle ici que de l'orientation, on ne s'intéresse pas aux trois translations ($x=80, y=-10, z=-80$) qui donnent la position de R3 / R0).

E donne la position et l'orientation de Re / R3 → $\text{Re} = \text{R3} * \text{Rot}(\text{Z3}, 90^\circ)$.ROB donne la position et l'orientation de R0 / Ru → $\text{R0} = \text{Ru} * \text{Rot}(\text{Zu}, 90^\circ)$.

-2-a-

$$\text{OBJB} = \text{ROB} * \text{T} * \text{E} = \text{CAM} * \text{CAMOBJ} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 50 \\ 0 & -1 & 0 & 40 \\ 0 & 0 & 1 & 90 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{TE} = (\text{ROB})^{-1} * (\text{CAM} * \text{CAMOBJ}) = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 40 \\ 1 & 0 & 0 & -50 \\ 0 & 0 & 1 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

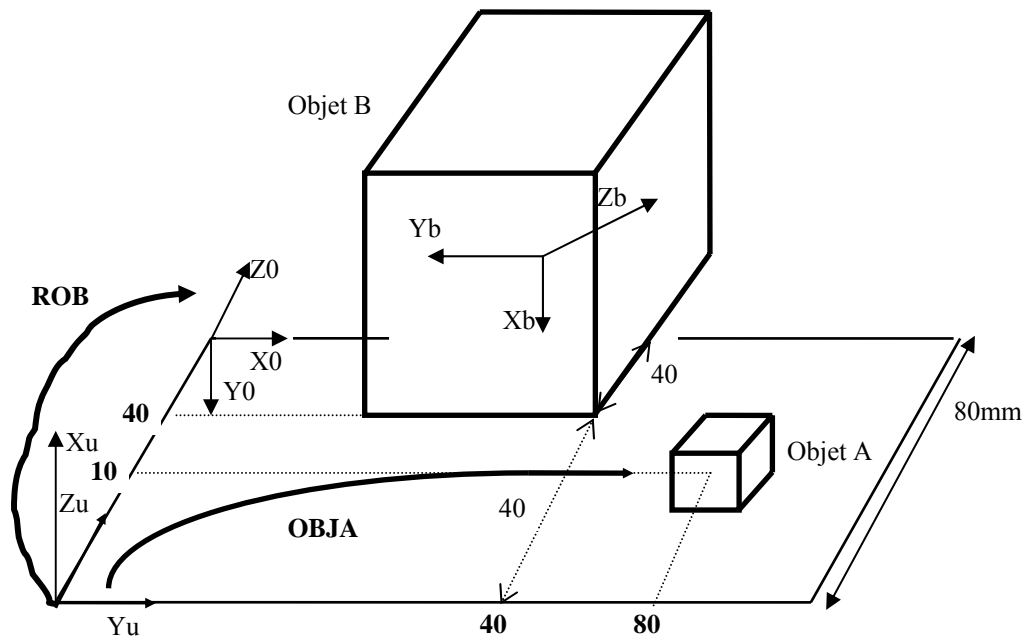
-2-b- On passe de R0 à Robjb par une $\text{Rot}(\text{Z0}, 90^\circ)$. →

3° -3-a- Compte tenu du dessin, la hauteur des objets correspond à la coordonnée X par rapport au repère R_u . Si on considère les expressions des matrices OBJA et OBJB, on en déduit les coordonnées des origines des repères attachés aux objets par rapport au repère R_u . Comme ces repères sont placés aux centres de gravités des objets, on en conclut:

$X_{objb} = 50 \rightarrow$ la hauteur de l'objet B est le double soit 100mm,

$X_{obja} = 10 \rightarrow$ la hauteur de l'objet A est le double soit 20mm.

-3-b- Repères attachés aux objets.



-3-c- On remarque que le cube B a une longueur d'arête de 100mm :

-En ce qui concerne l'arête orientée Y, la coordonnée Y du cdg vaut 40. Par conséquent l'arête tombe 10 mm à l'extérieur de la table selon l'axe Y. La caméra sera contre l'objet B.

- En ce qui concerne l'arête orientée Z, la coordonnée Z du repère du cube attaché à l'objet B (situé au centre de gravité c-à-d à 50mm de l'extrémité du cube) vaut 90mm, comme la largeur de la table ne fait que 80mm, par conséquent ce repère tombe 10 mm après la table. Donc l'objet B ne possède que 40mm de son arête orientée selon l'axe Z qui sont déposés sur la table. Donc la projection de son centre de gravité tombe à l'extérieur de la table, ce qui fait que l'objet B chute de la table s'il n'est pas retenu.

-Si B chute de la table donc la caméra ne verra que l'objet A,

-Si B ne chute pas : si on considère par ailleurs la matrice CAM, on se rend compte que la caméra est mal disposée, car la hauteur de son repère est égale à 80 alors que la hauteur de l'objet B est égale à 100. Donc la caméra ne verra pas l'objet B, elle ne verra que l'objet A.

- AUTOMATISMES LOGIQUES : modélisation et commande -

VOLUME 1 : STRUCTURE ET PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

- 2° édition revue et augmentée -

- TABLE DES MATIERES -

- PAGES-

Chapitre 1 : STRUCTURE D'UN AUTOMATISME LOGIQUE	1
ET NOTION DE CAHIER DE CHARGES	
-I- Notions sur l'automatisation et les automatismes	02
-II- Structure d'un automate logique	05
-III- Modes de marche d'un système automatisé	11
-IV- Approche du cahier de charges de la partie commande	14
-V- Exemple d'application : la machine à laver	16
 Chapitre 2 : LE GRAFCET	 21
-I- Introduction	22
-II- Eléments du grafcet	23
-III- Règles d'évolution	26
-IV- Représentation des séquences multiples	28
-V- Compléments introduits par la norme CEI-848	37
 Chapitre 3 : ELEMENTS DE TECHNOLOGIE	 41
-I- Rappel sur la structure d'un automate dans les technologies concurrentes	42
-II- Actionneur pneumatique : le vérin	43
-III- Préactionneur pour actionneur pneumatique: le distributeur	49
-IV- Les interfaces	59
-V- La fonction mémoire	69
-VI- Organe de commande : le programmeur cyclique à cames	71
 Chapitre 4 : COMMANDE EN LOGIQUE CABLEE	 75
-I- Synthèse de la partie commande	76
-II- Matérialisation de grafcet par des séquenceurs	82
-III- Le séquenceur électronique à bascules	87
-IV- Le séquenceur électrique	93
-V- Le séquenceur pneumatique	104
 Chapitre 5 : COMMANDE EN LOGIQUE PROGRAMMEE : L'API	 110
A.P.I. : AUTOMATE PROGRAMMABLE INDUSTRIEL	
-I- Introduction	111
-II- Architecture	112
-III- Programmation	118
-IV- Programmation de grafcets à séquences multiples	147
-V- Câblage des automates TSX 17	156
 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	 159
 ANNEXES :	 160
-I- Alimentation et commande des automatismes électriques	160
-II- Lois générales d'électrotechnique	162
-III- Formulaire (mécanique, électricité)	163

- AUTOMATISMES LOGIQUES : modélisation et commande -

VOLUME 3 : DIMENSIONNEMENT ET CABLAGE DES AUTOMATISMES ELECTRIQUES

- 2° édition revue et augmentée -

- TABLE DES MATIERES -

- PAGES-

Chapitre 6 : FONCTIONS SECTIONNEMENT, PROTECTION ET COMMUTATION D'UN AUTOMATISME ELECTRIQUE ----- 192

-I- Structure d'une installation électrique	
-1-Structure fonctionnelle d'une installation électrique	193
-2-Réseau d'alimentation et rappel des lois fondamentales d'électricité	
-3-Sectionnement ou isolement de l'installation	194
-4-Circuit de puissance	195
-a-Protection contre les courts-circuits	
-b-Protection contre les surintensités et les surcharges	
-5-Circuit de commande	198
-a-Alimentation	
-b-Protection: disjoncteur de contrôle ou cartouche fusible	
-II- Préactionneurs ou organes de commutation: principes de fonctionnement	201
-1-Organe de commutation à commande manuelle : le disjoncteur et le disjoncteur moteur	
-2-Organe de commutation à commande automatique : le contacteur	201
-3-Organe de commutation à commande électronique : le variateur électronique	213
-III- Appareils mis en œuvre dans un équipement de démarrage	213
-IV- Conception du schéma de commande d'un système automatisé	216
-V- Exemple de synthèse : commande d'un moteur de ventilateur	220-226

Chapitre 7 : COMMANDE DES MOTEURS ELECTRIQUES ----- 227

-I- Les moteurs : principes généraux	
-1- Moteur à courant continu	
-2- Moteur pas à pas	
-3- Moteur asynchrone triphasé	228
-II- Démarrage des moteurs asynchrones triphasés à cage	
-1-Démarrage direct	232
-2-Réduction du courant de démarrage	
*par commutation montage étoile-triangle	233
*par élimination de résistances statoriques ou rotoriques	236
-III- Freinage des moteurs asynchrones triphasés à cage	
-1- Freinage en contre-courant	241
-2-Freinage par injection de courant continu	243
-IV- Exemple de synthèse : commande d'une porte de garage	245
-1- Commande semi-automatique	247
-2- Commande automatique par API (TSX 17-10)	255-260

Chapitre 8 : EXERCICES SUR LA COMMANDE DES MOTEURS en modes semi-automatique et automatique ----- 261

-1- Moteur asynchrone à bagues en triphasé, mode semi-automatique	
-2- Moteur asynchrone à cage à deux sens de marche	
-3-Application de monte charge en triphasé	
-4- Moteur à 2 sens de marche en catégorie AC3	
-5- Table de perçage en monophasé, modes semi automatique et automatique	
-6- Commande en triphasé de deux chariots par API TSX 17-10	
-7-Station de transport de gravier en triphasé par API TSX 17-10	

Annexes ----- 280

-I- Formulaire (mécanique, électricité)	
-II- Lois générales d'électrotechnique	