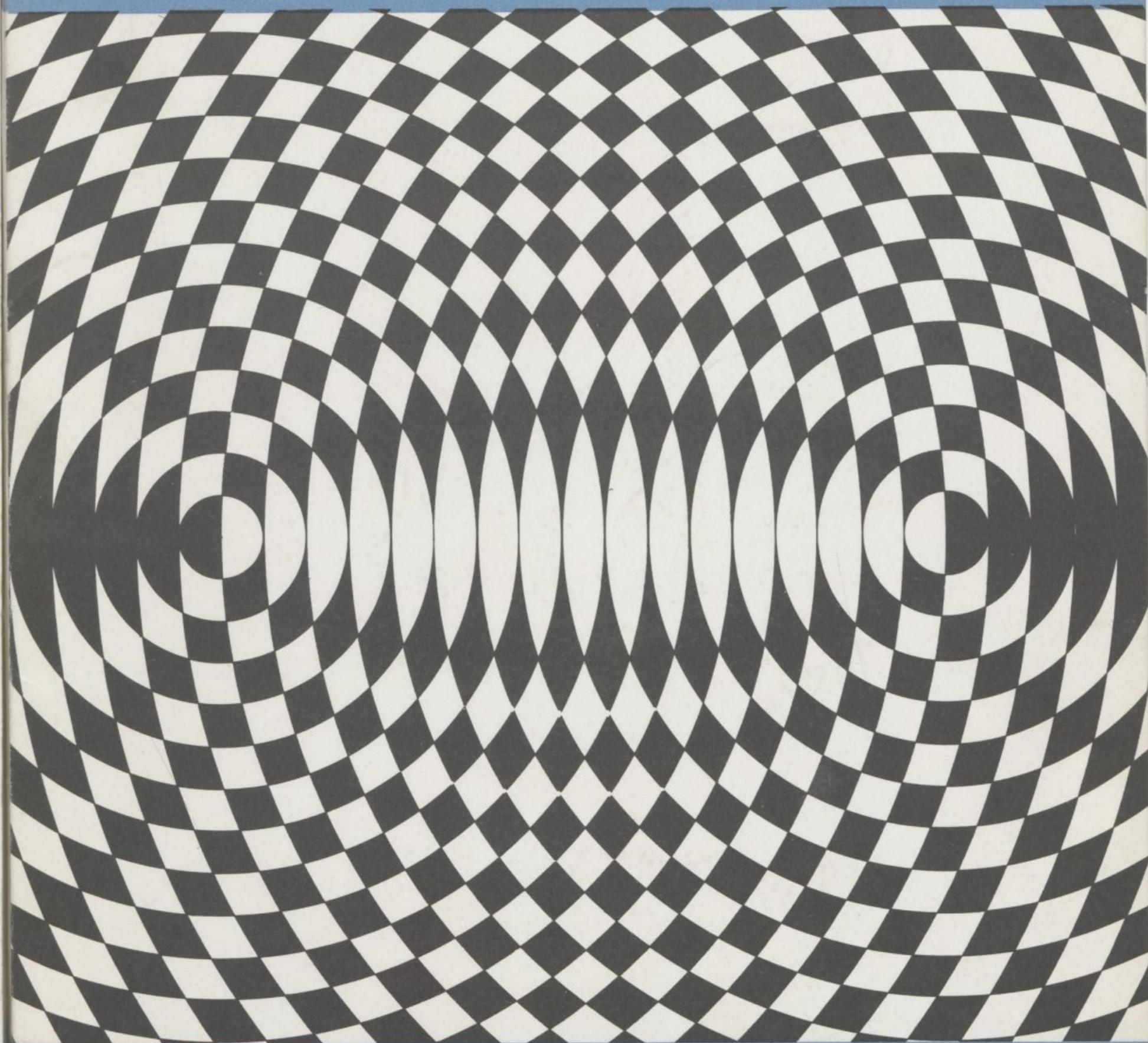


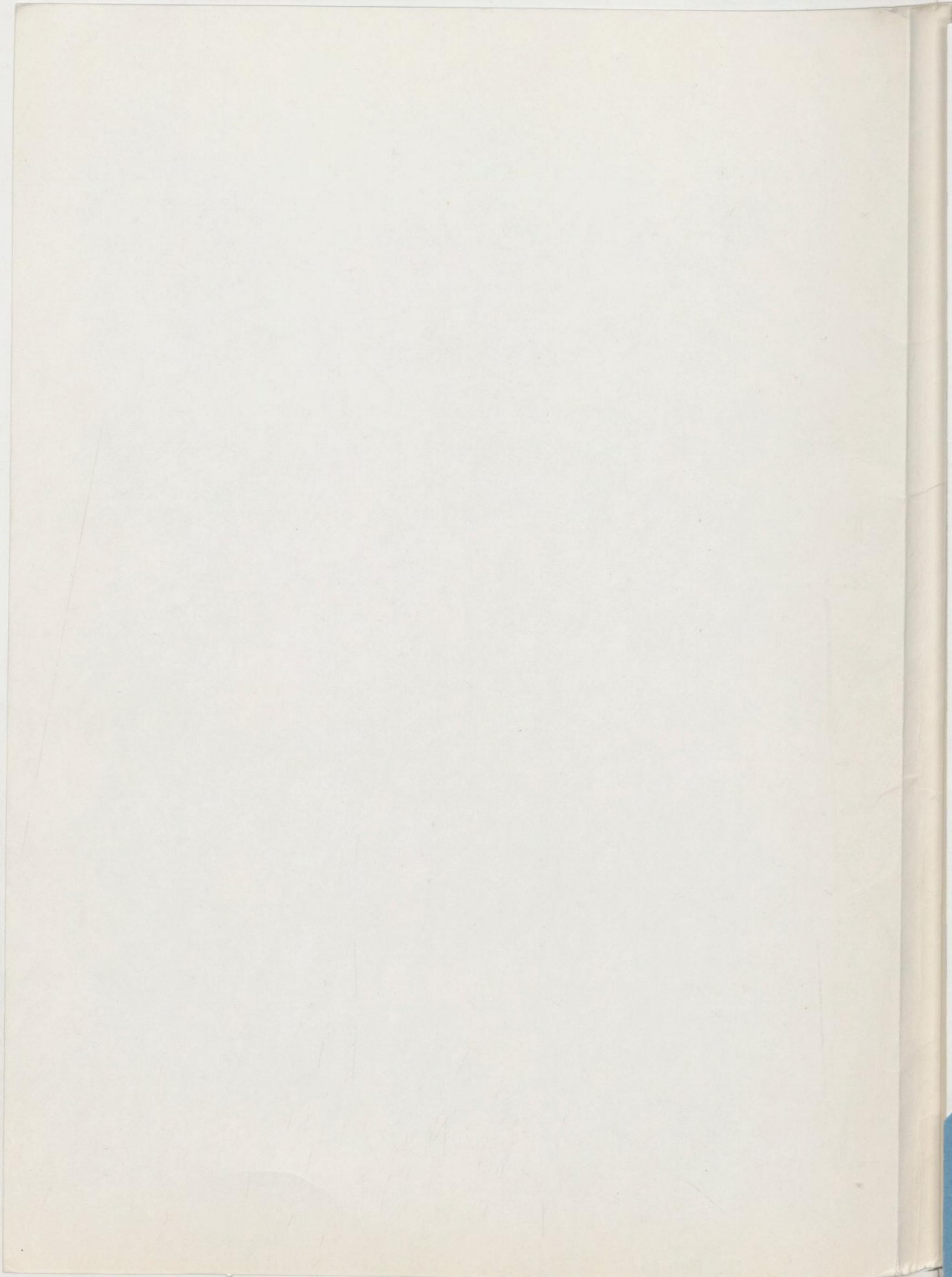
# automatismes rts promotion



matériel d'entraînement au raisonnement logique  
dépannage et conception

tome 2

OFFICE FRANÇAIS DES TECHNIQUES MODERNES D'ÉDUCATION



quest

$$\overline{E_1 \vee E_2 \vee \dots \vee E_n} = \overline{E_1} \wedge \overline{E_2} \wedge \dots \wedge \overline{E_n}$$

dans son application, ce théorème de de Morgan peut être utilisé sous cette forme :

$$\overline{E_1} \wedge \overline{E_2} \wedge \dots \wedge \overline{E_n} = \overline{E_1 \vee E_2 \dots \vee E_n}$$

(voir cahier 2 § 7.22 page 29).

### 2<sup>e</sup> théorème

$$\overline{E_1 \wedge E_2 \dots \wedge E_n} = \overline{E_1} \vee \overline{E_2} \dots \vee \overline{E_n}$$

dans son application, ce théorème de de Morgan peut être utilisé sous cette forme:

$$\overline{E_1} \vee \overline{E_2} \dots \vee \overline{E_n} = \overline{E_1 \wedge E_2 \wedge \dots \wedge E_n}$$

Pour réaliser le montage correspondant à l'équation suivante nous ne disposons que de modules ET et NON.

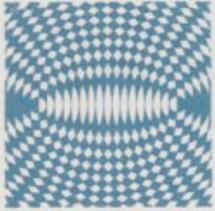
En utilisant le théorème de de Morgan, vous transformez cette équation :

1) équation  $L = \overline{A \vee \overline{B}}$

l'équation transformée est :

$L =$

$L$



**question 80**

transformation d'équation  
à l'aide du théorème de de Morgan

Rappel du 1<sup>er</sup> théorème de de Morgan

$$\overline{E_1 \vee E_2 \vee \dots \vee E_n} = \overline{E_1} \wedge \overline{E_2} \wedge \dots \wedge \overline{E_n}$$

dans son application, ce théorème de de Morgan peut être utilisé sous cette forme :

$$\overline{E_1} \wedge \overline{E_2} \wedge \dots \wedge \overline{E_n} = \overline{E_1 \vee E_2 \vee \dots \vee E_n}$$

(voir cahier 2 § 7.22 page 29).

2<sup>e</sup> théorème

$$\overline{E_1 \wedge E_2 \wedge \dots \wedge E_n} = \overline{E_1} \vee \overline{E_2} \vee \dots \vee \overline{E_n}$$

dans son application, ce théorème de de Morgan peut être utilisé sous cette forme:

$$\overline{E_1} \vee \overline{E_2} \vee \dots \vee \overline{E_n} = \overline{E_1 \wedge E_2 \wedge \dots \wedge E_n}$$

Pour réaliser le montage correspondant à l'équation suivante nous ne disposons que de modules ET et NON.

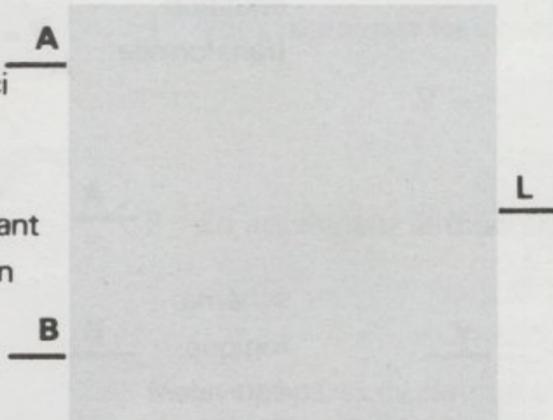
En utilisant le théorème de de Morgan, vous transformez cette équation :

1) équation  $L = \overline{A \vee \overline{B}}$

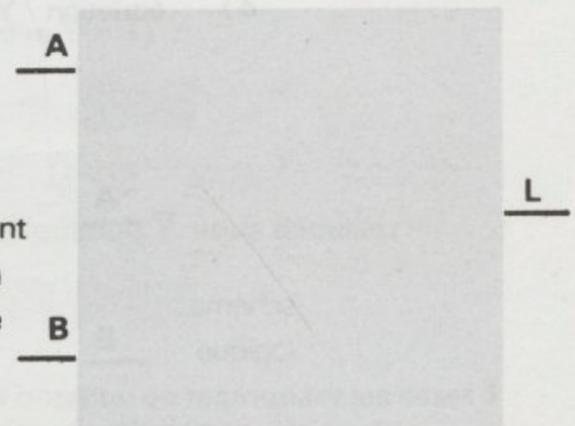
l'équation transformée est :

L =

vous dessinez ici le schéma logique correspondant à l'équation logique



vous dessinez ici le schéma logique correspondant à l'équation transformée



question 80 (suite)

Pour réaliser les montages correspondant aux équations suivantes, nous ne disposons que de modules OU et NON. En utilisant le théorème de de Morgan, vous transformez ces équations :

2) équation  $S = \bar{X} \wedge Y$

équation transformée

$S =$

schéma logique

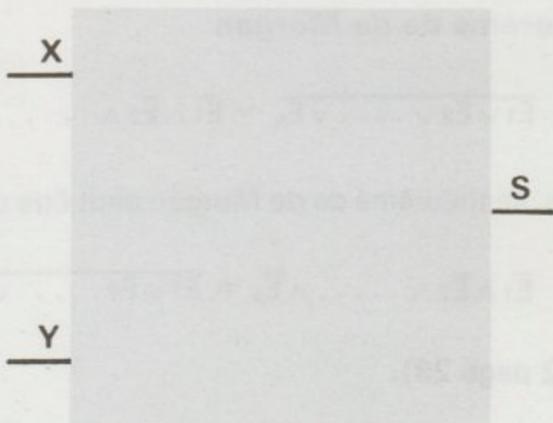
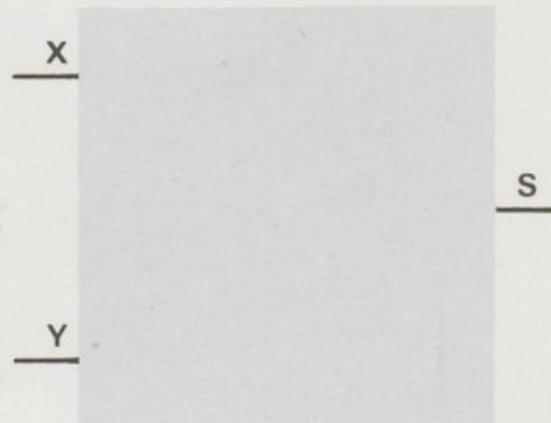


schéma logique équivalent



réponse page 141

3) équation  $V = A \wedge \overline{B \wedge C}$

équation transformée

$V =$

schéma logique

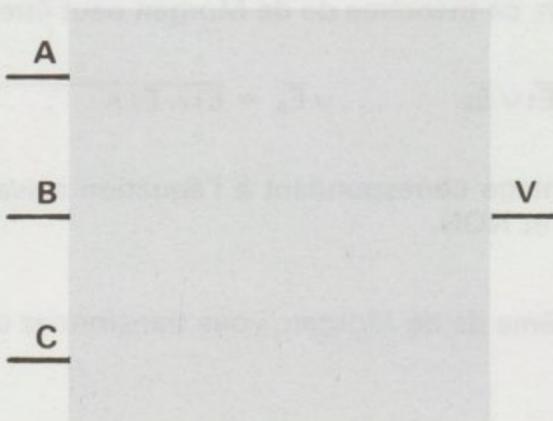
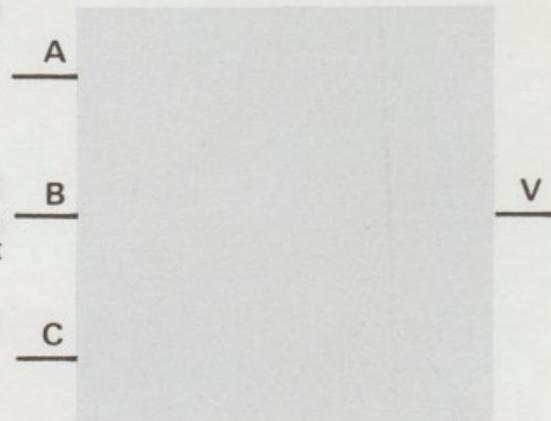


schéma logique équivalent



réponse page 142

4) équation  $Y = \bar{A} \wedge \overline{B \vee C}$

équation transformée

$Y =$

schéma logique

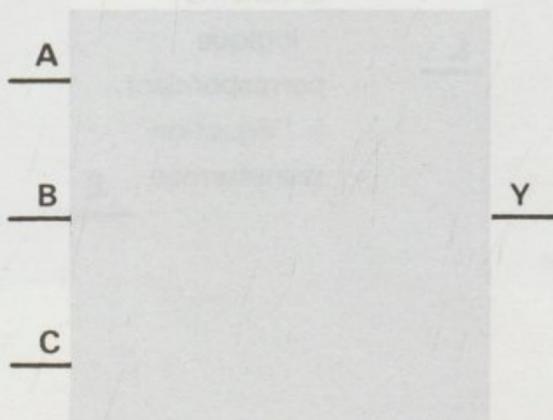
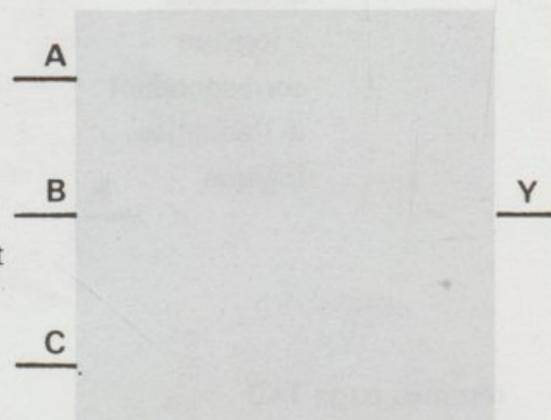


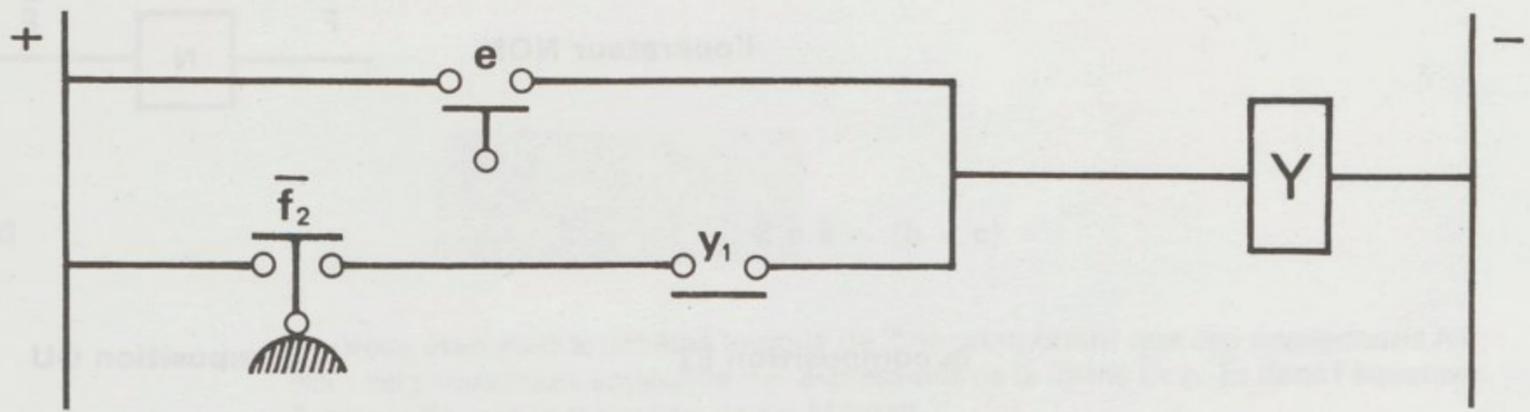
schéma logique équivalent



réponse page 143

question 81

Le relais Y de la perceuse est alimenté par le circuit :



$Y =$

- 1 En appliquant le théorème de de Morgan, vous déduisez  $\bar{Y}$  de Y :

$\bar{Y} =$

- 2 A partir de cette dernière équation, vous déterminez quelles sont les conditions sur e,  $\bar{f}_2$  et  $y_1$  pour que le relais Y ne soit pas alimenté :

réponse page 144

question 82

Pour simplifier l'équation

$$Y = (\bar{e} \wedge \bar{f}_2 \wedge y_1) \vee (e \wedge f_2 \wedge \bar{y}_1) \vee (e \wedge f_2 \wedge y_1) \vee (e \wedge \bar{f}_2 \wedge \bar{y}_1) \vee (e \wedge \bar{f}_2 \wedge y_1)$$

affichée dans ce tableau de Karnaugh, on peut utiliser les cases 0 du tableau de Karnaugh.

		$\bar{e} \bar{f}_2$			
		$y_1$	00	01	11
0	0	0	0	1	1
	1	0	1	1	1

- 1 Vous regroupez les cases où  $Y = 0$  (c'est-à-dire  $\bar{Y} = 1$ ) :

$\bar{Y} =$    $\vee$

- 2 En appliquant le théorème de de Morgan à l'équation  $\bar{Y}$ , vous déduisez :

$Y = \bar{\bar{Y}} =$

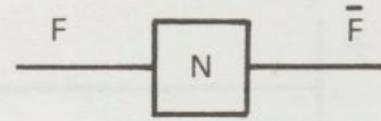
Vous comparez ce résultat à l'équation simplifiée obtenue en regroupant les cases 1 du tableau de Karnaugh (voir fiches d'évaluation de l'émission 6).

réponse page 144

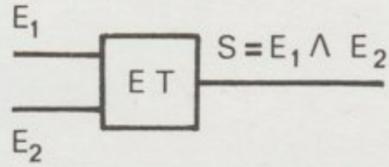
**question 83**

1 Partant des schémas logiques représentant le connecteur NI (cahier 2 § 7.22 page 29), vous retrouvez et notez ici les schémas logiques ne comprenant que des connecteurs NI, équivalents à

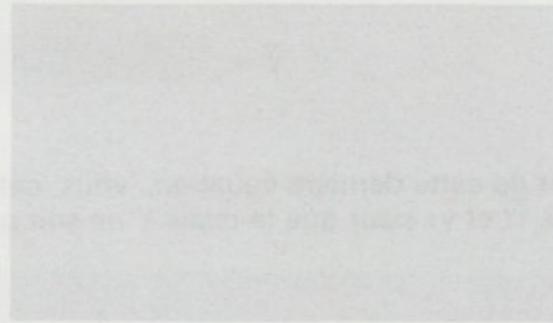
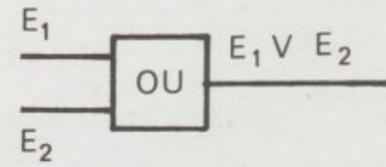
l'opérateur NON



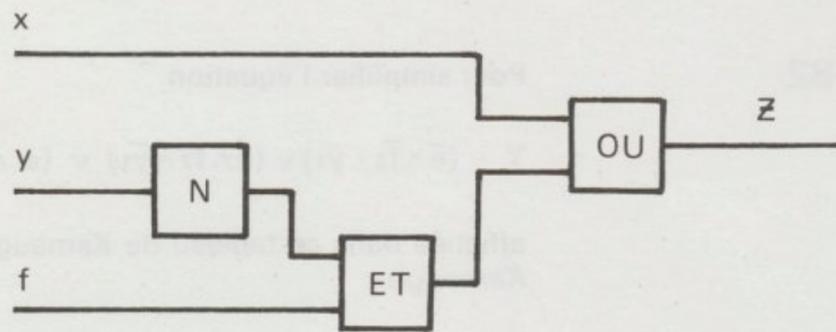
la composition ET



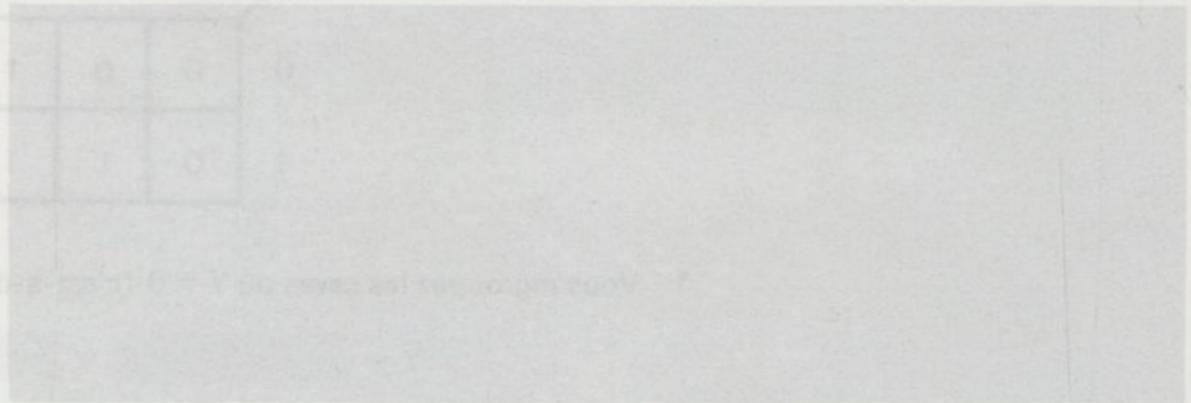
la composition OU



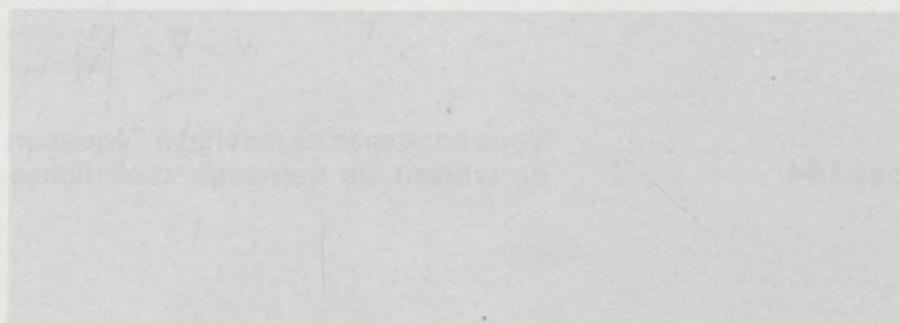
2 A partir du schéma logique de Z



Vous établissez le schéma logique de Z ne comprenant que des connecteurs NI :



Vous faites une simplification dans ce schéma logique :



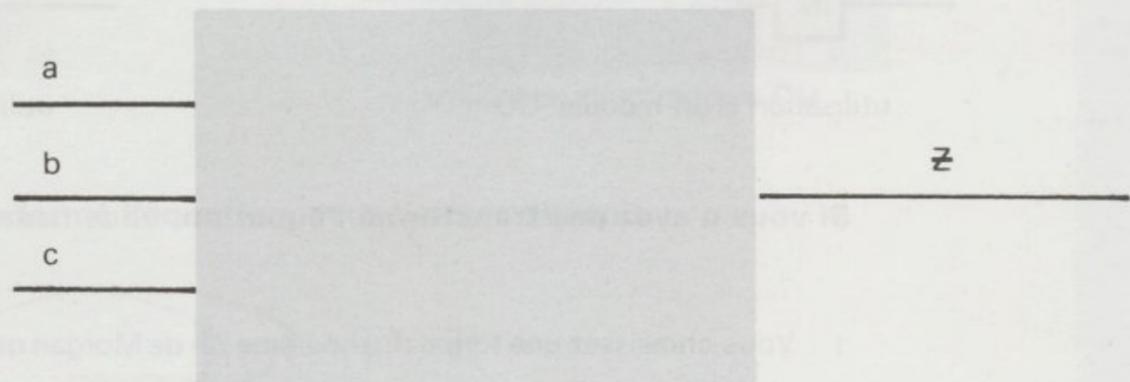
réponse page 145

question 84

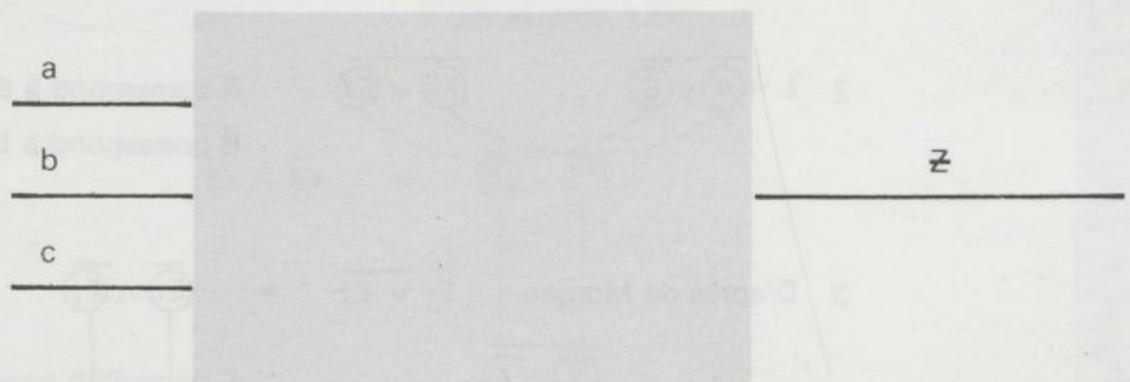
$$Z = \bar{a} \wedge (b \vee c)$$

1 Vous établissez le schéma logique de Z ne comportant que des *connecteurs NI*; pour cela vous faites apparaître des expressions de la forme  $\bar{E}_1 \wedge \bar{E}_2$  dans l'équation Z en appliquant le théorème de de Morgan :

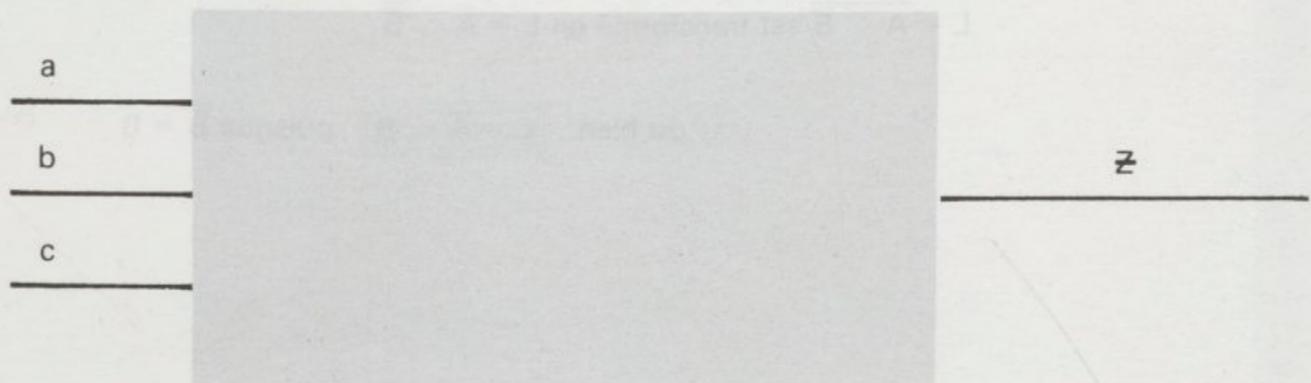
$$Z = \bar{a} \wedge (b \vee c) = \bar{a} \wedge \overline{\overline{b \vee c}} = \bar{a} \wedge \underline{\hspace{2cm}}$$



2 Vous établissez le schéma logique de Z comportant des *connecteurs ET, OU, NON* :

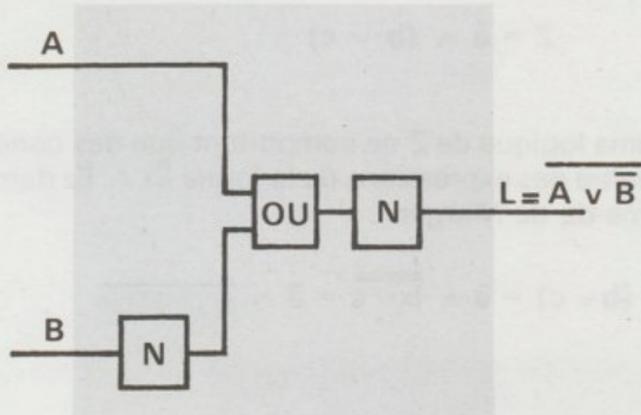


3 A partir de ce schéma logique, vous établissez le schéma logique de ne comportant que des *connecteurs NI* :



4 Vous faites 2 simplifications dans ce schéma logique et vous le comparez au schéma logique obtenu en 1 .

1)  $L = \overline{A \vee \overline{B}}$



utilisation d'un module OU

équation transformée  $L = \overline{\overline{A}} \wedge B$

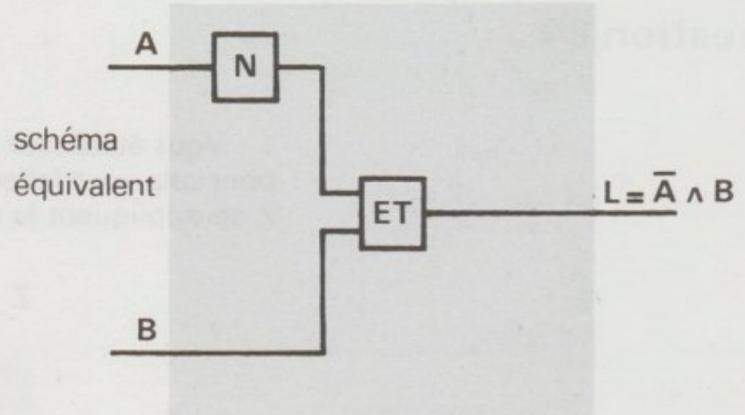


schéma équivalent

utilisation d'un module ET

Si vous n'avez pas transformé l'équation, vous lisez ce qui suit :

- Vous choisissez une forme du théorème de de Morgan qui corresponde à l'équation L et qui permette d'obtenir la composition ET recherchée :

$$L = \overline{A \vee \overline{B}} \quad \overline{E_1 \vee E_2} = \overline{E_1} \wedge \overline{E_2}$$

- $L = \overline{A \vee \overline{B}}$        $\overline{E_1 \vee E_2}$       A correspond à  $E_1$   
 $\overline{B}$  correspond à  $E_2$

- D'après de Morgan  $\overline{E_1 \vee E_2} = \overline{E_1} \wedge \overline{E_2}$

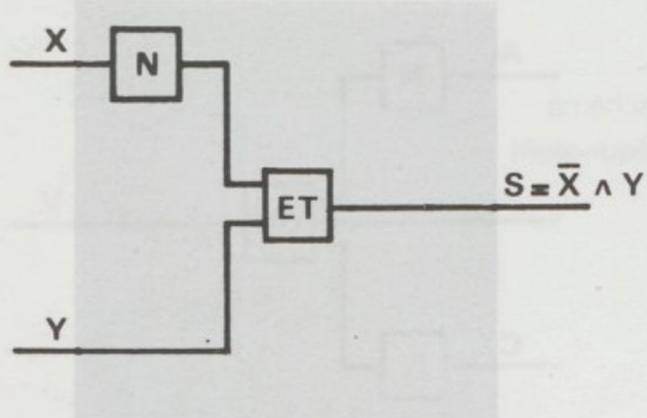
- D'après la correspondance définie en 2  $\overline{A} \wedge \overline{\overline{B}}$

On en déduit

$$L = \overline{A \vee \overline{B}} \text{ est transformé en } L = \overline{\overline{A}} \wedge B$$

ou bien  $L = \overline{\overline{A}} \wedge B$  puisque  $\overline{\overline{B}} = B$

2)  $S = \bar{X} \wedge Y$



utilisation d'un module ET

équation transformée  $S = \overline{X \vee \bar{Y}}$

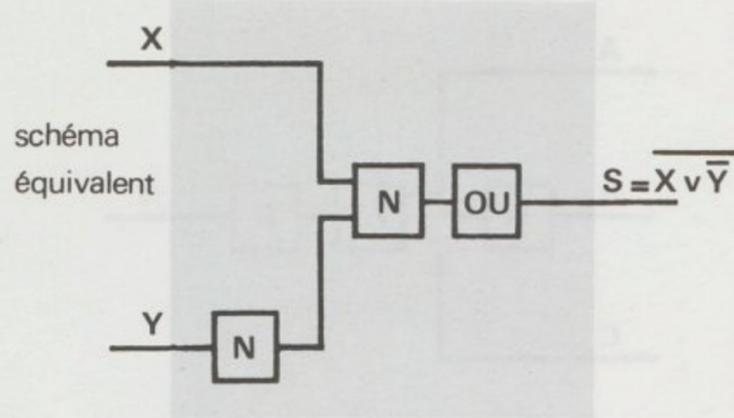


schéma équivalent

utilisation d'un module OU

Si vous n'avez pas transformé l'équation, vous lisez ce qui suit :

1  $S = \bar{X} \wedge Y = \overline{X \vee \bar{Y}}$   $\xrightarrow{\text{même forme}}$   $\overline{E_1 \vee E_2} = \overline{E_1} \wedge \overline{E_2}$   $\xrightarrow{\text{composition OU}}$   $\overline{E_1 \vee E_2}$   $\xrightarrow{\text{recherchée}}$

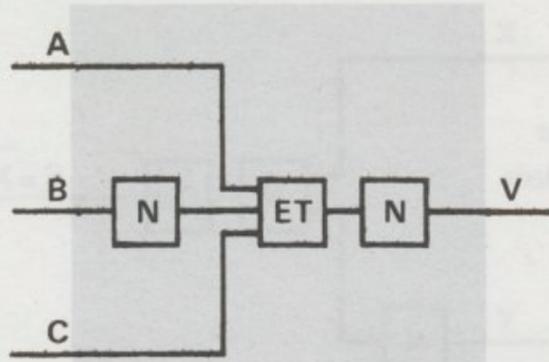
2  $S = \overline{X \vee \bar{Y}}$   $\xrightarrow{\text{correspondance}}$   $\overline{E_1 \vee E_2}$   
 X correspond à  $E_1$   
 $\bar{Y}$  correspond à  $E_2$

3 D'après de Morgan  $\overline{E_1 \vee E_2} = \overline{E_1} \wedge \overline{E_2}$

4 D'après la correspondance définie en 2

on en déduit  $S = \overline{X \vee \bar{Y}}$

3)  $V = \overline{A \wedge \overline{B} \wedge C}$



utilisation d'un module ET

équation transformée  $V = \overline{A} \vee B \vee \overline{C}$

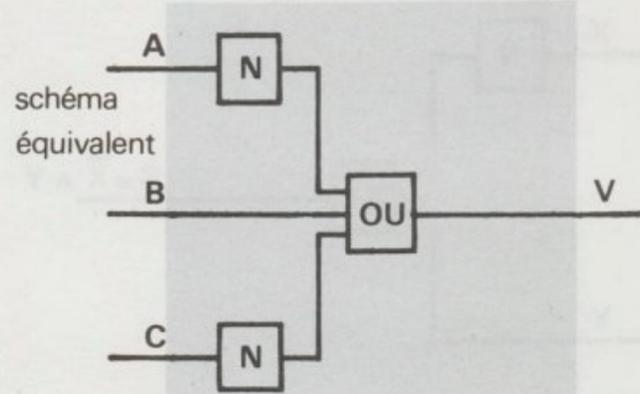


schéma équivalent

utilisation d'un module OU

Si vous n'avez pas transformé l'équation, vous lisez ce qui suit :

1  $V = \overline{A \wedge \overline{B} \wedge C} \quad E_1 \wedge E_2 \wedge E_3 = \overline{E_1} \vee \overline{E_2} \vee \overline{E_3}$

même forme composition OU recherchée

2  $V = \overline{A \wedge \overline{B} \wedge C} \quad \overline{E_1 \wedge E_2 \wedge E_3}$

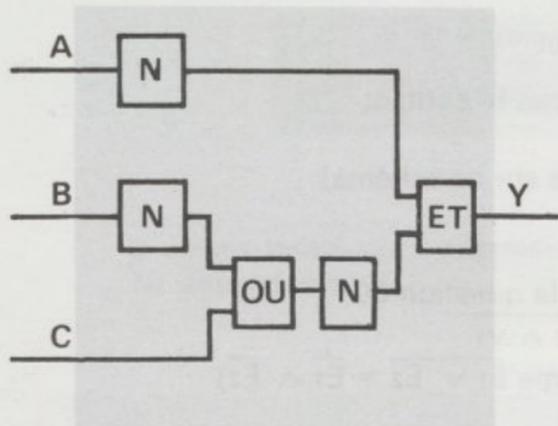
A correspond à E1  
B correspond à E2  
C correspond à E3

3 D'après de Morgan  $\overline{E_1 \wedge E_2 \wedge E_3} = \overline{E_1} \vee \overline{E_2} \vee \overline{E_3}$

4 D'après la correspondance définie en 2  $\overline{A \wedge \overline{B} \wedge C} = \overline{A} \vee \overline{\overline{B}} \vee \overline{C}$

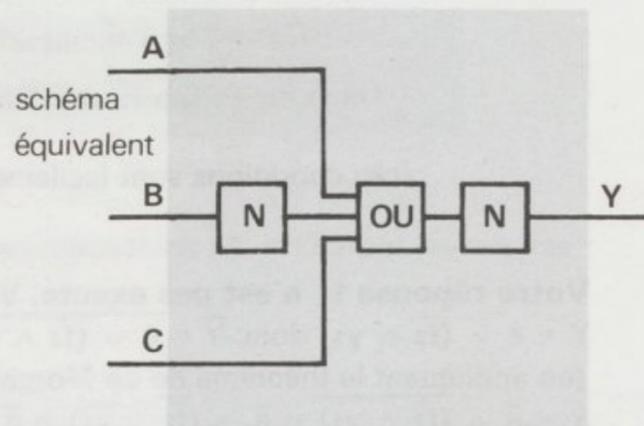
on en déduit  $V = \overline{A} \vee \overline{\overline{B}} \vee \overline{C} = \overline{A} \vee B \vee \overline{C}$

4)  $Y = \bar{A} \wedge \overline{(\bar{B} \vee C)}$



utilisation d'un module ET et d'un module OU

équation transformée  $Y = A \vee \bar{B} \vee C$



utilisation d'un module OU

Si vous n'avez pas transformé l'équation vous lisez ce qui suit :

1  $Y = \bar{A} \wedge (\bar{B} \vee C)$        $E_1 \wedge E_2 = E_1 \vee E_2$

même forme      composition OU      recherchée

2  $Y = \overline{A} \wedge \overline{B \vee C}$        $\overline{E_1} \wedge \overline{E_2}$

A correspond à  $E_1$   
 $\bar{B} \vee C$  correspond à  $E_2$

3 D'après de Morgan       $\overline{E_1} \wedge \overline{E_2} = \overline{E_1 \vee E_2}$

4 D'après la correspondance définie en 2       $\overline{A \vee B \vee C}$

On en déduit       $Y = \overline{A \vee B \vee C}$

réponse 81

1  $\bar{Y} = \bar{e} \wedge (f_2 \vee \bar{y}_1)$

2 pour que Y ne soit pas alimenté, il faut que

e n'établit pas le contact  
et  $\bar{f}_2$  ou  $y_1$  (ou  $\bar{f}_2$  et  $y_1$ ) n'établissent pas le contact

(ces conditions sont facilement vérifiables sur ce schéma).

**Votre réponse 1 n'est pas exacte. Vous revoyez la question 80**

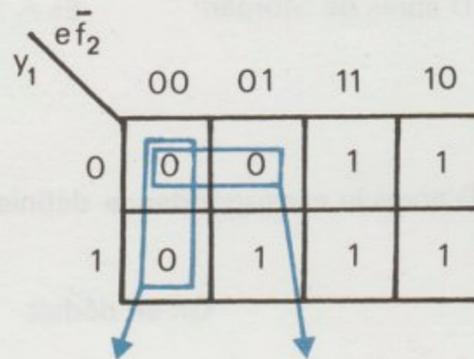
$Y = e \vee (\bar{f}_2 \wedge y_1)$  donc  $\bar{Y} = \overline{e \vee (\bar{f}_2 \wedge y_1)} = \bar{e} \wedge \overline{\bar{f}_2 \wedge y_1}$   
 (en appliquant le théorème de de Morgan sous la forme  $\overline{E_1 \vee E_2} = \bar{E}_1 \wedge \bar{E}_2$ )  
 $\bar{Y} = \bar{e} \wedge (\overline{\bar{f}_2 \wedge y_1}) = \bar{e} \wedge (f_2 \vee \bar{y}_1)$   
 (en appliquant le théorème de de Morgan sous la forme  $\overline{E_1 \wedge E_2} = \bar{E}_1 \vee \bar{E}_2$ )

**Votre réponse 2 n'est pas exacte**

d'après l'équation logique  $\bar{Y} = \bar{e} \wedge (f_2 \vee \bar{y}_1)$   
 $\bar{Y}$  est VRAI (c'est-à-dire Y n'est pas alimenté est VRAI)  
 si  $\bar{e}$  est VRAI et si  $f_2 \vee \bar{y}_1$  est VRAI  
 -  $\bar{e}$  est VRAI (c'est-à-dire e n'établit pas le contact est VRAI).  
 -  $f_2 \vee \bar{y}_1$  est VRAI si  $f_2$  est VRAI  
     ou si  $\bar{y}_1$  est VRAI  
     ou si  $f_2$  et  $\bar{y}_1$  sont VRAIS  
 (c'est-à-dire  $\bar{f}_2$  ou  $y_1$  ou  $\bar{f}_2$  et  $y_1$  n'établissent pas le contact)

réponse 82

1 On fait 2 regroupements de 2 cases 0 :



L'expression de ces regroupements est  $\bar{e} \wedge \bar{f}_2 = \bar{e} \wedge f_2$        $\bar{e} \wedge \bar{y}_1$

$\bar{Y}$  est VRAI dans ces 2 regroupements :  $\bar{Y} = (\bar{e} \wedge f_2) \vee (\bar{e} \wedge \bar{y}_1)$

2  $Y = \overline{\bar{Y}} = \overline{(\bar{e} \wedge f_2) \vee (\bar{e} \wedge \bar{y}_1)}$

On applique le théorème de de Morgan

$$Y = \overline{\bar{e} \wedge f_2 \wedge \bar{e} \wedge \bar{y}_1}$$

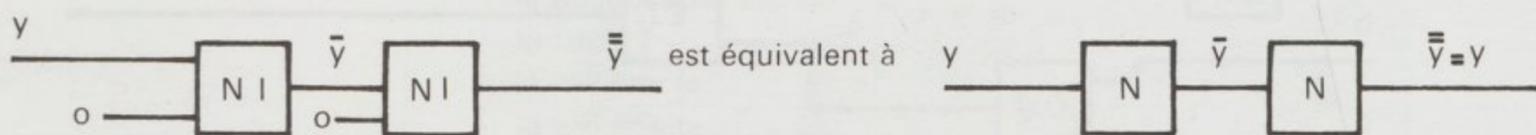
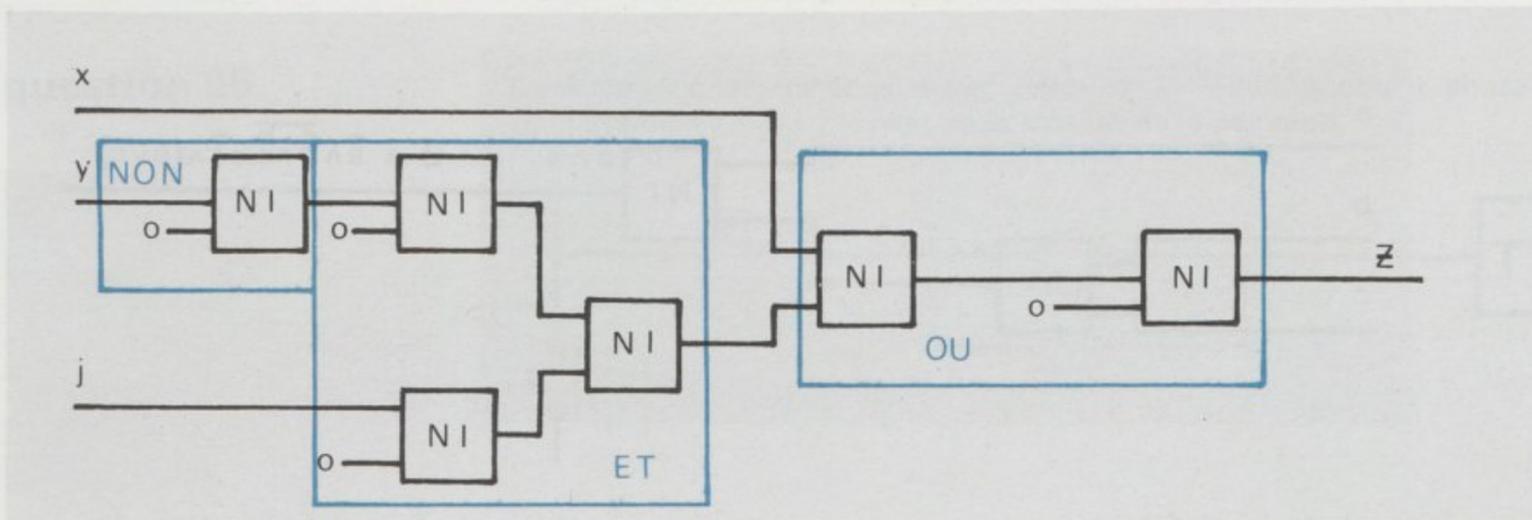
$$Y = (\overline{\bar{e} \wedge f_2}) \wedge (\overline{\bar{e} \wedge \bar{y}_1}) = (e \vee \bar{f}_2) \wedge (e \vee y_1)$$

$$Y = e \vee (f_2 \wedge y_1)$$

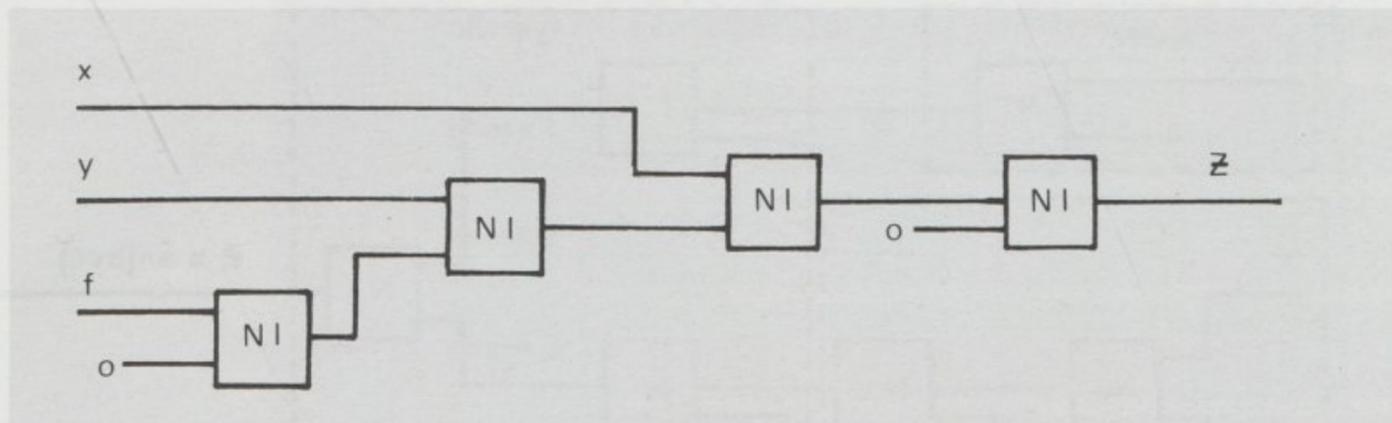
Vous avez obtenu la même équation simplifiée en faisant des regroupements de 1 cases 1 dans le tableau de Karnaugh.

- 1 Vous obtenez les schémas logiques équivalents
  - à l'opérateur NON : cahier 2 § 7.51 page 31
  - à la composition ET : cahier 2 § 7.52 page 31
  - à la composition OU : cahier 2 § 7.53 page 31

- 2 Vous remplacez l'opérateur NON et la compositions ET et OU par les circuits NI équivalents :



que vous pouvez supprimer sur le schéma :

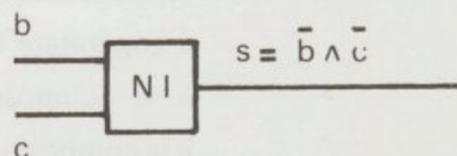


Nous verrons comment un transistor réalise un connecteur NI dans l'émission 9 «Automatismes et électronique». Avec des connecteurs NI, on obtient tous les connecteurs ET, OU, NON. Tout circuit peut donc être réalisé avec des transistors.

réponse 84

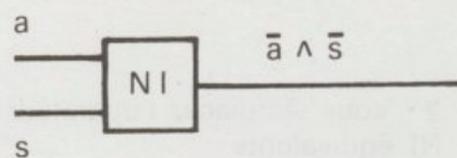
1  $Z = \bar{a} \wedge (b \vee c) = \bar{a} \wedge \overline{\overline{b \vee c}} = \bar{a} \wedge \overline{\bar{b} \wedge \bar{c}}$

$\bar{b} \wedge \bar{c}$  est représenté par le schéma logique

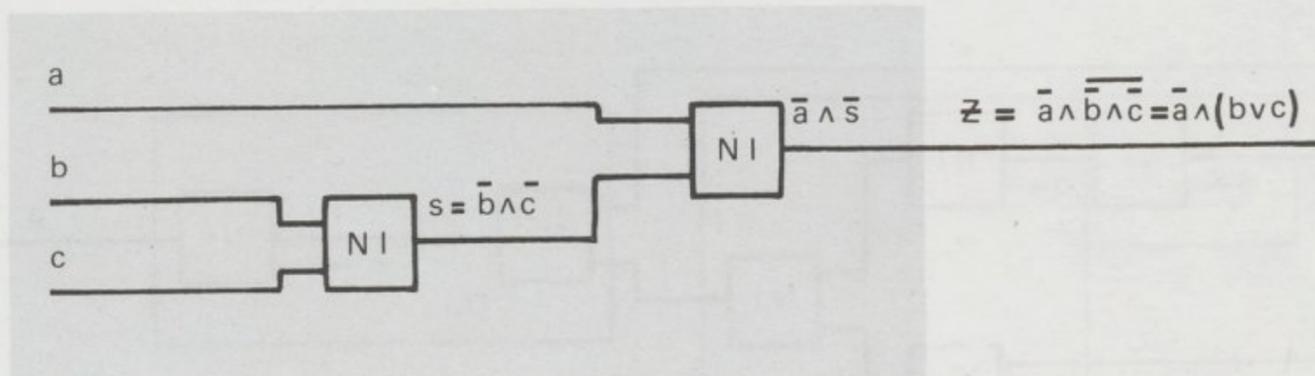


$Z = \bar{a} \wedge \bar{S}$  avec  $S = \bar{b} \wedge \bar{c}$

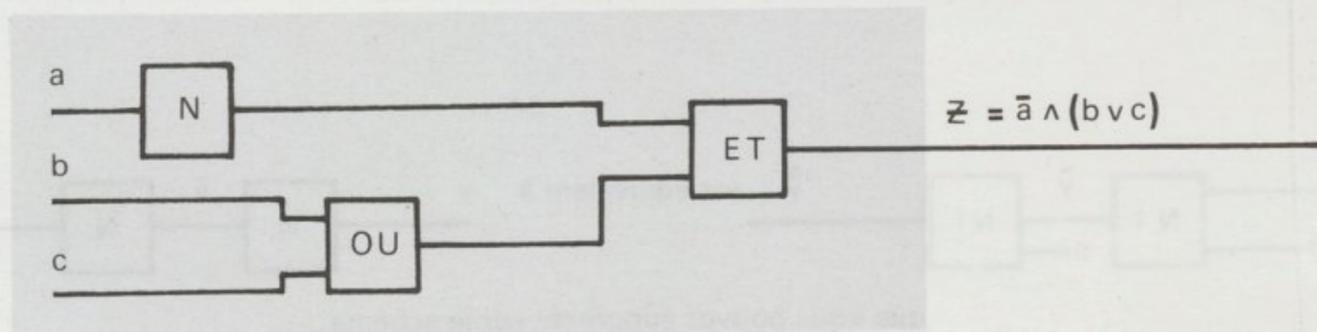
$Z = \bar{a} \wedge \bar{S}$  est représenté par le schéma logique



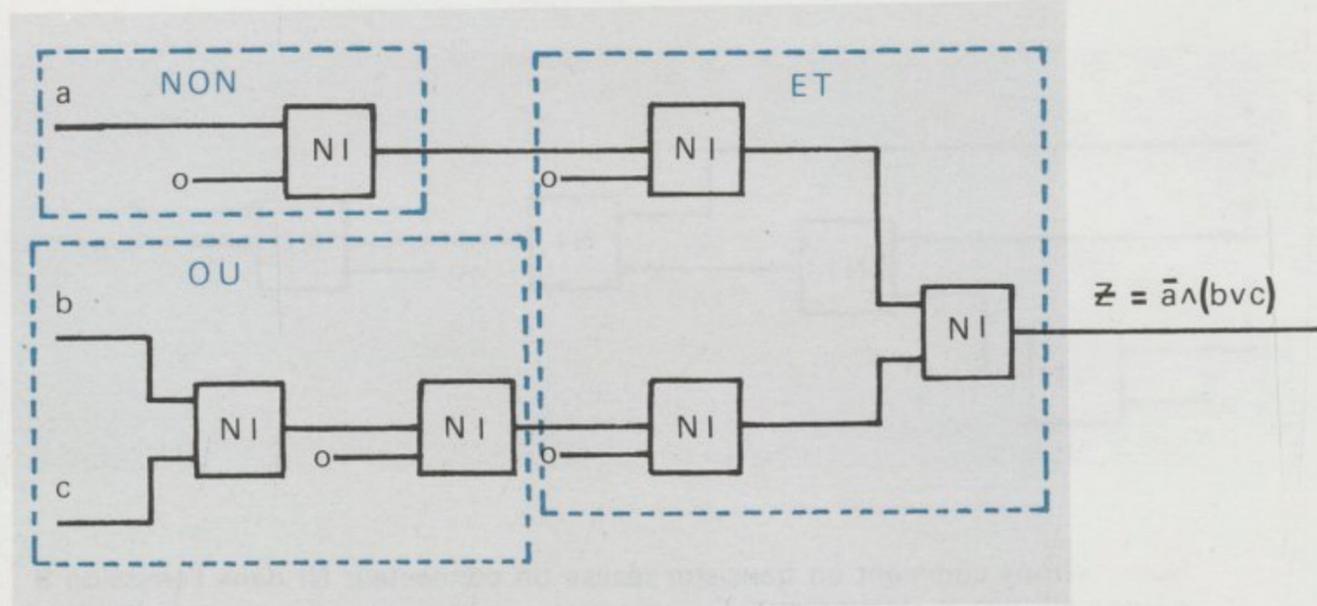
d'où le schéma logique de Z ne comportant que des connecteurs NI :



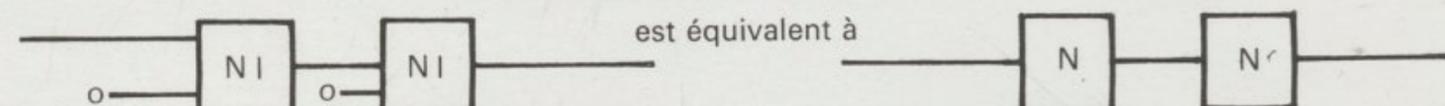
2



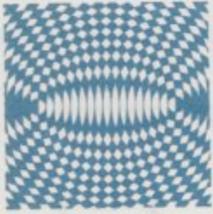
3



4



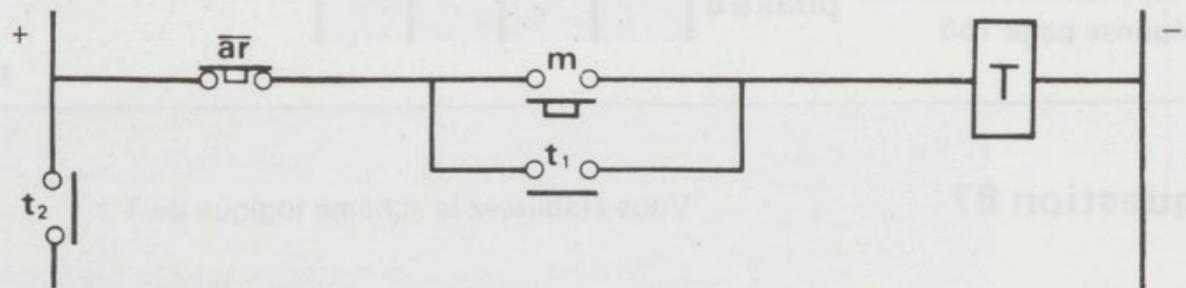
que l'on supprime 2 fois dans le schéma ci-dessus, on retrouve le schéma établi en 1



En étudiant le cahier 2 correspondant à l'émission 8, vous avez conçu à l'aide du tableau des phases le schéma d'automatisme de la porte automatique § 8.7 page 34.

**question 85**

Dans cette question vous devez retrouver le fonctionnement phase par phase d'un système connu : la mise sous tension de la perceuse.



1 Vous choisissez des **énoncés binaires** pour décrire

- le bouton m :
- le bouton arrêt ar :
- le relais T :
- la paillette t1 :
- la paillette t2 :

2 Vous décrivez chaque phase de ce système et vous en faites la **description binaire** : (t1 et t2 ayant même valeur logique, on ne décrit que t1).

phase 0 m = 0 ar = 0 T = 0 t1 = 0 état repos ou initial du système

phase 1

phase 2

phase 3

phase 4 m = 0 ar = 1

phase 5

phase 6

réponse page 156

**question 86**

Vous présentez la description binaire faite à la question 85 dans  
 un tableau des phases (logique) :                      ou un tableau des phases (graphique) :  
 (ou diagramme des phases)

	m	ar	T	t <sub>1</sub>
phase 0				
phase 1				
phase 2				
phase 3				
phase 4				
phase 5				
phase 6				

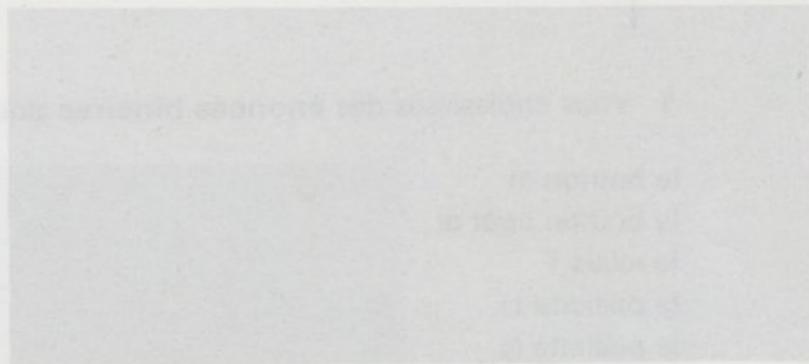
	0	1	2	3	4	5	6
m							
ar							
T							
t <sub>1</sub>							

réponse page 156

**question 87**

Vous établissez le schéma logique de T :

schéma 1



T =

réponse page 157

**question 88**

mémoire

schéma 1

1 Sur ce schéma logique, vous écrivez la valeur logique des entrées et de la sortie T pendant la **phase 1** (d'après le tableau des phases).  
 Vous comparez ce schéma logique avec le schéma 1 : vous indiquez par quel(s) circuit(s) est alimenté le relais T pendant la phase 1 (*appel* ou *automaintien*)

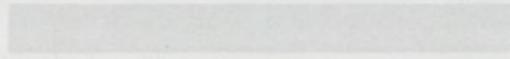


schéma 1

2 Sur ce schéma logique, vous écrivez la valeur logique des entrées et de la sortie T pendant la **phase 2**.  
 Pendant la phase 2, le relais T est alimenté par le(s) circuit(s)

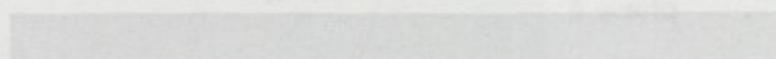
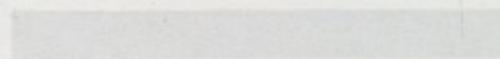


schéma 1

3 Sur ce schéma logique, vous écrivez la valeur logique des entrées et de la sortie T pendant la **phase 3**.  
 Pendant la phase 3, le relais T est alimenté par le(s) circuit(s)



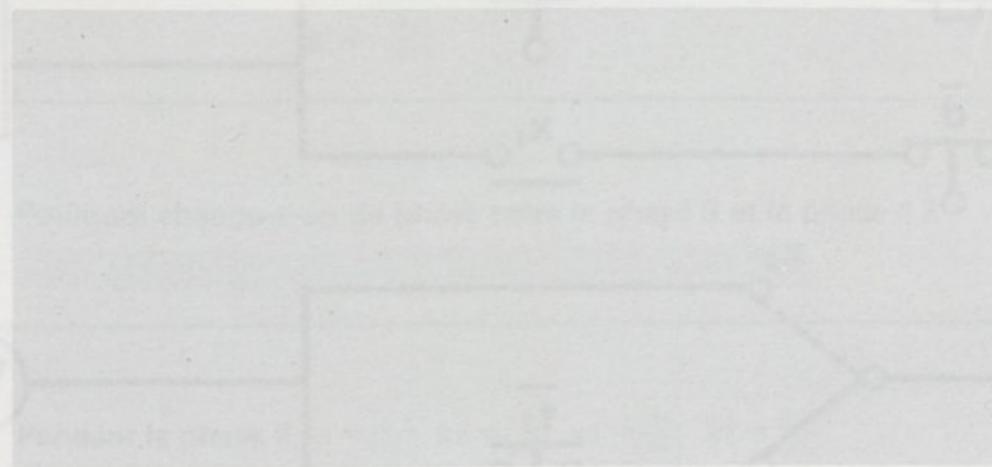
réponse page 157

### question 89

Sur le schéma 1, vous reconnaissez 2 autres mémoires électromécaniques :

Vous établissez leurs schémas logiques :

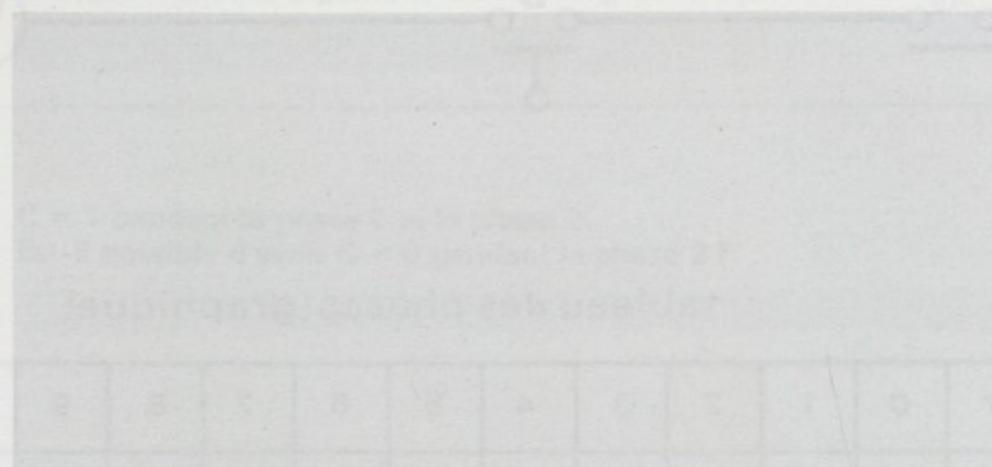
1



L'organe permettant « d'armer » cette mémoire est

L'organe d'effacement qui « désarme » cette mémoire est

2



L'organe permettant « d'armer » cette mémoire est

L'organe d'effacement qui « désarme » cette mémoire est

réponse page 158

### question 90

schéma 1

Vous comparez sur le schéma 1 les circuits alimentant le relais X et les circuits alimentant le relais T

Vous pouvez comparer aussi le schéma logique de X, question 89, et le schéma logique de T, question 87).

Vous en déduisez :

1 Si l'opérateur appuie simultanément sur m et sur ar,

le relais T est alimenté est  VRAI  
 FAUX

2 Si le bouton C est appuyé et le capteur D est actionné au même instant,

le relais X est alimenté est  VRAI  
 FAUX

réponse page 159

## schéma simplifié de commande de la perceuse

(Dans ce schéma de la perceuse ne figurent pas la partie mise sous tension et le changement de vitesse de descente de l'outil)

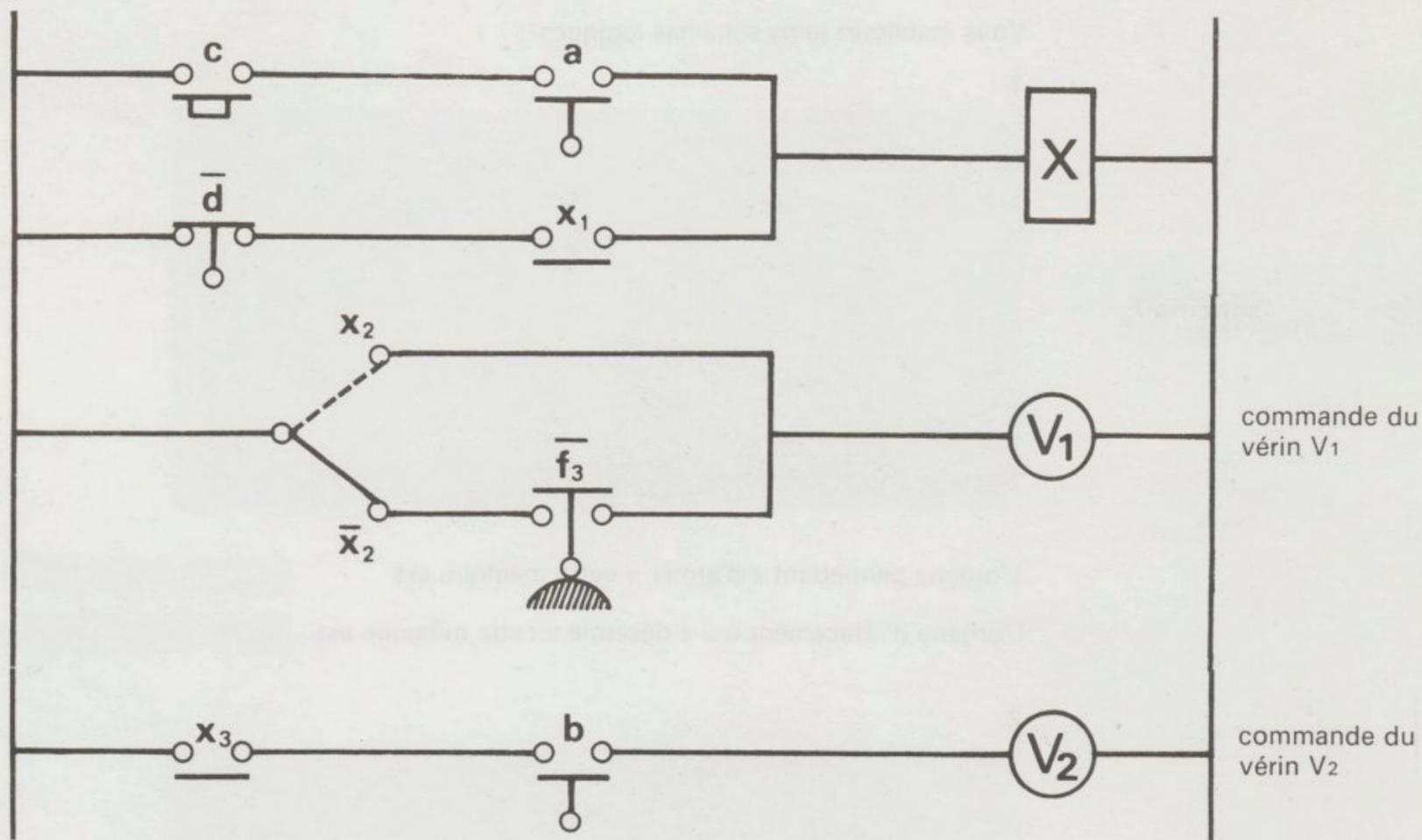
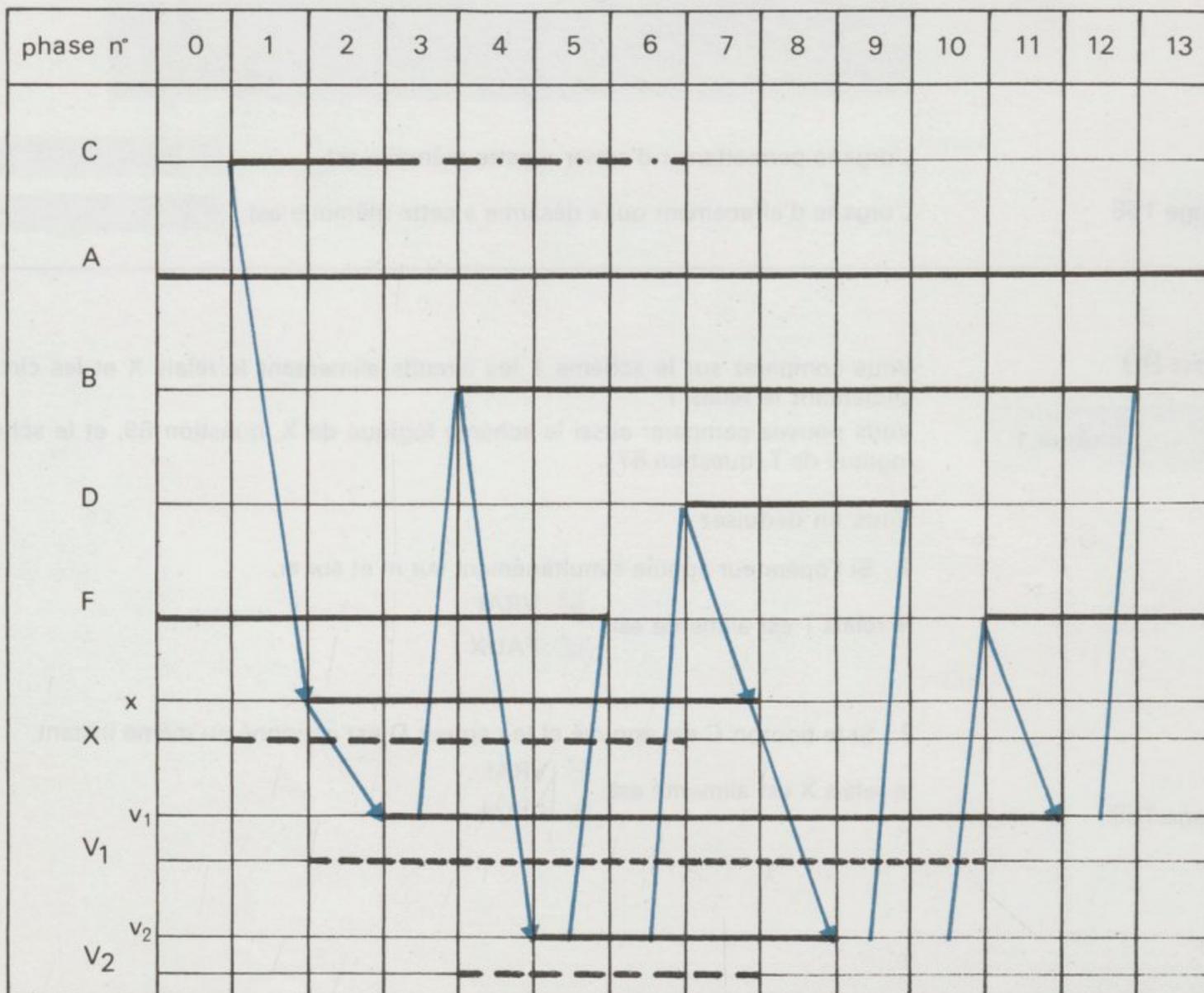


tableau des phases (graphique)



**question 91**

réponse page 159

Dans la colonne de gauche du tableau des phases (graphique), vous trouvez indiqués

**question 92**

réponse page 159

Pendant la phase 1, C =  (Vous indiquez les valeurs logiques)  
B =

**question 93**

réponse page 160

Pourquoi change-t-on de phase entre la phase 3 et la phase 4 ?

**question 94**

réponse page 160

Pendant la phase 6, x1 =  x2 =  x3 =   $\bar{x}2 =$

**question 95**

réponse pages 160 et 161

Pendant la phase 1  $\begin{cases} X = 1, \\ x = 0 \end{cases}$ , pendant la phase 2  $\begin{cases} X = 1 \\ x = 1 \end{cases}$

Pourquoi l'énoncé x prend-il la valeur logique 1 seulement à la phase 2 ?

**question 96**

réponse page 162

C = 1 pendant la phase 1 et la phase 2.  
Est-il possible d'avoir C = 0 pendant la phase 2 ?

**question 97**

réponse page 162

La flèche oblique à la phase 7 indique une correspondance entre  et

**question 98**

réponse page 162

**mémoire**

Vous complétez :

phase 1 : C = <input type="checkbox"/>	D = <input type="checkbox"/>	x = <input type="checkbox"/>	X = <input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
phase 2 : C = <input type="checkbox"/>	D = <input type="checkbox"/>	x = <input type="checkbox"/>	X = <input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
phase 3 : C = <input type="checkbox"/>	D = <input type="checkbox"/>	x = <input type="checkbox"/>	X = <input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
phase 4 : C = <input type="checkbox"/>	D = <input type="checkbox"/>	x = <input type="checkbox"/>	X = <input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
phase 5 : C = <input type="checkbox"/>	D = <input type="checkbox"/>	x = <input type="checkbox"/>	X = <input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
phase 6 : C = <input type="checkbox"/>	D = <input type="checkbox"/>	x = <input type="checkbox"/>	X = <input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

Vous suivez ces phases sur le schéma d'alimentation du relais X.  
Vous indiquez pour chacune des phases en écrivant ici  si elle correspond à l'armement, au désarmement ou à l'automaintien de la mémoire.

L'ordre d'armement est donné par

La paillette automaintien est

L'ordre de désarmement est donné par

### question 99

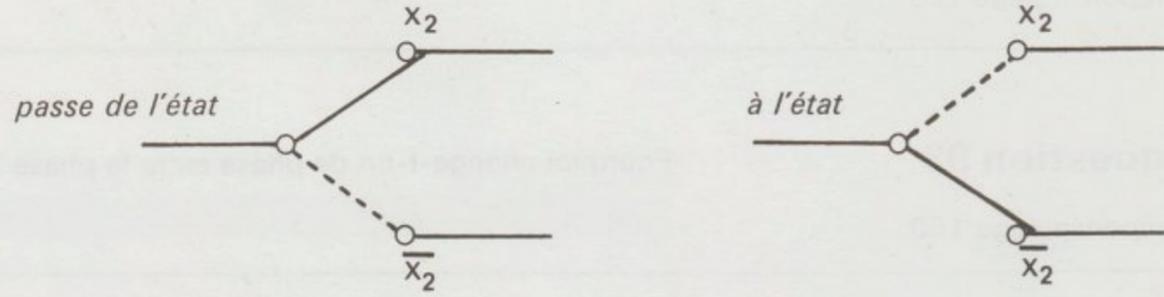
D'après le tableau des phases, vous complétez :

à la phase 7  $x_2 = \square$   $V_1 = \square$

à la phase 8  $\bar{x}_2 = \square$   $F = \square$  donc  $\bar{f}_3 = \square$   $V_1 = \square$

Vous constatez sur le schéma page 150 que pendant le temps où la paillette  $x_2$  change d'état  $V_1 = \square$

change d'état : *c'est-à-dire*



Quelle conséquence cela peut-il avoir sur le fonctionnement de la perceuse ?

réponse page 163

### question 100

schéma et tableau  
page 150

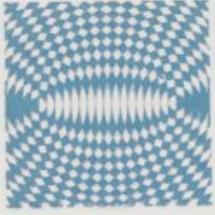
rhodoïd

En posant le rhodoïd sur la page 150 vous suivez simultanément *sur le tableau des phases (graphique) et sur le schéma* le fonctionnement de la perceuse phase par phase.

Vous décrivez chacune des phases en indiquant l'organe qui change d'état.

phase 0	état initial ou état repos ( $A = 1$ , il y a une pièce dans le porte pièce ; $F = 1$ , le porte outil est en position haute)
phase 1	l'opérateur appuie sur <i>le bouton C</i> $C = 1$ $X = 1$
phase 2	<i>Les paillettes x</i> établissent le contact après un temps de réponse correspondant à la phase 1 $x = 1$ $V_1 = 1$
phase 3	
phase 4	
phase 5	
phase 6	
phase 7	
phase 8	
phase 9	
phase 10	
phase 11	
phase 12	
phase 13	

réponse page 164



*Vous utiliserez le tableau des phases pour concevoir un automatisme dans les pages consacrées à la « conception des automatismes ». Le tableau des phases sert essentiellement dans ce but. Il peut vous aider aussi à lire et analyser un schéma établi et acquérir une bonne connaissance du cycle de l'installation, ce qui est important en dépannage.*

**question 101**

La grille organes-séquences utilisée en dépannage permet de retrouver les actionneurs commandés à chacune des séquences (ou chacun des mouvements).

*Vous complétez la grille organes-séquences du poste de vissage de volant en indiquant les valeurs logiques des énoncés D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub> pendant chacune des séquences*

schéma 3

dessin page 105

réponse page 165

organes séquences	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
0 repos		
1 descente de la tête		
2 descente de la tête et rotation des visseuses		
3 remontée de la tête		

### question 102

schéma 3

rhodoïd

Vous suivez à l'aide de ce tableau des phases (graphique), sur le schéma 3 page 106 le déroulement du cycle du poste de vissage de volant phase par phase.

Les énoncés choisis sont :

C : les boutons C sont appuyés

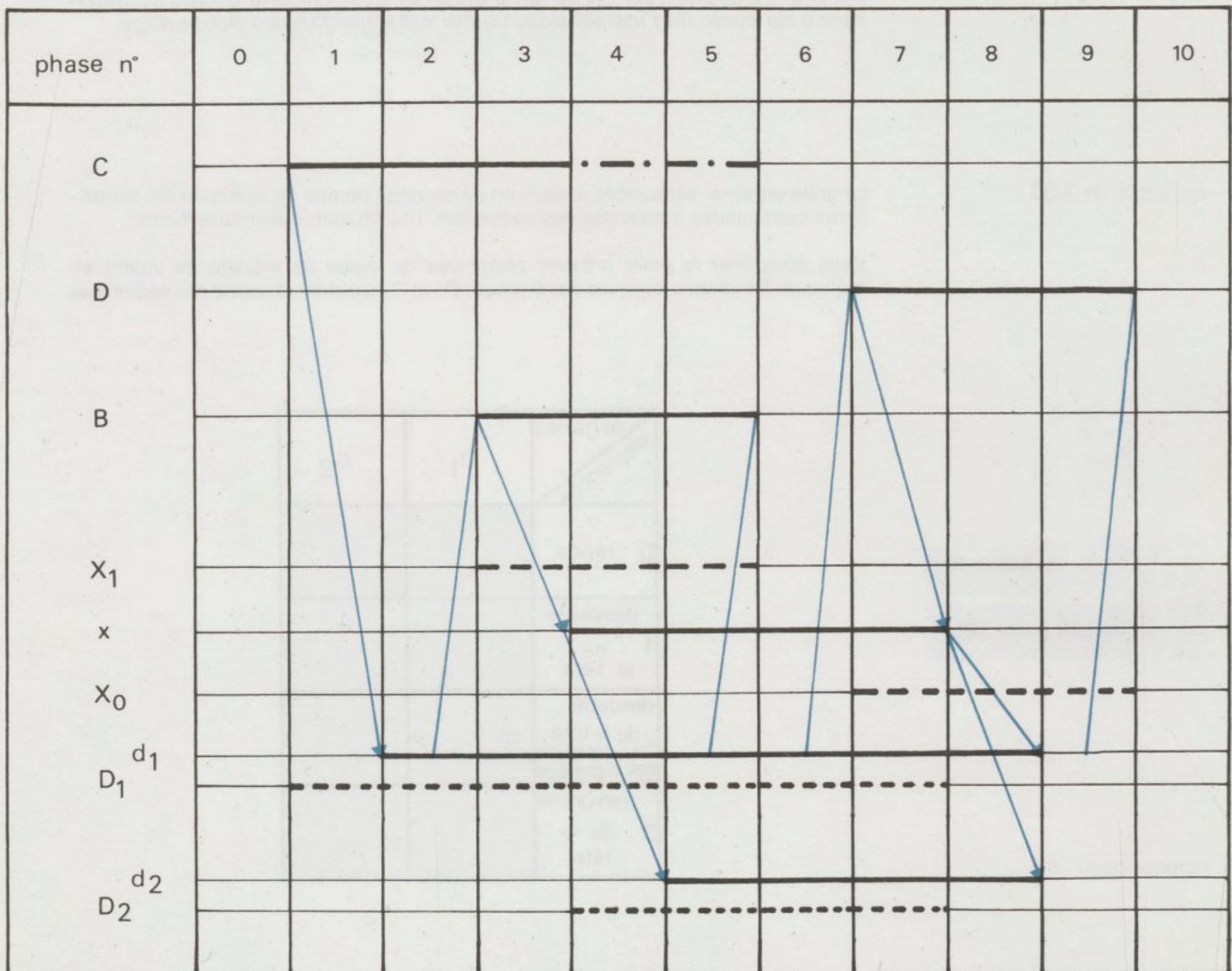
D (B) : le capteur D (B) est actionné

X<sub>1</sub> (X<sub>0</sub>) : le distributeur X est commandé en X<sub>1</sub> (X<sub>0</sub>)

x : le tiroir du distributeur X établit la communication entre ses orifices

D<sub>1</sub> (D<sub>2</sub>) : le distributeur D<sub>1</sub> (D<sub>2</sub>) est commandé.

d<sub>1</sub> (d<sub>2</sub>) : le tiroir du distributeur établit la communication entre ses orifices.



Vous repérez :

- l'organe changeant d'état à chacune des phases
- les temps de réponse que l'on a fait apparaître dans ce tableau.

réponse page 165

question 103

dépannage du poste de vissage

L'opérateur constate que *au moment où il relâche les boutons de commande C (après action sur le capteur B), la tête de vissage remonte.*

Le dépanneur prend connaissance des observations faites par l'opérateur et recueille lui-même visuellement des informations. Il réunit tout ce qui peut lui permettre de connaître l'installation :

dessin page 105

schéma 3

nomenclature page 109

grille page 153

tableau des phases page 154

- schéma d'implantation des appareils
- schéma de commande et de puissance
- nomenclature
- description des séquences page 104 ou grille organes-séquences page 153
- le dépanneur peut utiliser le tableau des phases pour bien connaître le cycle de l'installation à partir du schéma établi (schéma 3).

*La panne se produit pendant le déroulement du cycle, ni le conditionnement d'air (filtrage, huilage), ni la régulation de pression ne sont ici en cause.*

1 D'après la grille organes-séquences, vous indiquez à quelle séquence se produit la panne : séquence

2 Vous en déduisez la panne a lieu :  dans le circuit puissance  dans le circuit commande

3 D'après le schéma 3, vous écrivez les équations du distributeur D1  du distributeur D2

4 Vous en déduisez : les organes à mettre en cause. les vérifications à faire sur ces organes

réponse page 166

## réponse 85

### 1 énoncés binaires

m : le bouton m est appuyé  
 ar : le bouton arrêt ar est appuyé  
 T : le relais T est alimenté  
 t<sub>1</sub> : la paillette t<sub>1</sub> établit le contact entre ses bornes  
 t<sub>2</sub> : la paillette t<sub>2</sub> établit le contact entre ses bornes.

### 2 description de chaque phase

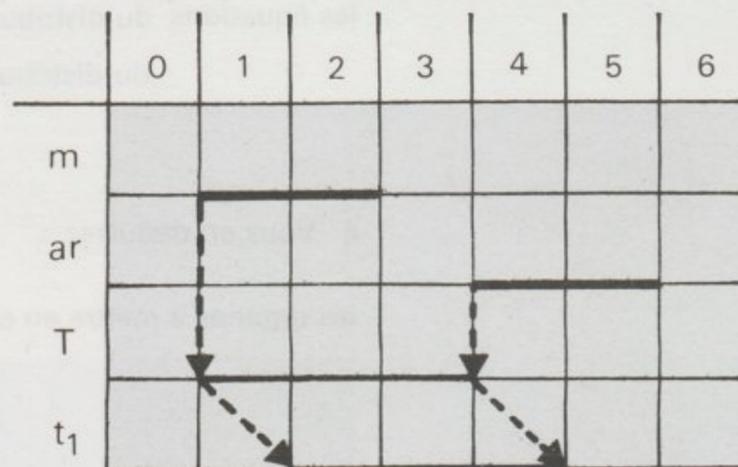
phase 0	m = 0	ar = 0	T = 0	t <sub>1</sub> = 0
phase 1	l'opérateur appuie sur le bouton m, m = 1 ar = 0 T = 1 t <sub>1</sub> = 0 même remarque que au § 8.72 : voir notion temps de réponse cahier 2 page 35.			
phase 2	m = 1	ar = 0	T = 1	t <sub>1</sub> = 1
phase 3	l'opérateur cesse d'appuyer sur le bouton m. m = 0 ar = 0 T = 1 t <sub>1</sub> = 1 (t <sub>2</sub> = 1, l'ensemble du circuit de commande de la perceuse est sous tension).			
phase 4	quand l'opérateur désire que la perceuse ne soit plus sous tension, il appuie sur le bouton d'arrêt ar. ar = 1 ou $\bar{ar} = 0$ : la paillette $\bar{ar}$ établit le contact est FAUX m = 0 ar = 1 T = 0 t <sub>1</sub> = 1			
phase 5	m = 0 ar = 1 T = 0 t <sub>1</sub> = 0 (t <sub>2</sub> = 0, la perceuse n'est plus sous tension. Le temps, très court, écoulé entre le moment où l'ordre ar a été envoyé est également dû au temps de réponse de la paillette)			
phase 6	m = 0	ar = 0	T = 0	t <sub>1</sub> = 0 retour à l'état repos.

## réponse 86

tableau des phases (logique)

	m	ar	T	t <sub>1</sub>
phase 0	0	0	0	0
phase 1	1	0	1	0
phase 2	1	0	1	1
phase 3	0	0	1	1
phase 4	0	1	0	1
phase 5	0	1	0	0
phase 6	0	0	0	0

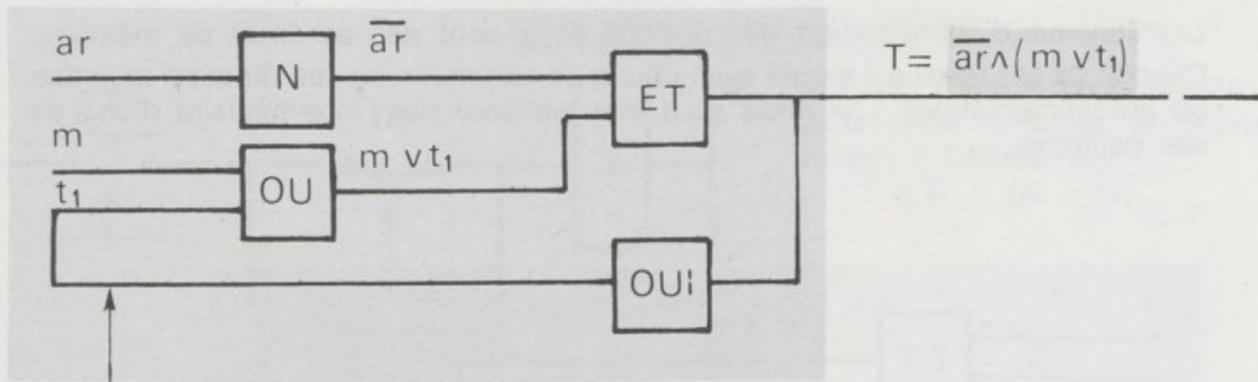
tableau des phases (graphique)



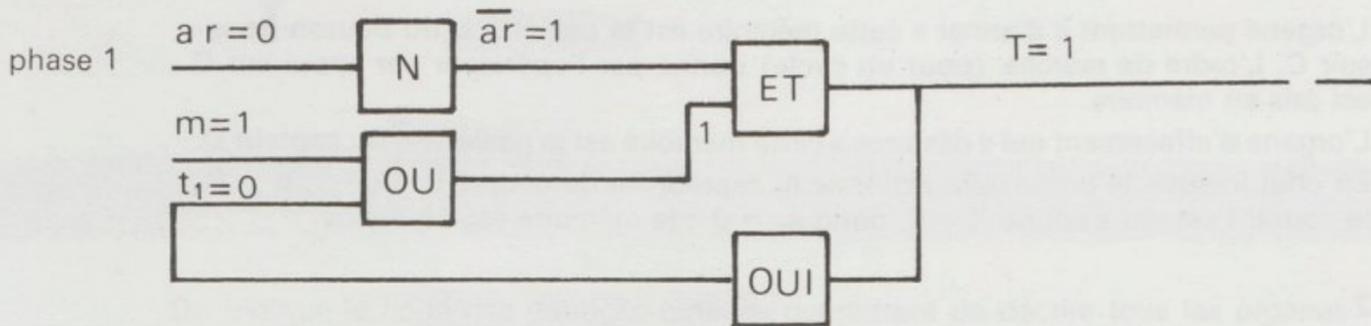
Les temps de réponse sont mis en évidence par les flèches obliques.

La perceuse est un *automatisme séquentiel* (définition dans le cahier 2 § 81 page 33). Le fonctionnement du système de mise sous tension est décrit entièrement par l'un ou l'autre de ces *tableaux de phases* où la *notion d'ordre des opérations* intervient.

(Nous avons décrit les systèmes ayant des entrées indépendantes les unes des autres par une table de vérité décrivant tous les cas possibles logiquement).

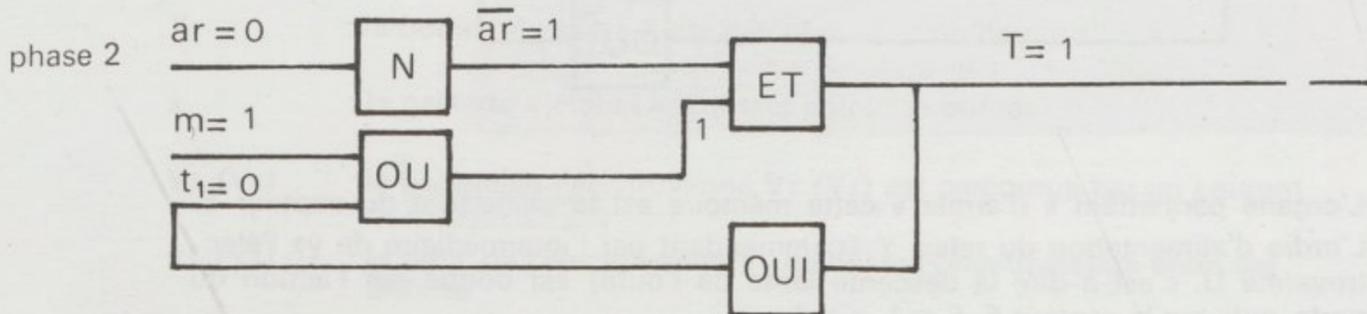


bouclage : l'information T est ramenée en entrée ce qui constitue le circuit mémoire. Le schéma d'alimentation du relais T est le schéma d'une mémoire électromécanique.

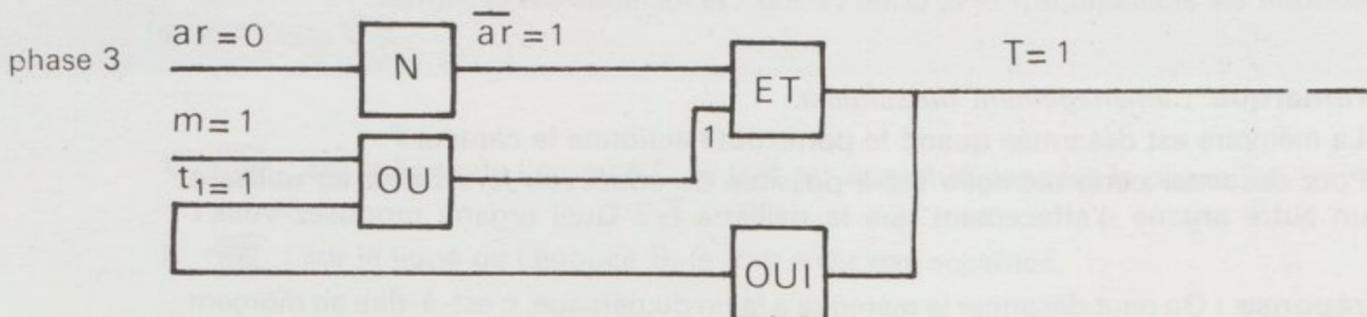


Il y a un opérateur OUI entre  $t_1$  et T, pourtant nous avons  $T = 1, t_1 = 0$ ; nous savons que cela est dû au temps de réponse de la paillette  $t_1$ , mis en évidence sur le tableau des phases (graphique) par la flèche oblique.

Pendant cette phase  $m = 1$ , le relais T est alimenté par le circuit appelé (ou excitation)



Pendant la phase 2,  $m = 1, t_1 = 1$ ; le relais T est alimenté par le circuit d'appel et par le circuit automaintien. En effet pour être certain que l'ordre soit pris en mémoire, le bouton m doit être appuyé pendant un temps supérieur au temps de réponse.

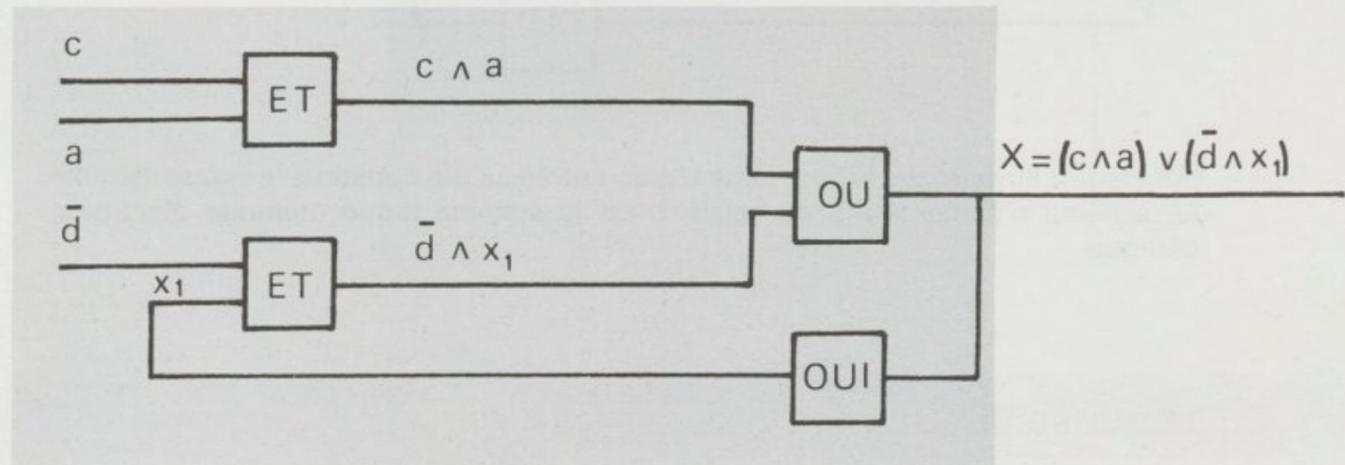


Pendant la phase 3,  $m = 0, t_1 = 1$ ; le relais est alimenté par le circuit automaintien et continue d'attirer la paillette  $t_1$ .

L'ordre m de mise sous tension de l'installation a été pris en mémoire.

Les schémas d'alimentation des relais X et Y sont des schémas de mémoire. Chacun de ces relais est monté avec un circuit automaintien (on dit aussi maintien ou autoalimentation) : le relais peut être alimenté par l'intermédiaire d'une de ses paillettes.

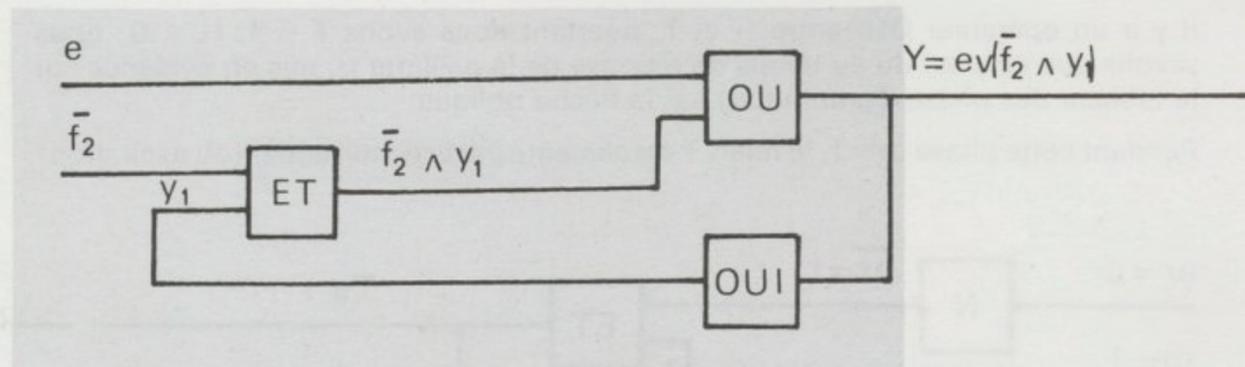
1



L'organe permettant « d'armer » cette mémoire est la paillette c du bouton poussoir C. L'ordre de marche (pour un cycle) donné par l'opérateur par appui sur C est pris en mémoire.

L'organe d'effacement qui « désarme » cette mémoire est la paillette  $\bar{d}$  du capteur D. En effet lorsque le porte-outil actionne le capteur fin de course D,  $D = 1$ ,  $\bar{d} = 0$ , le courant est alors coupé  $X = 0$ , donc  $x_1 = 0$  : la mémoire est désarmée.

2



L'organe permettant « d'armer » cette mémoire est la paillette e du capteur E. L'ordre d'alimentation du relais Y (commandant par l'intermédiaire de  $y_2$  l'électrovanne U, c'est-à-dire la descente lente de l'outil) est donné par l'action du porte-outil sur le capteur E,  $E = 1$ ,  $e = 1$ .

Pour que la prise en mémoire de cet ordre se fasse réellement, l'action du porte-outil sur le capteur E est plus longue que le temps de réponse de la paillette  $y_1$ .

L'organe d'effacement qui « désarme » cette mémoire est la paillette  $\bar{f}_2$  du capteur F. En effet lorsque le porte-outil actionne le capteur fin de course F,  $F = 1$ ,  $\bar{f}_2 = 0$ ; le courant est alors coupé,  $Y = 0$ , donc  $y_2 = 0$  : la mémoire est désarmée.

**remarque** : aménagement du schéma.

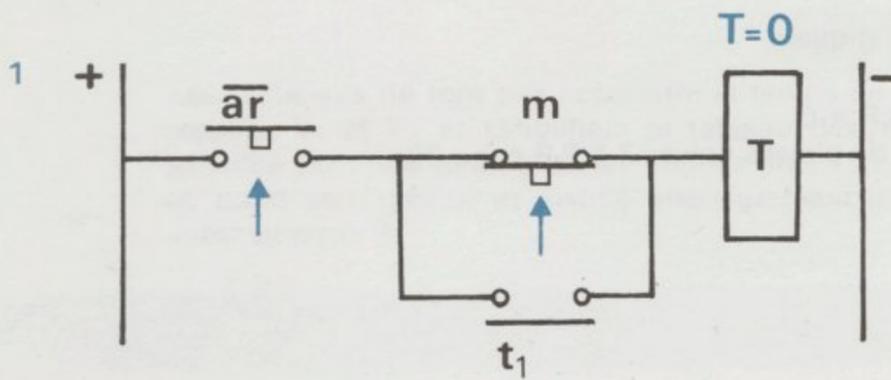
La mémoire est désarmée quand le porte-outil actionne le capteur F.

Pour désarmer cette mémoire est-il possible de concevoir le schéma en utilisant un autre organe d'effacement que la paillette  $\bar{f}_2$ ? Quel organe proposez-vous?

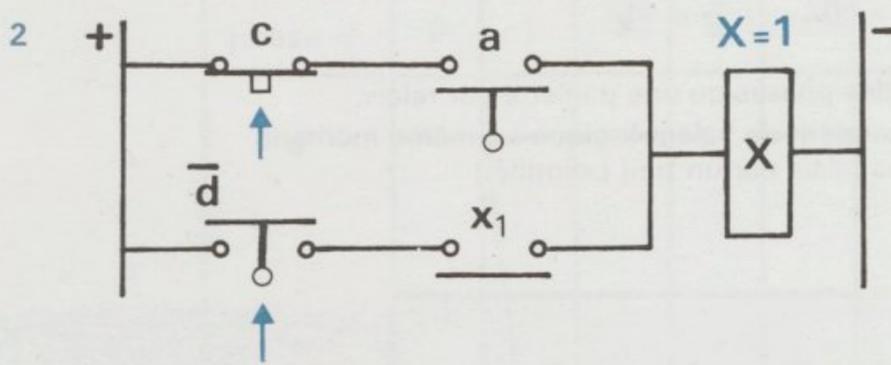
**réponse** : On peut désarmer la mémoire à la fin du perçage, c'est-à-dire au moment où le porte-outil actionne le capteur D (le rôle du relais Y et de la paillette  $y_2$  étant de commander l'électrovanne U, c'est-à-dire la descente lente); on pourrait donc remplacer l'organe d'effacement  $\bar{f}_2$  par une paillette  $\bar{d}$ .

réponse 90

question  
page 149



Le relais T est alimenté est FAUX  
Dans cette mémoire, la priorité est  
donnée à l'effacement.  
 $T = \bar{ar} \wedge (m \vee t_1)$



Le relais X est alimenté est VRAI  
Dans cette mémoire, la priorité est  
donnée à l'inscription.  
 $X = (c \wedge a) \vee (\bar{d} \wedge x_1)$

réponse 91

question  
page 151

On indique le code des énoncés binaires permettant de décrire tous les organes du système.

Les énoncés choisis sont :

- C : le bouton C est appuyé
- A (B, D, F) : le capteur A est actionné
- X : la bobine du relais X est parcourue par un courant
- x : la paillette x établit le contact entre ses bornes
- V<sub>1</sub> (V<sub>2</sub>) : la bobine de l'électrovanne V<sub>1</sub> (V<sub>2</sub>) est parcourue par un courant
- v<sub>1</sub> (v<sub>2</sub>) : le tiroir de l'électrovanne V<sub>1</sub> établit la communication entre ses orifices

Le numéro des phases est indiqué dans le haut du tableau (dans ce cas elles sont numérotées de 0 à 13, on aurait pu les numéroté de 1 à 14). Chaque colonne correspond à une phase.

réponse 92

question  
page 151

C = 1 : sur la ligne de l'énoncé C, le trait est accentué pendant la phase 2.

B = 0 : sur la ligne de l'énoncé B, le trait n'est pas accentué.

(voir présentation du tableau, cahier 2 § 8.31 page 33).

### réponse 93

L'énoncé F change de valeur logique,

à la phase 5,  $F = 1$ , à la phase 6,  $F = 0$   
(Voir définition du changement de phases cahier 2 § 8.3 page 33)

### réponse 94

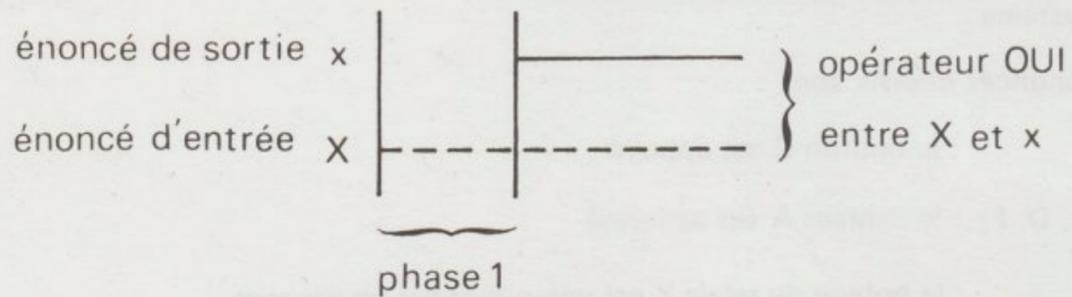
$$x_1 = 0 \quad x_2 = 0 \quad x_3 = 0 \quad \bar{x}_2 = 1$$

On ne fait figurer sur le tableau des phases qu'une paillette par relais.  
On suppose que les paillettes changent de valeur logique au même moment.  
(On représente la commande des relais par un trait pointillé.)

### réponse 95

A cause de son temps de réponse, c'est-à-dire du temps que la paillette met à venir établir le contact entre ses bornes.

Le temps de réponse entre  $x$  et  $X$  est mis en évidence sur le tableau des phases

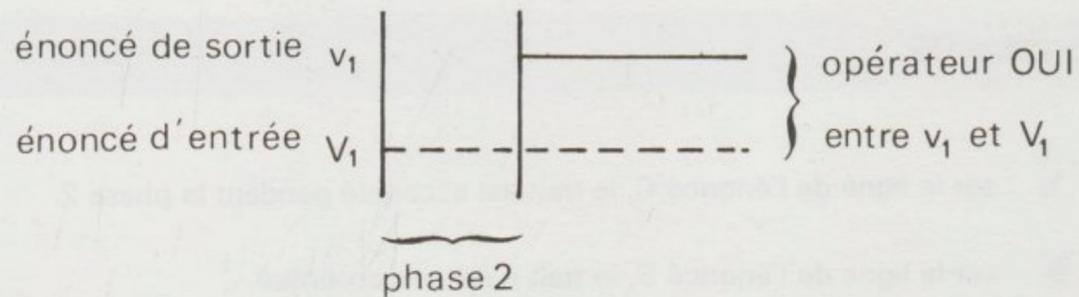


La phase 1 correspond au temps de réponse de la paillette

De même qu'il existe une relation d'opérateur OUI entre  
 $X$  : la bobine du relais  $X$  est parcourue par un courant  
et  $x$  : la paillette  $x$  établit le contact entre ses bornes,  
il existe une relation d'opérateur OUI entre

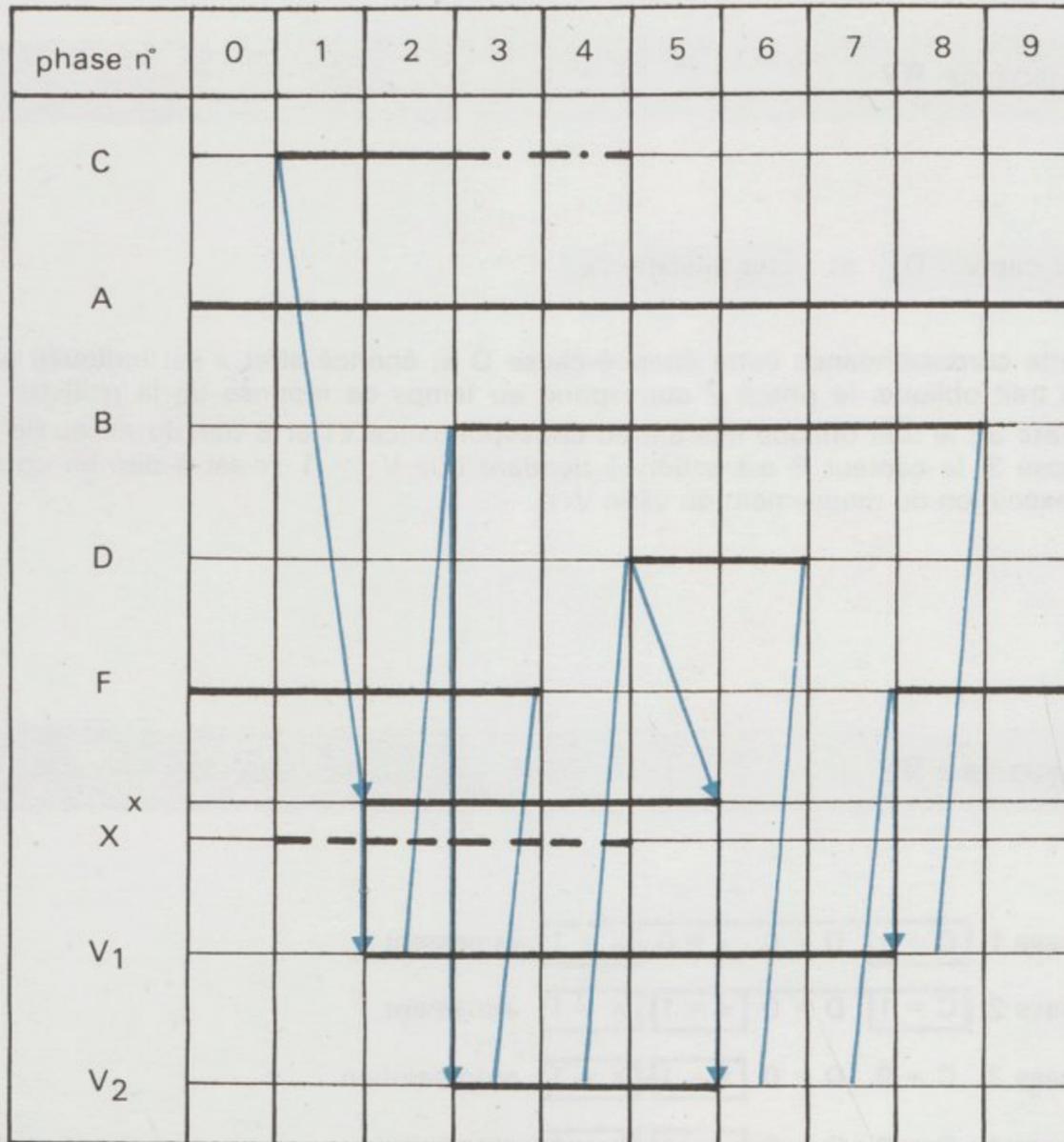
$V_1$  : la bobine de l'électrovanne  $V_1$  est parcourue par un courant  
et  $v_1$  : le tiroir établit la communication entre ses orifices.

Le temps de réponse de l'électrovanne est aussi mis en évidence :



La phase 2 correspond au temps de réponse du tiroir.

Les praticiens ne font pas apparaître le temps de réponse des actionneurs commandés  $V_1$  et  $V_2$  et simplifient le tableau des phases. Cette simplification n'est possible sans trop de risques techniques qu'en sortie de l'unité d'automatisation : ce point sera précisé et justifié ultérieurement dans la partie « conception des automatismes ».



Vous comparez ce tableau et celui de la page 150 : Les énoncés  $v_1$  et  $v_2$  n'apparaissent plus, mais l'énoncé  $x$  apparaît toujours : les paillettes  $x$  font partie de l'unité d'automatisation.

## réponse 96

Non, l'opérateur doit appuyer sur C pendant un temps supérieur au temps de réponse de x (voir cahier 2 § notion de temps de réponse page 35). Après la phase 2, l'opérateur peut appuyer ou ne pas appuyer sur le bouton C, cela ne change pas l'enchaînement des phases : le trait de la ligne de l'énoncé C est discontinu, cela indique que l'état de C est indifférent.

## réponse 97

le capteur D et les paillettes x

Cette correspondance entre énoncé-cause D et énoncé-effet x est indiquée par un trait oblique, la phase 7 correspond au temps de réponse de la paillette x.  
Phase 3 : le trait oblique mettant en correspondance V<sub>1</sub> et B part du milieu de la phase 3, le capteur B est actionné pendant que V<sub>1</sub> = 1 (c'est-à-dire en cours d'exécution du mouvement du vérin V<sub>1</sub>),

## réponse 98

phase 1  $C = 1$   $D = 0$   $x = 0$   $X = 1$  armement  
 phase 2  $C = 1$   $D = 0$   $x = 1$   $X = 1$  armement  
 phase 3  $C = 0$   $D = 0$   $x = 1$   $X = 1$  automaintien  
 phase 4  $C = 0$   $D = 0$   $x = 1$   $X = 1$  automaintien  
 phase 5  $C = 0$   $D = 1$   $x = 1$   $X = 0$  désarmement  
 phase 6  $C = 0$   $D = 1$   $x = 0$   $X = 0$  automaintien

l'ordre d'armement de la mémoire est donné par C

la paillette automaintien est x1

l'ordre de désarmement est donné par D

On lit sur le tableau des phases page 150

à la phase 7  $x_2 = 1$   $V_1 = 1$

à la phase 8  $\bar{x}_2 = 1$   $F = 0$  donc  $\bar{f}_3 = 1$   $V_1 = 1$

Pendant le temps où la paillette  $x_2$  change d'état  $V_1 = 0$ , en effet la bobine de l'électrovanne  $V_1$  n'est alimentée ni par la ligne supérieure des paillettes ni par la ligne inférieure.

Conséquence possible

la tige du vérin  $V_1$  marque un à coup qui peut endommager le matériel

puisque au moment où  $V_1 = 0$ , tige du vérin  $V_1$  commence à rentrer, puis ressort quand  $V_1 = 1$ .

En fait dans cette perceuse, cela ne se produit pas, car le *temps de réponse de l'électrovanne* (temps de déplacement du tiroir et de mise sous pression des conduites d'air comprimé entre le vérin et l'électrovanne) est supérieur au temps de battement de la paillette  $x_2$ .

D'une manière générale, il est préférable d'éviter ce montage qui peut donner lieu à un cas de panne intermittent (un autre schéma d'automatisme vous sera proposé en fin de la partie « conception des automatismes »).

phase 0	état initial ou état repos. A = 1 il y a une pièce dans le porte-pièce, F = 1 le porte-outil est en position haute
phase 1	l'opérateur appuie sur <i>le bouton C</i> C = 1    X = 1
phase 2	<i>les paillettes x</i> établissent le contact après un temps de réponse correspondant à la phase 1    x = 1    V <sub>1</sub> = 1
phase 3	<i>le tiroir</i> de l'électrovanne V <sub>1</sub> établit la communication entre ses orifices après un temps de réponse correspondant à la phase 2 v <sub>1</sub> = 1
phase 4	<i>le capteur B</i> est actionné    B = 1    V <sub>2</sub> = 1
phase 5	<i>le tiroir de l'électrovanne V<sub>2</sub></i> v <sub>2</sub> = 1
phase 6	<i>le capteur F</i> n'est plus actionné    F = 0
phase 7	<i>le capteur D</i> est actionné    D = 1    X = 0
phase 8	<i>les paillettes x</i> x = 0    V <sub>2</sub> = 0
phase 9	<i>le tiroir de l'électrovanne V<sub>2</sub></i> v <sub>2</sub> = 0
phase 10	<i>le capteur D</i> D = 0
phase 11	<i>le capteur F</i> F = 1    V <sub>1</sub> = 0
phase 12	<i>le tiroir de l'électrovanne V<sub>1</sub></i> v <sub>1</sub> = 0
phase 13	<i>le capteur B</i> on retrouve l'état initial.    B = 0

Tout le fonctionnement est décrit sur le tableau des phases :  
une flèche indique l'origine de la commande de chaque actionneur ;  
une autre flèche l'origine de l'arrêt de la commande.

En comparant cette description du fonctionnement et la maquette de la perceuse, vous remarquerez que, en cours de cycle,  
- si le capteur A n'est plus actionné A = 0 (la pièce s'est déplacée par exemple et n'actionne plus A), l'opération de perçage continue  
- si le capteur B se trouve actionné alors que le porte pièce n'est pas sous l'outil, la descente de l'outil s'effectue.

Ceci montre le besoin d'une analyse plus approfondie qui vous est proposée dans la partie « conception des automatismes »

organes séquences	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
0 repos	0	0
1 descente de la tête	1	0
2 descente de la tête et rotation des visseuses	1	1
3 remontée de la tête	0	0

**Déroulement du cycle phase par phase :** (l'énoncé de l'organe changeant d'état est indiqué en bleu)

phase 0 l'installation est à l'état repos.

phase 1 l'opérateur appuie sur le bouton C ; C = 1 , D<sub>1</sub> = 1, d<sub>1</sub> = 0

phase 2 D<sub>1</sub> = 1, d<sub>1</sub> = 1 .La phase 1 correspond au temps de réponse du tiroir du distributeur D<sub>1</sub> (voir réponse page 160).

*d<sub>1</sub> = 1 : la tête de vissage descend*

phase 3 B = 1 , X<sub>1</sub> = 1, x = 0.

phase 4 X<sub>1</sub> = 1, x = 1 .La phase 3 correspond au temps de réponse du tiroir du distributeur X

D<sub>2</sub> = 1, d<sub>2</sub> = 0

phase 5 D<sub>2</sub> = 1, d<sub>2</sub> = 1 .La phase 4 correspond au temps de réponse du tiroir du distributeur D<sub>1</sub>

*d<sub>2</sub> = 1 : les visseuses entrent en rotation*

phase 6 B = 0 , X = 0, x = 1 : le distributeur X est un distributeur à mémoire mécanique, l'information donnée par la commande en X<sub>1</sub> est gardée après la disparition du signal de commande en X<sub>1</sub>.

phase 7 D = 1 , X<sub>0</sub> = 1, x = 1

phase 8 X<sub>0</sub> = 1, x = 0 .La phase 7 correspond au temps de réponse du tiroir du distributeur X.

D<sub>1</sub> = 0, d<sub>1</sub> = 1 et D<sub>2</sub> = 0, d<sub>2</sub> = 1

phase 9 D<sub>1</sub> = 0, d<sub>1</sub> = 0 et D<sub>2</sub> = 0, d<sub>2</sub> = 0 .La phase 8 correspond aux temps de réponse des tiroirs des distributeurs D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub>.

*d<sub>1</sub> = 0, d<sub>2</sub> = 0 : la tête de vissage remonte et la rotation des visseuses s'arrête.*

phase 10 D = 0 , X<sub>0</sub> = 0. Retour à l'état initial, état repos.

1 Séquence 2 :

*On devrait avoir* : après action sur le capteur B, quand l'opérateur lâche C, la tête continue à descendre et les visseuses sont en rotation.

*On a* : la tête remonte.

2 La séquence 1 s'est déroulée normalement : dans cette panne le circuit puissance n'est pas en cause.

On cherche l'origine de la panne dans le circuit commande

3  $D_1 = C \vee x$        $D_2 = x.$

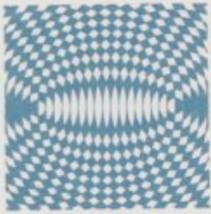
4 Avant de procéder au démontage d'un organe, le dépanneur étudie les origines possibles de la panne (tableau).

Il détermine l'ordre de contrôle des organes en tenant compte des critères utilisés dans les fiches d'apprentissage de l'émission 5.

organes à mettre en cause :

vérifications à faire sur ces organes :

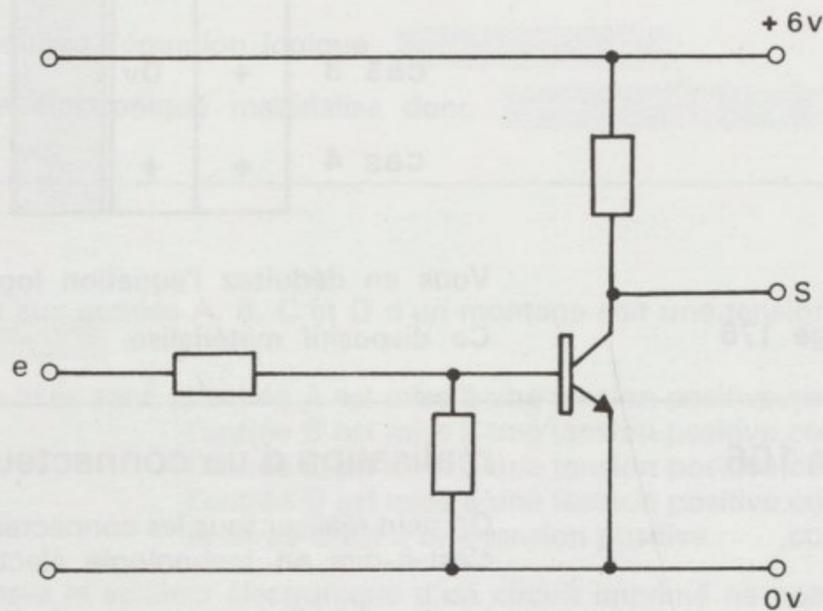
1 <sup>er</sup> capteur B	État du galet, de la came.
2 <sup>e</sup> capteur D, bouton A	Ressort de ces distributeurs : si le ressort de A ou D est cassé. X est commandé en $X_0$ ; nous avons un $x = 1$ si $X_1 = 1$ et $X_0 = 1$ , $x = 0$ .
3 <sup>e</sup> distributeur X	Tiroir qui peut être grippé. État des joints en caoutchouc : l'air arrive en $X_1$ , mais si le point n'est pas étanche, l'air s'échappe du côté commande.



Les questions des fiches d'évaluation portent sur la réalisation des connecteurs logiques par les composants électroniques et sur quelques circuits électroniques simples.

question 104

transistors



1 Quelles sont les 2 tensions électriques applicables à l'entrée de ce transistor ?

\_\_\_\_\_

2 Quelles sont les 2 tensions que vous pouvez alors respectivement mesurer en sortie ?

\_\_\_\_\_

3 Vous fixez les énoncés binaires pour décrire l'entrée et la sortie :

entrée : \_\_\_\_\_ code

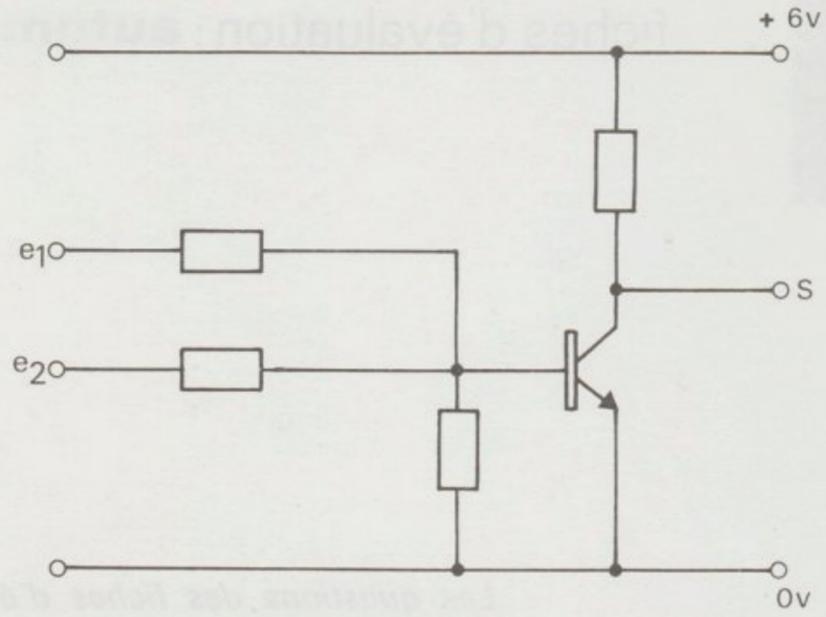
sortie : \_\_\_\_\_ code

4 Quelle est l'équation logique de ce dispositif? \_\_\_\_\_

Quel est donc l'opérateur ainsi matérialisé? \_\_\_\_\_

réponse page 175

question 105



Vous complétez la **table des tensions** de ce dispositif :

Puis en utilisant les énoncés fixés à la question 104, vous complétez la **table de vérité** :

	e <sub>2</sub>	e <sub>1</sub>	S
cas 1	0v	0v	
cas 2	0v	+	
cas 3	+	0v	
cas 4	+	+	

	e <sub>2</sub>	e <sub>1</sub>	S
cas 1	0	0	
cas 2	0	1	
cas 3	1	0	
cas 4	1	1	

Vous en déduisez l'équation logique de S

S =

réponse page 175

Ce dispositif matérialise

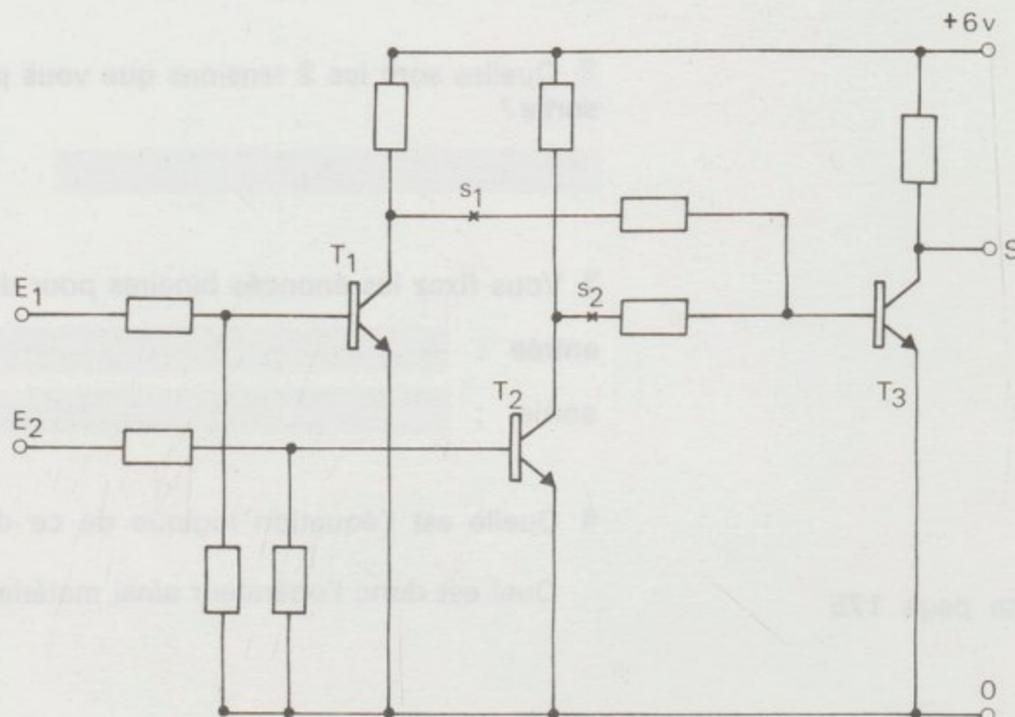
question 106

réalisation d'un connecteur logique avec des transistors :

On peut réaliser tous les connecteurs OUI, NON, ET, OU avec des connecteurs NI, c'est-à-dire en technologie électronique avec des transistors

les énoncés fixés sont : l'entrée E<sub>1</sub> est mise à une tension positive : E<sub>1</sub>  
 l'entrée E<sub>2</sub> est mise à une tension positive : E<sub>2</sub>  
 la sortie S est à une tension positive : S

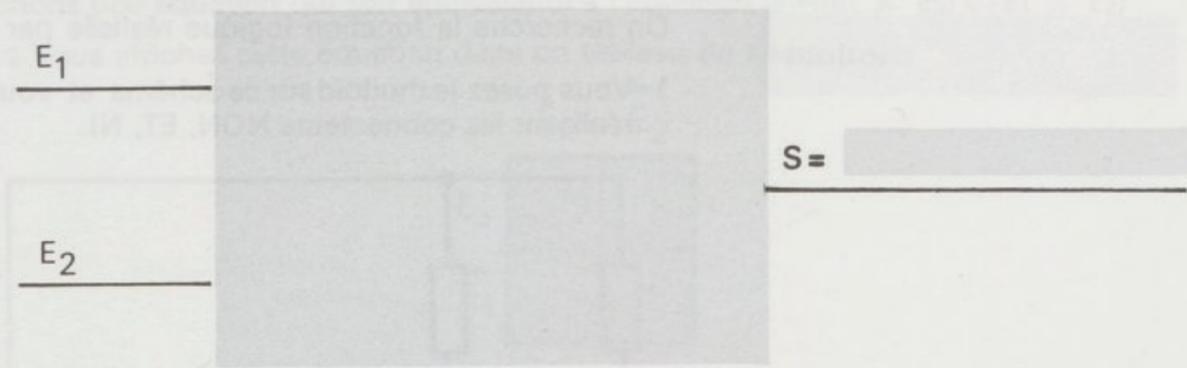
1 Sur le schéma électronique suivant, vous retrouvez les connecteurs vus aux questions 104 et 105.



réponse page 176

**question 106 (suite)**

2 Vous tracez le schéma logique correspondant au schéma électronique



3 D'après le schéma électronique, vous pouvez compléter :  
la table des tensions

	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	S
cas 1	0v	0v	
cas 2	0v	+	
cas 3	+	0v	
cas 4	+	+	

donc la table de vérité

	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	S
cas 1	0	0	
cas 2	0	1	
cas 3	1	0	
cas 4	1	1	

Vous en déduisez l'équation logique

réponse page 176

Ce montage électronique matérialise donc

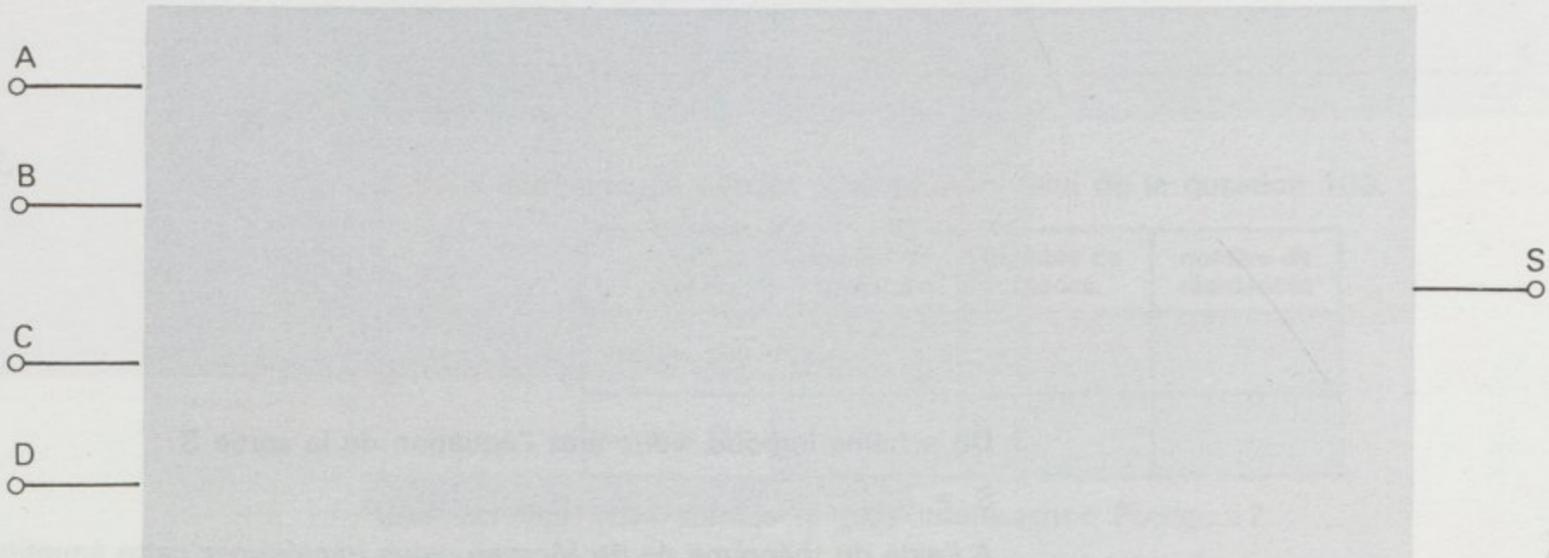
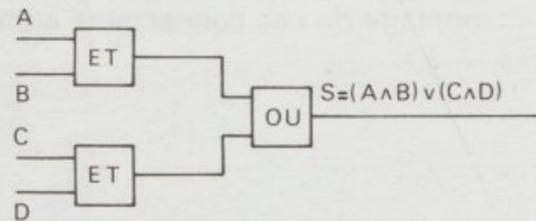
**question 107**

**diodes**

On applique aux entrées A, B, C et D d'un montage soit une tension 0, soit une tension +

- Les énoncés fixés sont :
- l'entrée A est mise à une tension positive, code A
- l'entrée B est mise à une tension positive, code B
- l'entrée C est mise à une tension positive, code C
- l'entrée D est mise à une tension positive, code D
- la sortie S est à une tension positive ,code S

Vous établissez le schéma électronique d'un circuit imprimé ne comportant que des diodes et dont le schéma logique est le suivant :



réponse page 177

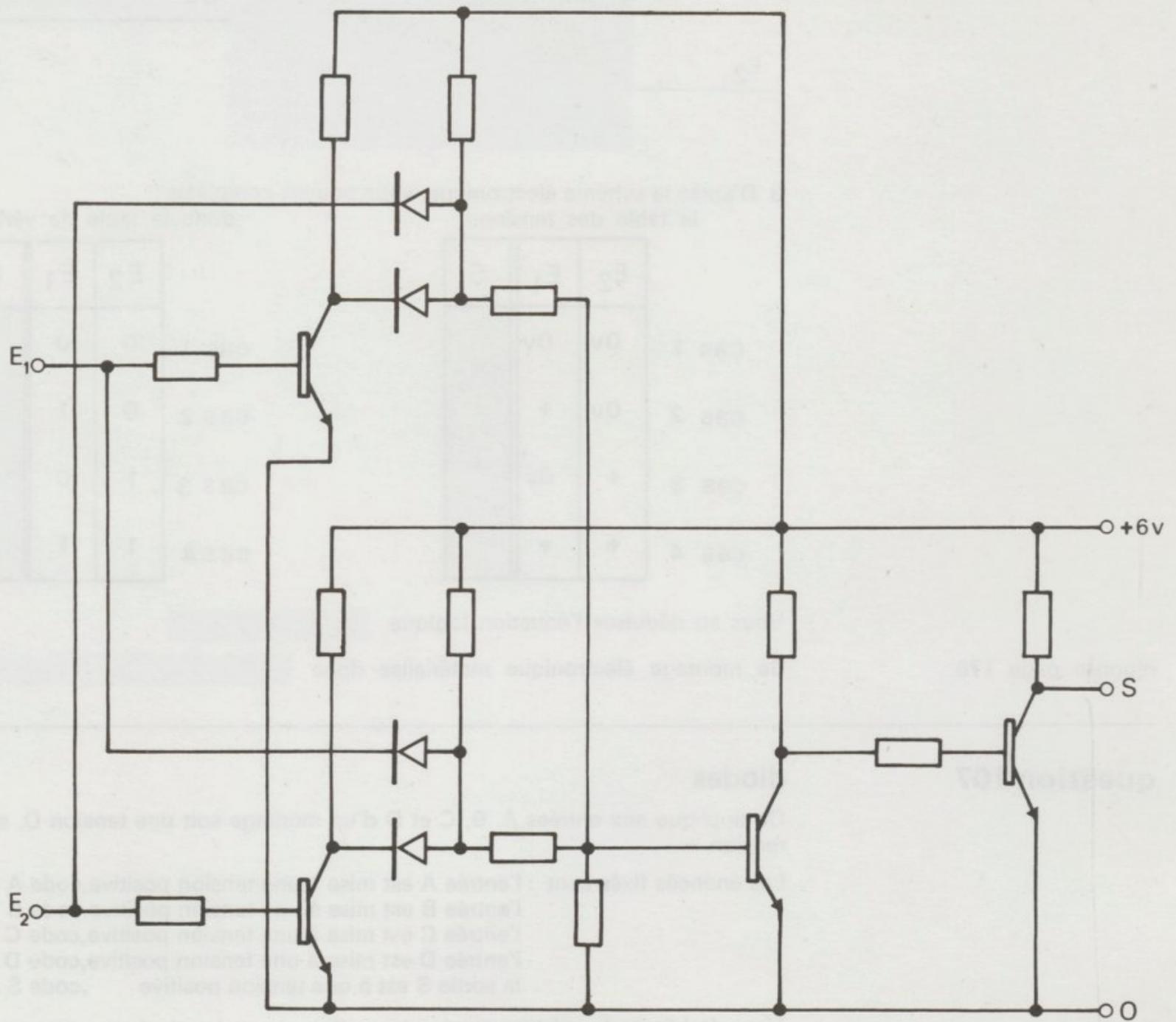
question 108

schéma à diodes et transistors

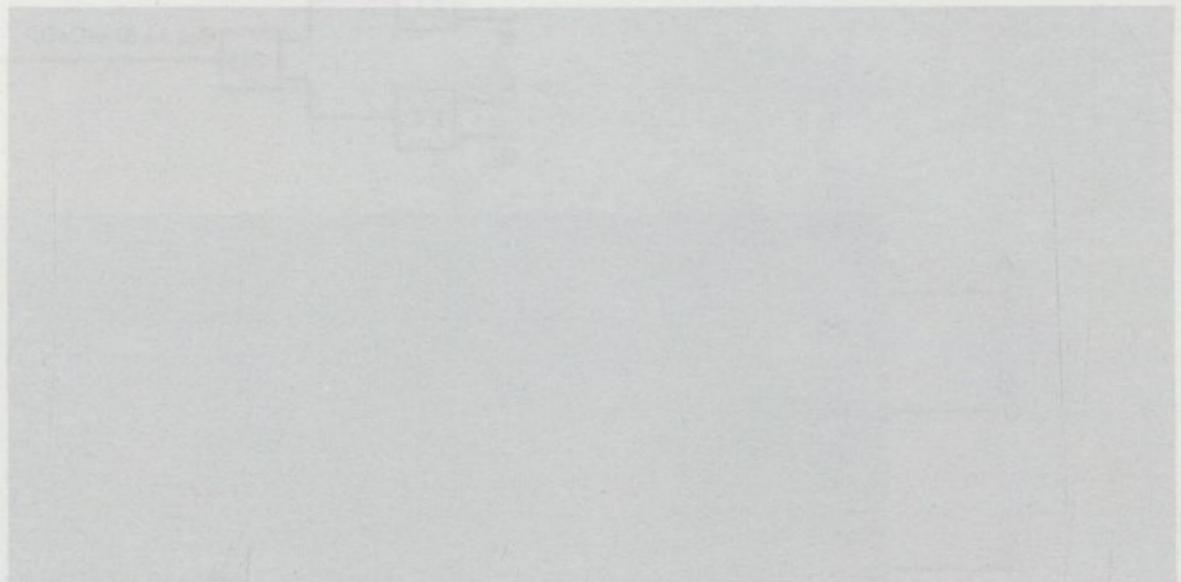
rhodoïd

On recherche la fonction logique réalisée par ce montage :

- 1 Vous posez le rhodoïd sur ce schéma et vous entourez chacun des ensembles réalisant les connecteurs NON, ET, NI.



- 2 Après avoir repéré les différents connecteurs matérialisés, vous observez le montage de ces connecteurs entre eux pour tracer le schéma logique :



- 3 Du schéma logique, vous tirez l'équation de la sortie S :

S = \_\_\_\_\_

A l'aide du théorème de de Morgan, vous transformez cette équation :

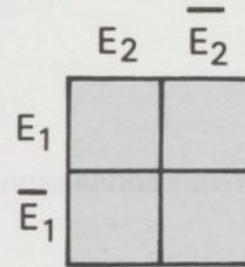
S = \_\_\_\_\_

réponse page 178

### question 109

Pour obtenir un schéma équivalent (\*) au schéma de la question 108, nous cherchons une équation qui soit équivalente à l'équation  $S = (E_1 \wedge \bar{E}_2) \vee (\bar{E}_1 \wedge E_2)$

1 Vous affichez cette équation dans un tableau de Karnaugh :



2 En écrivant les expressions correspondant aux cases 0 du tableau de Karnaugh, vous obtenez l'équation

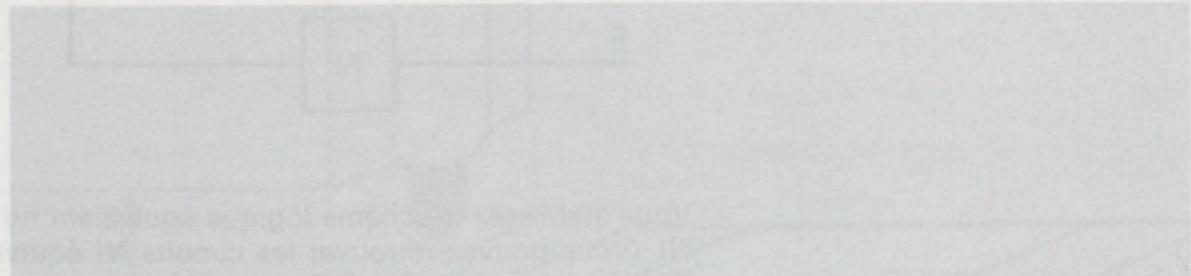
S = \_\_\_\_\_  $\vee$  \_\_\_\_\_

réponse page 179

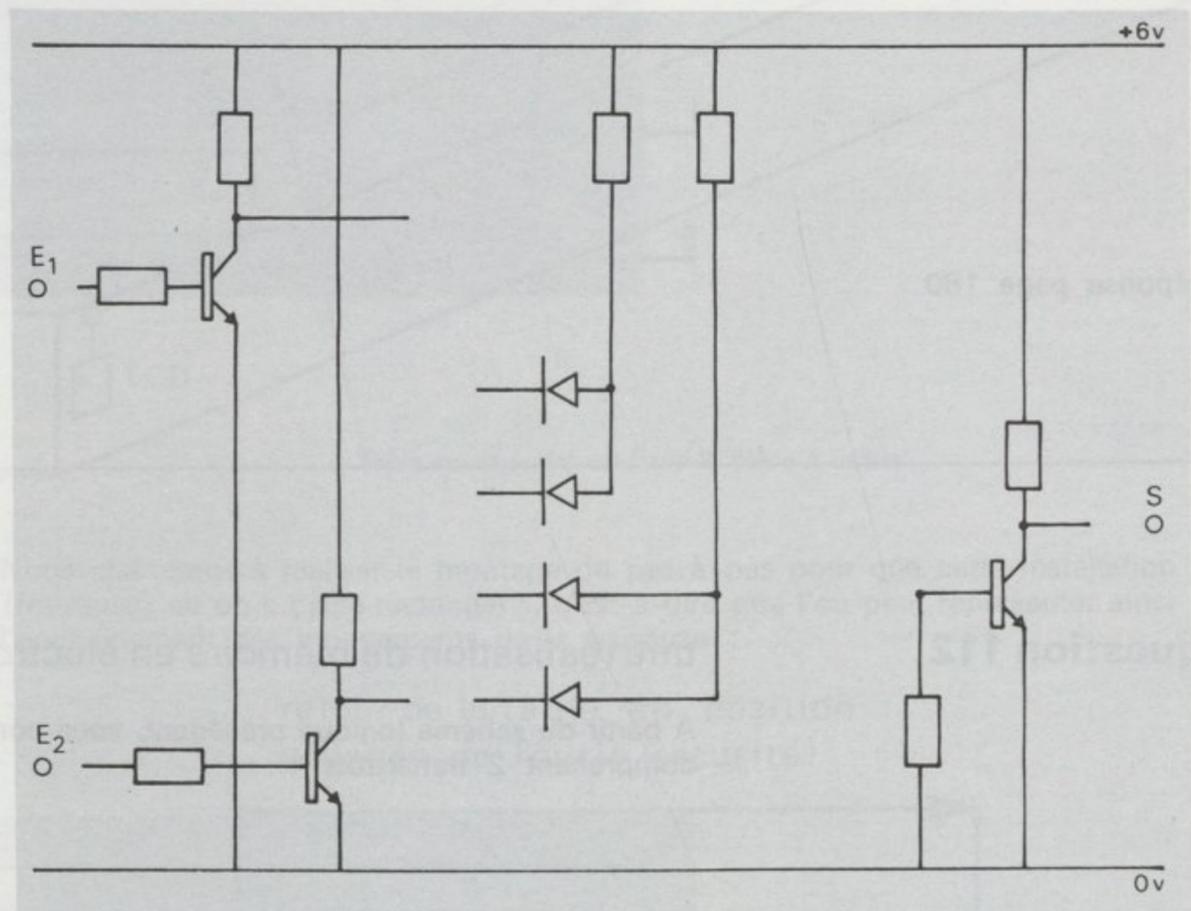
### question 110

schéma équivalent

1 Vous dessinez le schéma logique de  $S = \overline{(E_1 \wedge E_2)} \vee \overline{(\bar{E}_1 \wedge \bar{E}_2)}$



2 Puis vous complétez le schéma suivant pour obtenir un montage, comprenant le moins d'éléments possible, de sortie  $S = \overline{(E_1 \wedge E_2)} \vee \overline{(\bar{E}_1 \wedge \bar{E}_2)}$



3 Vous comparez ce dernier schéma avec celui de la question 108.

	nombre de transistors	nombre de diodes	nombre de résistances
schéma 108			
schéma 110			

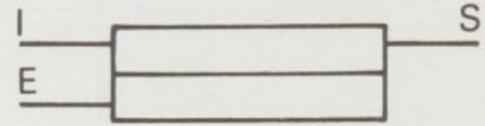
Quel schéma vous semble le plus intéressant? Pourquoi?

\*C'est-à-dire que pour les mêmes valeurs logiques des énoncés d'entrées, on a les mêmes valeurs logiques des énoncés de sortie.

réponse page 179

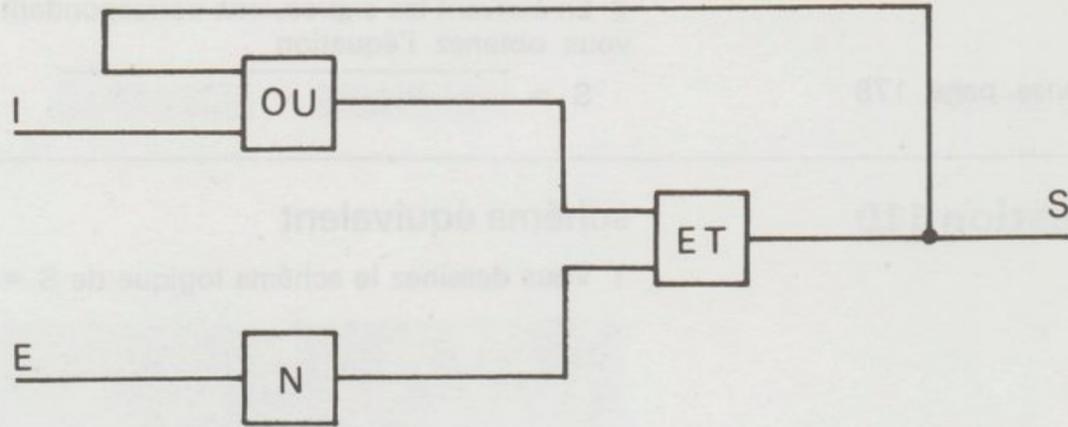
**question 111**

**schémas logiques d'une mémoire**

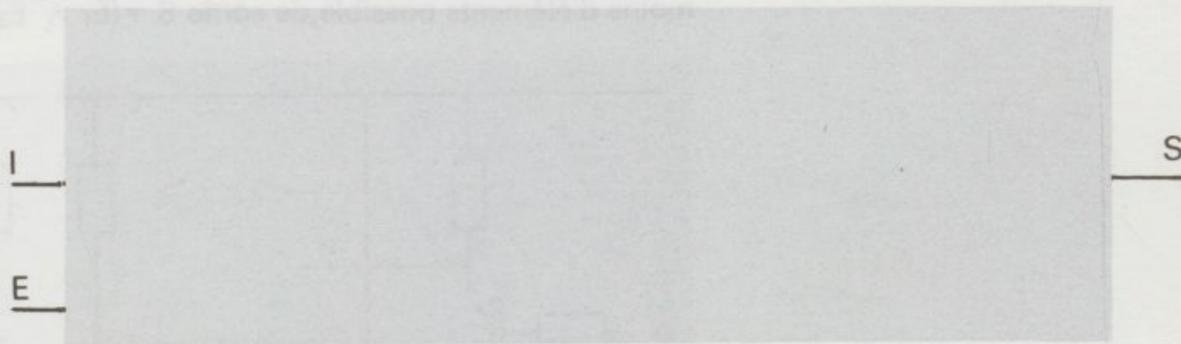


Nous connaissons ce schéma logique de mémoire (vu par exemple à la question 89) :

I signal d'inscription  
E signal d'effacement



Vous établissez le schéma logique équivalent ne comprenant que des connecteurs NI (vous pouvez retrouver les circuits NI équivalents aux connecteurs NON, ET, OU dans le cahier 2 § 7.5 page 31).

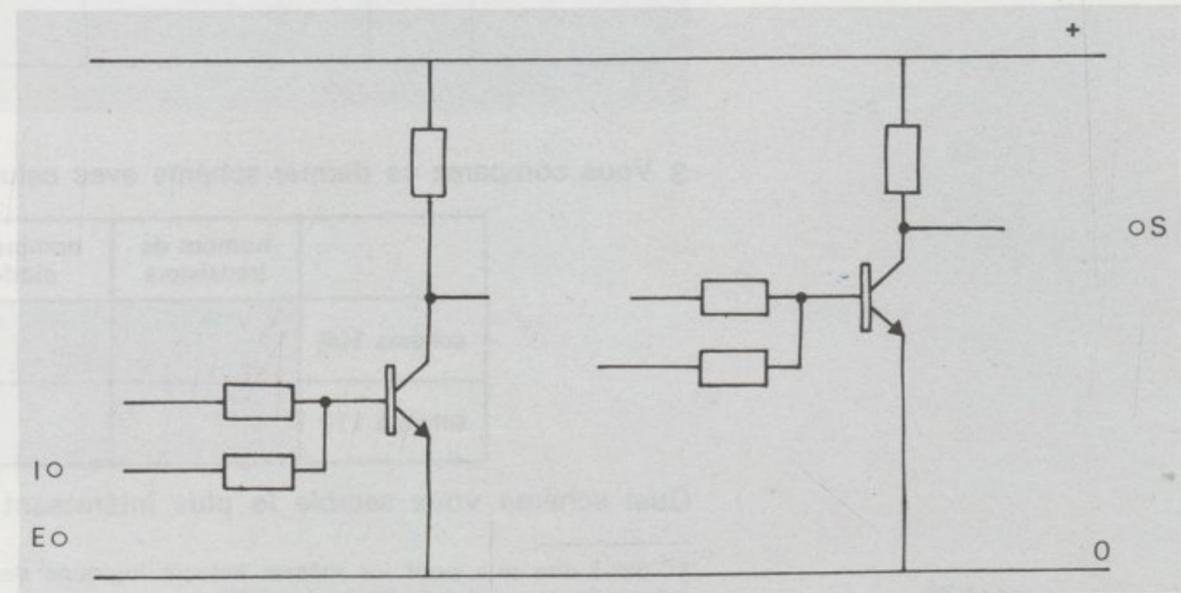


réponse page 180

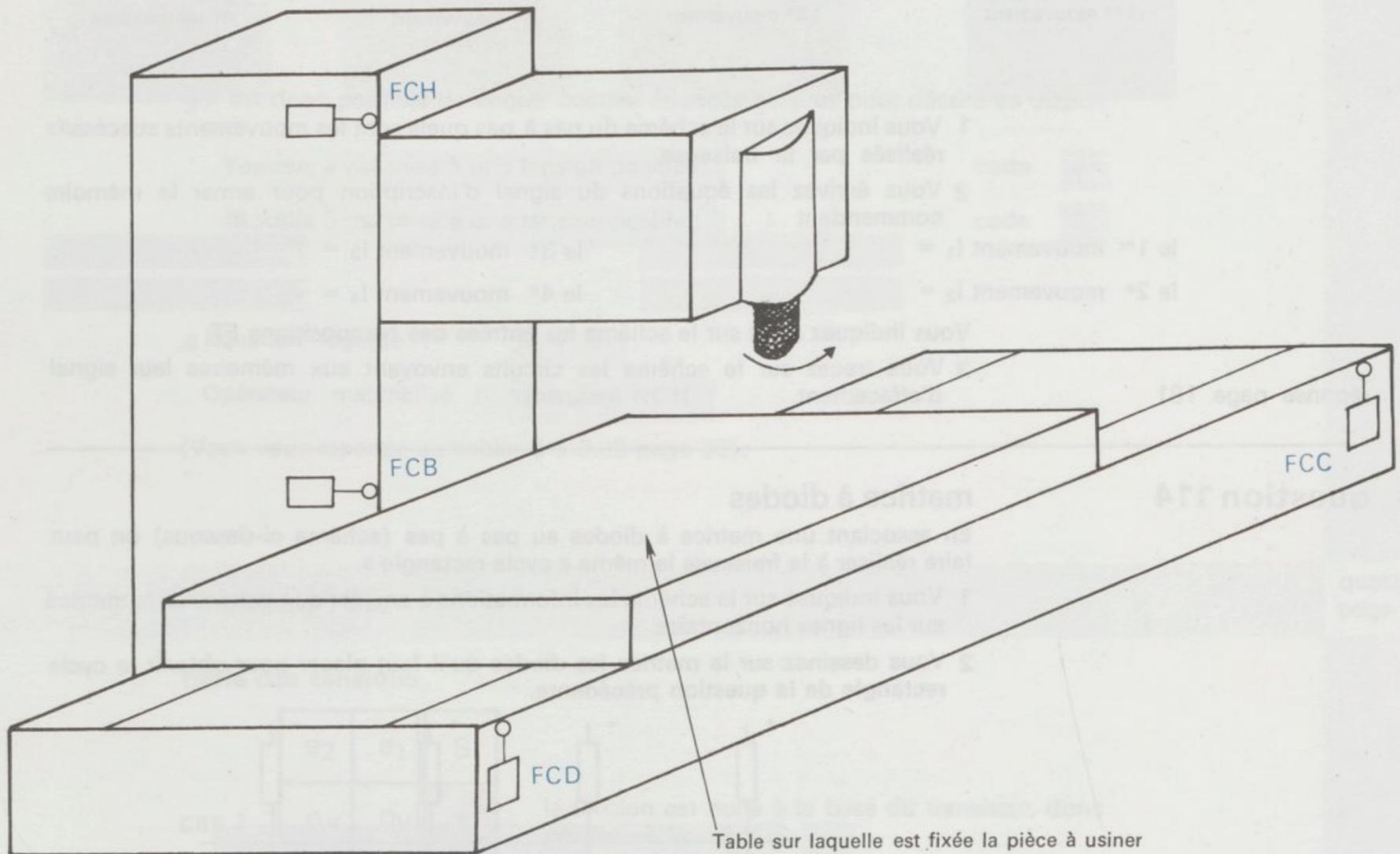
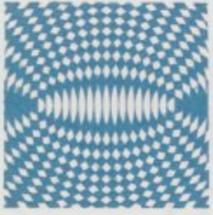
**question 112**

**une réalisation de mémoire en électronique**

A partir du schéma logique précédent, vous complétez le schéma d'une mémoire comprenant 2 transistors :



réponse page 180

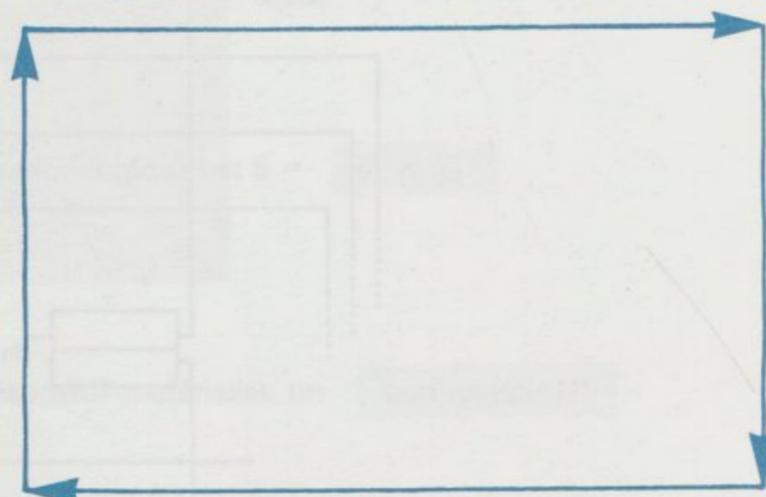


Nous cherchons à réaliser le montage du pas à pas pour que cette installation (fraiseuse) ait un « cycle rectangle », c'est-à-dire que l'on peut représenter ainsi l'enchaînement des mouvements de la fraiseuse :

retour de la table en position  
dégagée de l'outil (sécurité)

dégagement  
de l'outil

descente  
de l'outil

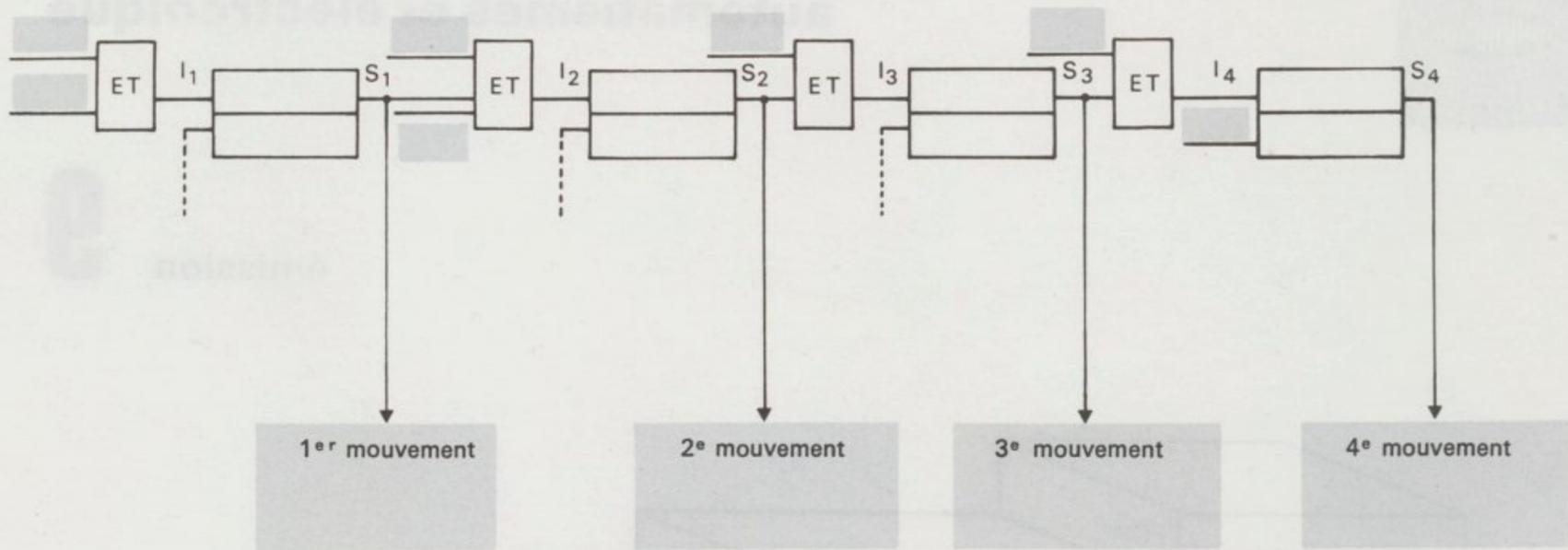


course travail  
(fraisage)

L'opérateur met en route le cycle par appui sur un bouton poussoir M.

question 113

pas à pas



- 1 Vous indiquez sur le schéma du pas à pas quels sont les mouvements successifs réalisés par la fraiseuse.
- 2 Vous écrivez les équations du signal d'inscription pour armer la mémoire commandant :

le 1<sup>er</sup> mouvement  $I_1 =$   le 3<sup>e</sup> mouvement  $I_3 =$    
 le 2<sup>e</sup> mouvement  $I_2 =$   le 4<sup>e</sup> mouvement  $I_4 =$

Vous indiquez alors sur le schéma les entrées des compositions ET.

- 3 Vous tracez sur le schéma les circuits envoyant aux mémoires leur signal d'effacement.

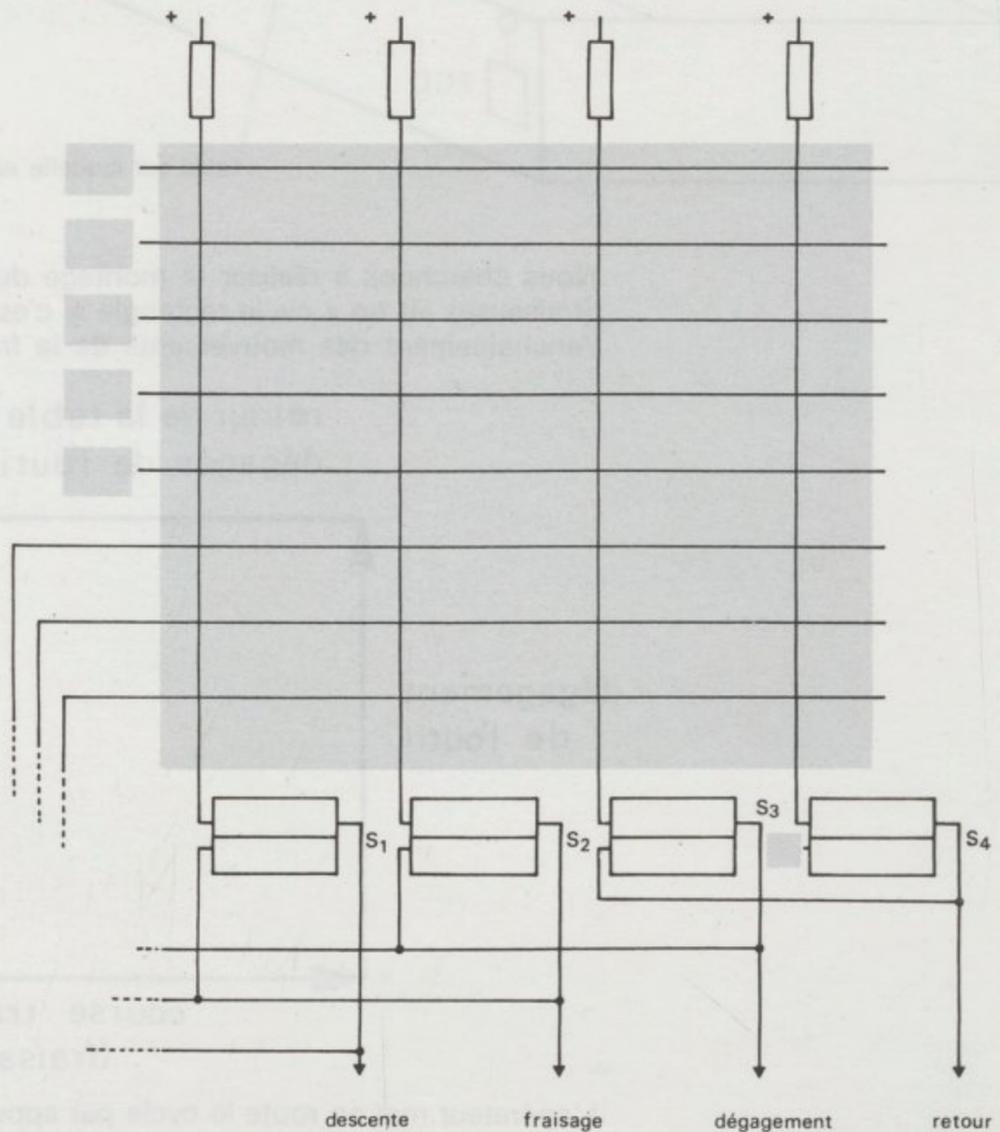
réponse page 181

question 114

matrice à diodes

En associant une matrice à diodes au pas à pas (schéma ci-dessous) on peut faire réaliser à la fraiseuse le même « cycle rectangle ».

- 1 Vous indiquez sur le schéma les informations à amener aux entrées de la matrice sur les lignes horizontales
- 2 Vous dessinez sur la matrice les diodes qu'il faut placer pour obtenir le cycle rectangle de la question précédente.



réponse page 182

1 une tension positive, une tension nulle (ou négative)

2 une tension nulle voir cahier 3 cas 1 § 9.22 page 37  
 une tension positive voir cahier 3 cas 2 § 9.22 page 37

3 Il est donc possible de choisir comme énoncés binaires pour décrire ce dispositif :

l'entrée e est mise à une tension positive code e

la sortie S est mise à une tension positive code S

4 Equation logique :  $S = \bar{e}$

Opérateur matérialisé : opérateur NON

(Vous vous reportez au cahier 3 § 9.23 page 38).

réponse 105

Table des tensions

	e <sub>2</sub>	e <sub>1</sub>	S	
cas 1	0v	0v	+	la tension est nulle à la base du transistor, donc positive à la sortie S  la tension à la base du transistor est positive, le transistor est passant, la tension est nulle à la sortie S (voir cahier 3 § 9.22 page 37)
cas 2	0v	+	0v	
cas 3	+	0v	0v	
cas 4	+	+	0v	

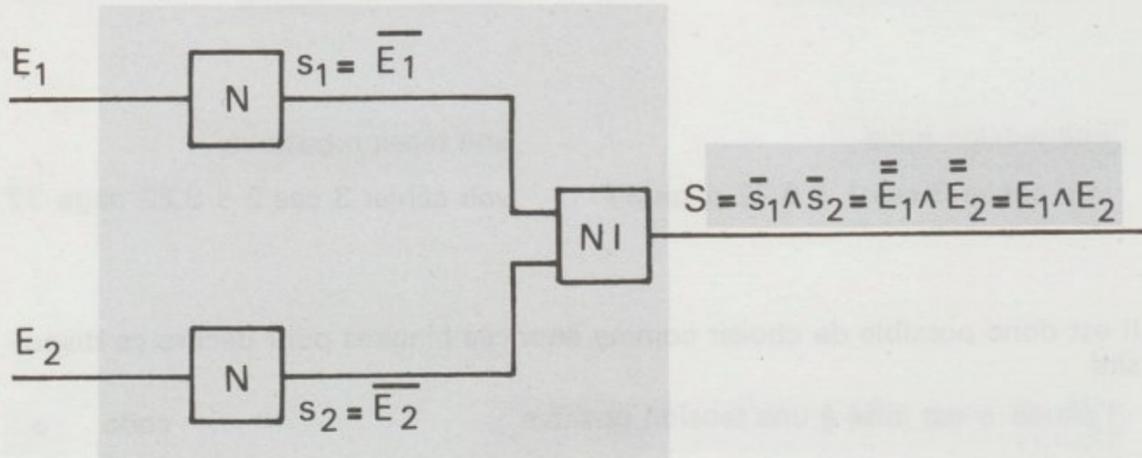
Avec les énoncés choisis, la table de vérité est alors

	e <sub>2</sub>	e <sub>1</sub>	S	
cas 1	0	0	1	L'équation logique est $S = \bar{e}_1 \wedge \bar{e}_2$  Ce dispositif matérialise un connecteur NI
cas 2	0	1	0	
cas 3	1	0	0	
cas 4	1	1	0	

(Vous avez vu la table de vérité du connecteur NI dans le cahier 2 § 7.2 page 29).

## réponse 106

- 1 Les transistors  $T_1$  et  $T_2$  matérialisent un opérateur NON (question 104)  
Le transistor  $T_3$  matérialise un connecteur NI (question 105)
- 2 Schéma logique :



*Si vous n'avez pas dessiné correctement ce schéma logique*

Quel est l'opérateur matérialisé par le transistor  $T_1$  ?

Quel est l'opérateur matérialisé par le transistor  $T_2$  ?

**réponse :**  $T_1$  et  $T_2$  matérialisent un opérateur NON, ils sont montés comme à la question 104.

Quel est le connecteur matérialisé par le transistor  $T_3$  ?

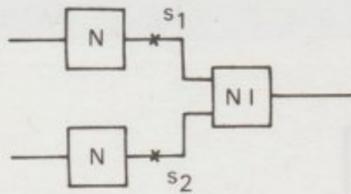
**réponse :**  $T_3$  matérialise un connecteur NI, il est monté comme à la question 105.

Pour dessiner le schéma logique, vous observez le montage de ces 3 transistors entre eux :

La sortie  $s_1$  du transistor  $T_1$  est une des entrées du transistor  $T_3$

La sortie  $s_2$  du transistor  $T_2$  est une des entrées du transistor  $T_3$

d'où le schéma logique :



### 3 Table des tensions :

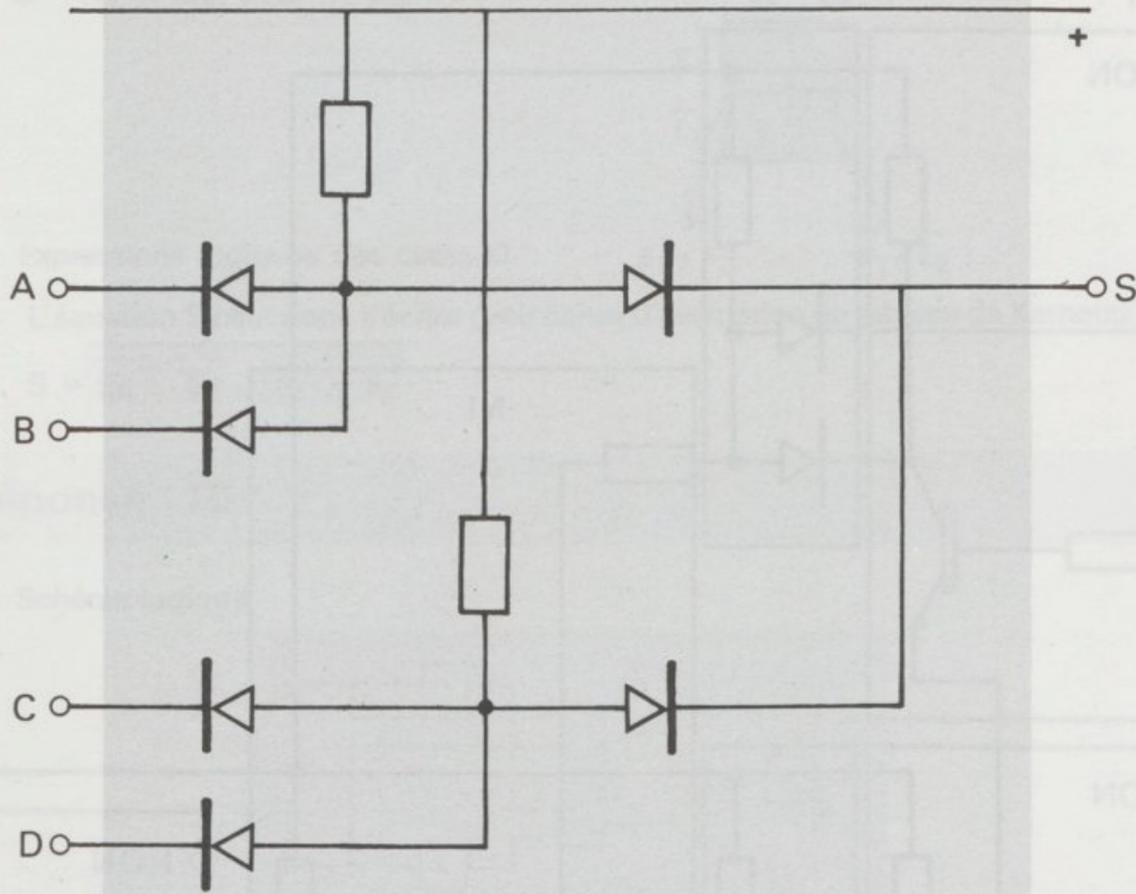
	$E_2$	$E_1$	$S$	
cas 1	0v	0v	0v	→ tension + en $s_2$ , tension + en $s_1$ , donc tension 0 en S
cas 2	0v	+	0v	→ tension + en $s_2$ , tension 0 en $s_1$ , donc tension 0 en S
cas 3	+	0v	0v	→ tension 0 en $s_2$ , tension + en $s_1$ , donc tension 0 en S
cas 4	+	+	+	→ tension 0 en $s_2$ , tension 0 en $s_1$ , donc tension + en S

d'où on déduit la table de vérité :

	$E_2$	$E_1$	$S$
cas 1	0	0	0
cas 2	0	1	0
cas 3	1	0	0
cas 4	1	1	1

$$S = E_1 \wedge E_2$$

Ce montage matérialise une  
composition ET



Vous n'avez pas réalisé ce montage :

- La composition ET des entrées A et B, et la composition ET des entrées C et D sont réalisées par le montage vu dans le cahier 3 § 9.33 page 38.

La composition OU est réalisée par le montage vu dans le cahier 3 § 9.36 page 38.

- Du schéma logique ou bien de l'équation logique de ce montage vous déduisez la valeur logique de la sortie S dans le cas suivant :

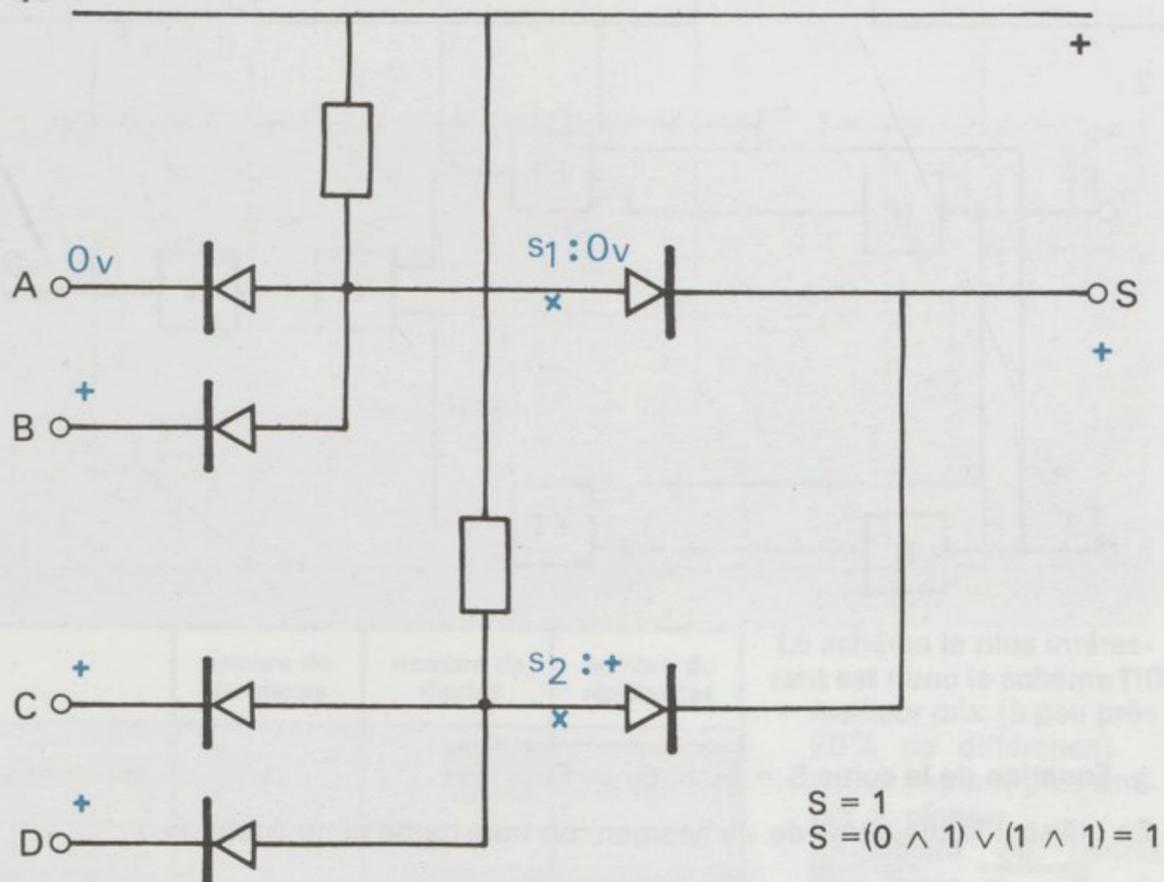
A = 0, B = 1, C = 1, D = 1

S =

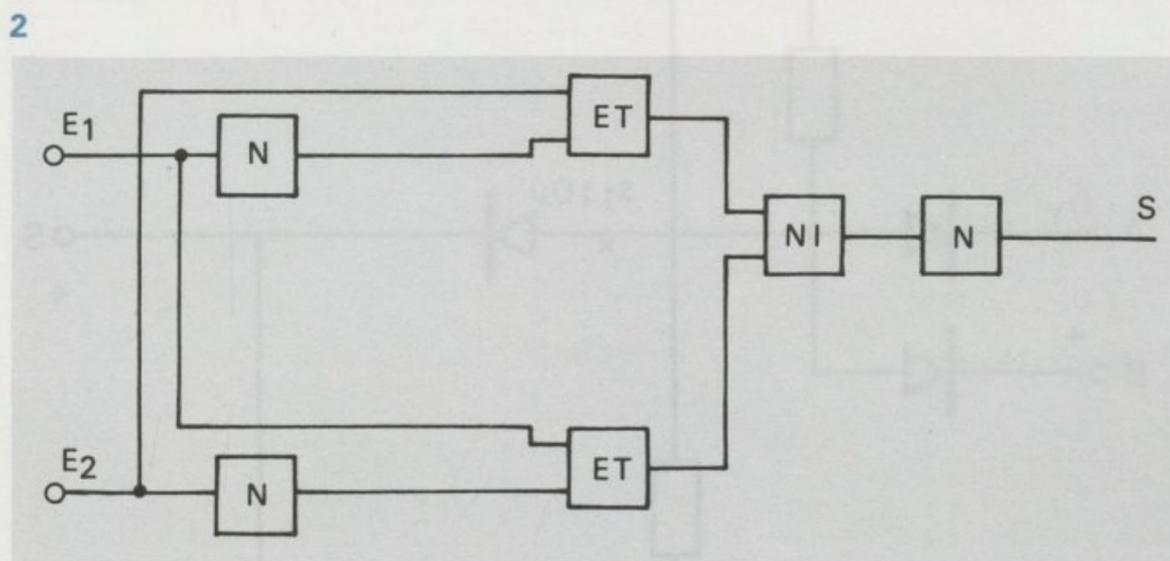
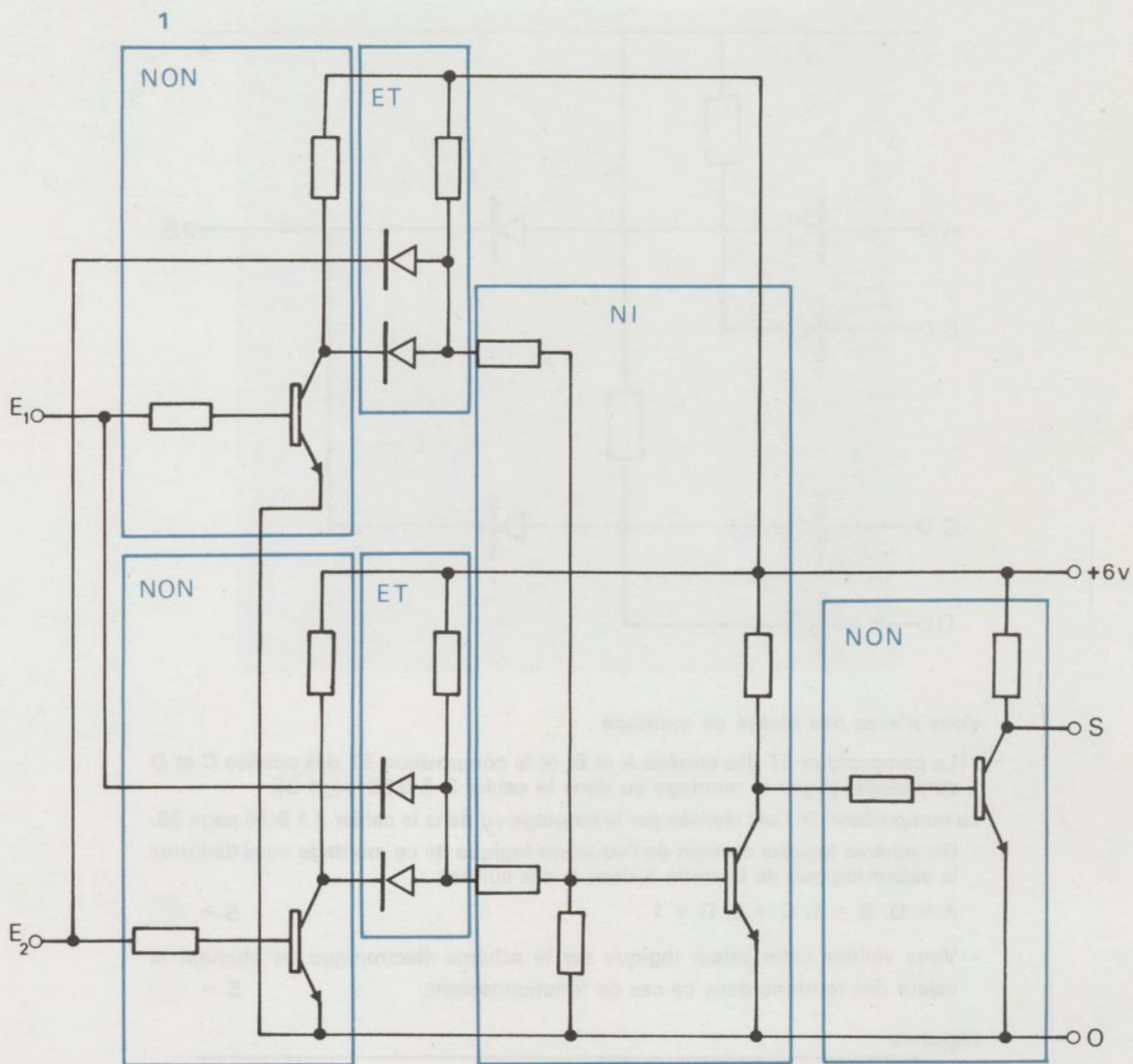
- Vous vérifiez cette valeur logique sur le schéma électronique en étudiant la valeur des tensions dans ce cas de fonctionnement,

S =

réponse :



Vous vous reportez au cahier 3 § 9.33 et 9.34 page 38.



3 Equation de la sortie  $S = \overline{\overline{E_1 \wedge E_2} \wedge \overline{E_1 \wedge \overline{E_2}}}$

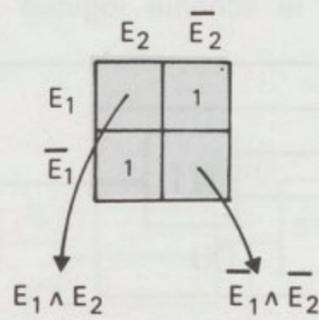
En utilisant le théorème de de Morgan, on transforme cette équation :

$$S = \overline{\overline{E_1 \wedge E_2} \wedge \overline{E_1 \wedge \overline{E_2}}} = \overline{(\overline{E_1 \wedge E_2}) \wedge (\overline{E_1 \wedge \overline{E_2}})}$$

réponse 109

question page 171

1  $S = (E_1 \wedge \bar{E}_2) \vee (\bar{E}_1 \wedge E_2)$



2 Expressions logiques des cases 0 :

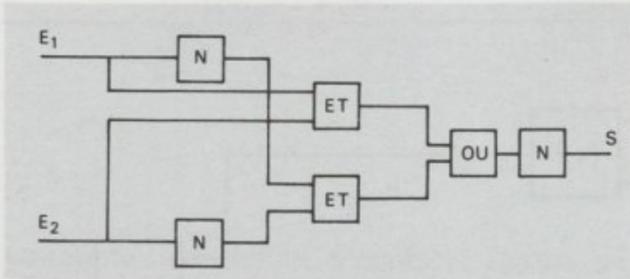
L'équation S peut donc s'écrire (voir fiches d'évaluation du tableau de Karnaugh)

$S = E_1 \wedge E_2 \vee \bar{E}_1 \wedge \bar{E}_2$

réponse 110

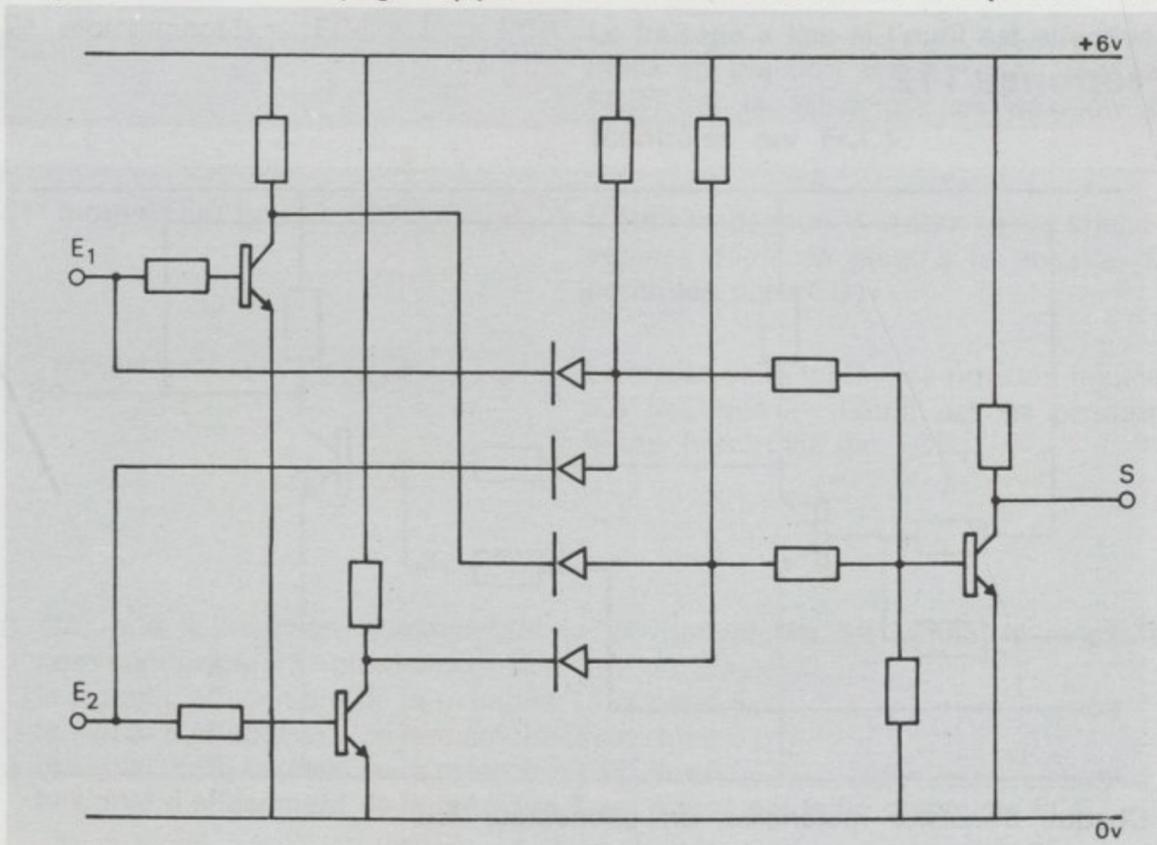
question page 171

1 Schéma logique



2 Les opérateurs NON sont matérialisés par les 2 premiers transistors, les compositions ET par les diodes montées en parallèle.

Le OU et le NON en série peuvent être réalisés par 2 diodes montées en parallèle suivies d'un transistor; mais pour obtenir un montage comprenant le moins d'éléments possible, on réalise  $\text{---OU---N---}$  équivalent à  $\text{---NI---}$  (voir cahier 2 § 7.22 page 29) par un transistor monté comme à la question 105.



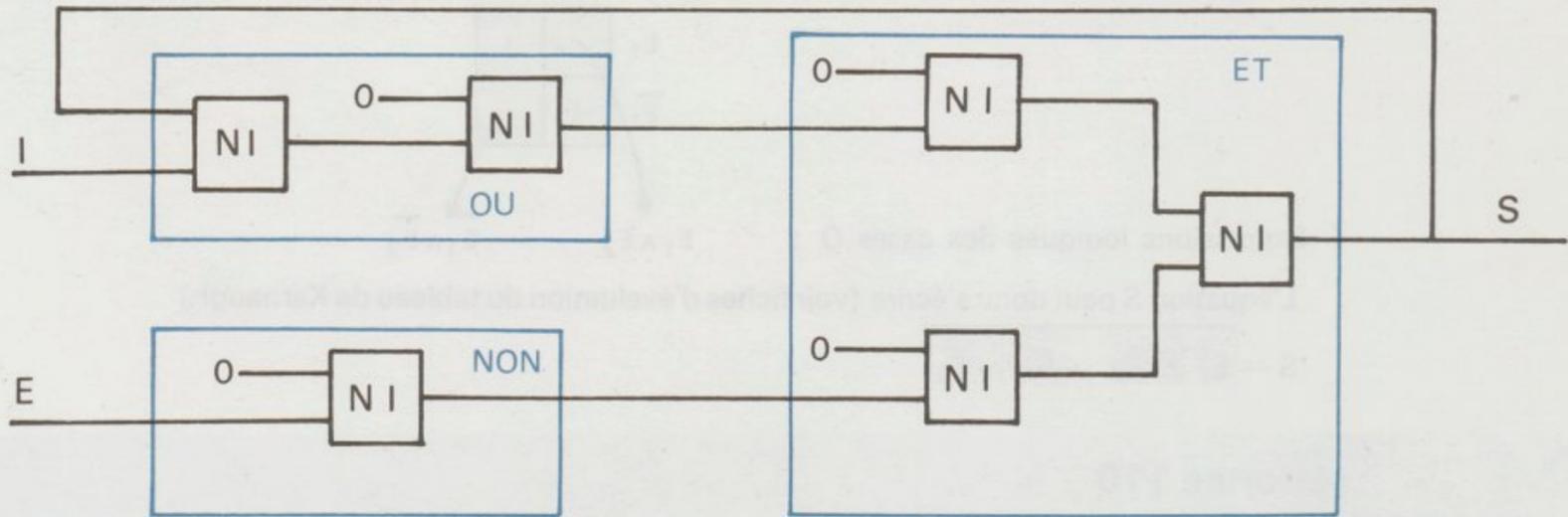
	nombre de transistors	nombre de diodes.	nombre de résistances
schéma 108	4	4	12
schéma 110	3	4	10

Le schéma le plus intéressant est donc le schéma 110

- meilleur prix (à peu près 20% de différence)
- circuit imprimé plus simple à réaliser
- probabilité de panne plus faible
- moindre encombrement.

### réponse 111

On obtient le schéma logique :



qui après simplifications devient :

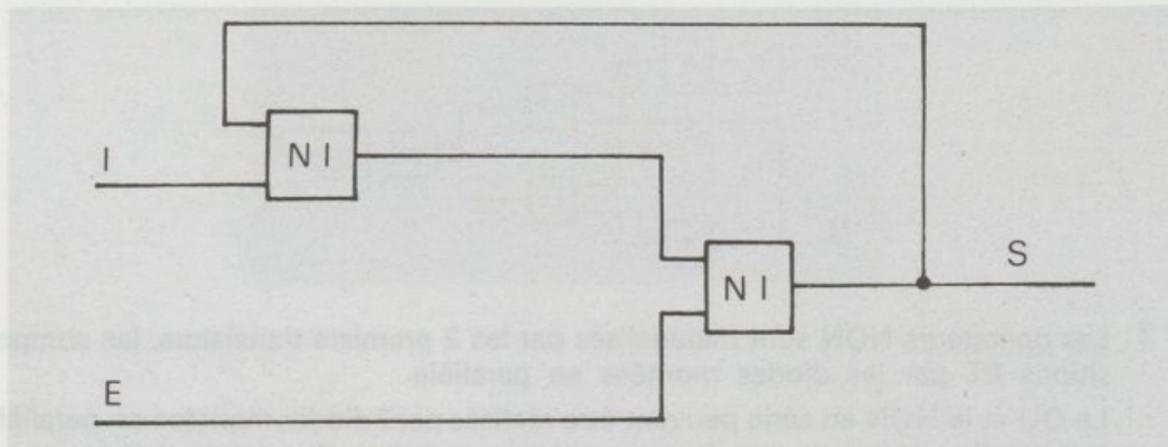
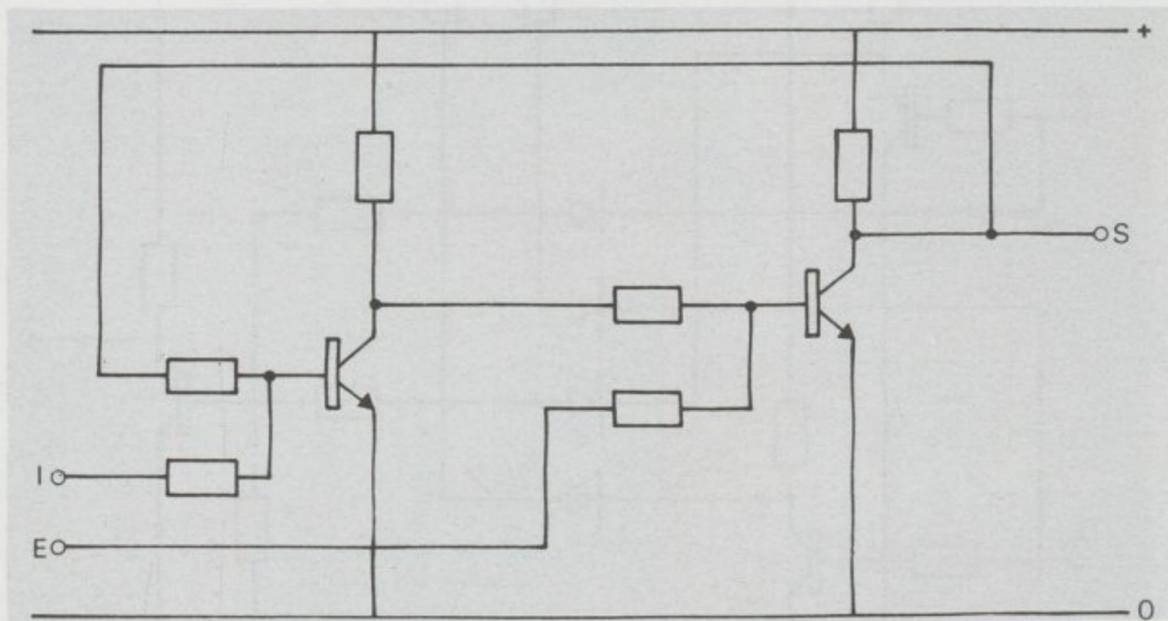


Schéma logique d'une mémoire ne comprenant que des connecteurs NI

### réponse 112



Chaque transistor matérialise un connecteur NI.

Comment monter entre eux les 2 transistors :

Sur le schéma logique on voit que :

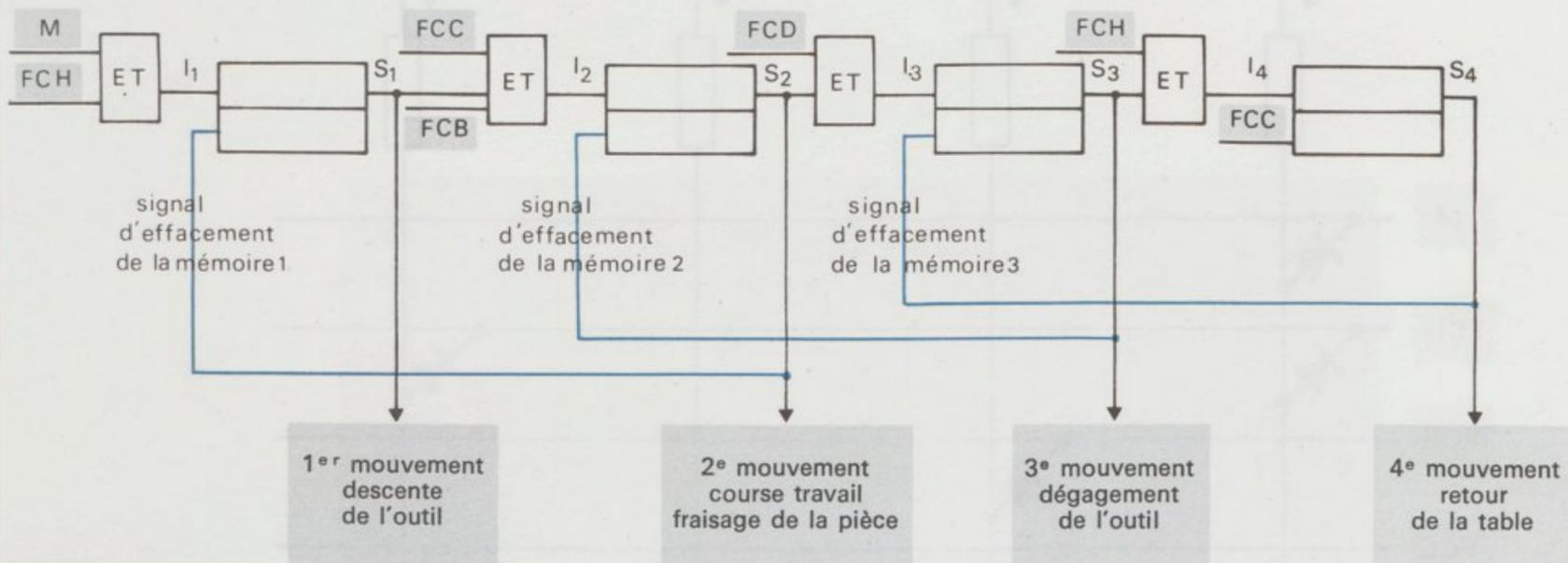
les 2 entrées du premier transistor sont :

- le signal d'inscription I
- la sortie S

les 2 entrées du second transistor sont :

- le signal d'effacement E
- la sortie du premier transistor.

1



2 Pour écrire les équations, on définit d'après le dessin de l'installation et la description du cycle rectangle page 173, les conditions nécessaires pour commander chacun des mouvements (état du bouton M, état des fins de course, réalisation du mouvement précédent).

1<sup>er</sup> mouvement I<sub>1</sub> =  $M \wedge FCH$  L'outil descend s'il est effectivement au départ en position haute (contrôlée par FCH) et si l'opérateur appuie sur M;

2<sup>e</sup> mouvement I<sub>2</sub> =  $FCC \wedge S_1 \wedge FCB$  Le fraisage a lieu si l'outil est effectivement en position basse (contrôlée par FCB), si la table est en position C (contrôlée par FCC)

3<sup>e</sup> mouvement I<sub>3</sub> =  $FCD \wedge S_2$  L'outil se dégage si la table s'est effectivement déplacée jusqu'à la position D (contrôlée par FCD)

4<sup>e</sup> mouvement I<sub>4</sub> =  $FCH \wedge S_3$  Le retour de la table à sa position initiale n'a lieu que si l'outil est en position haute (contrôlée par FCH).

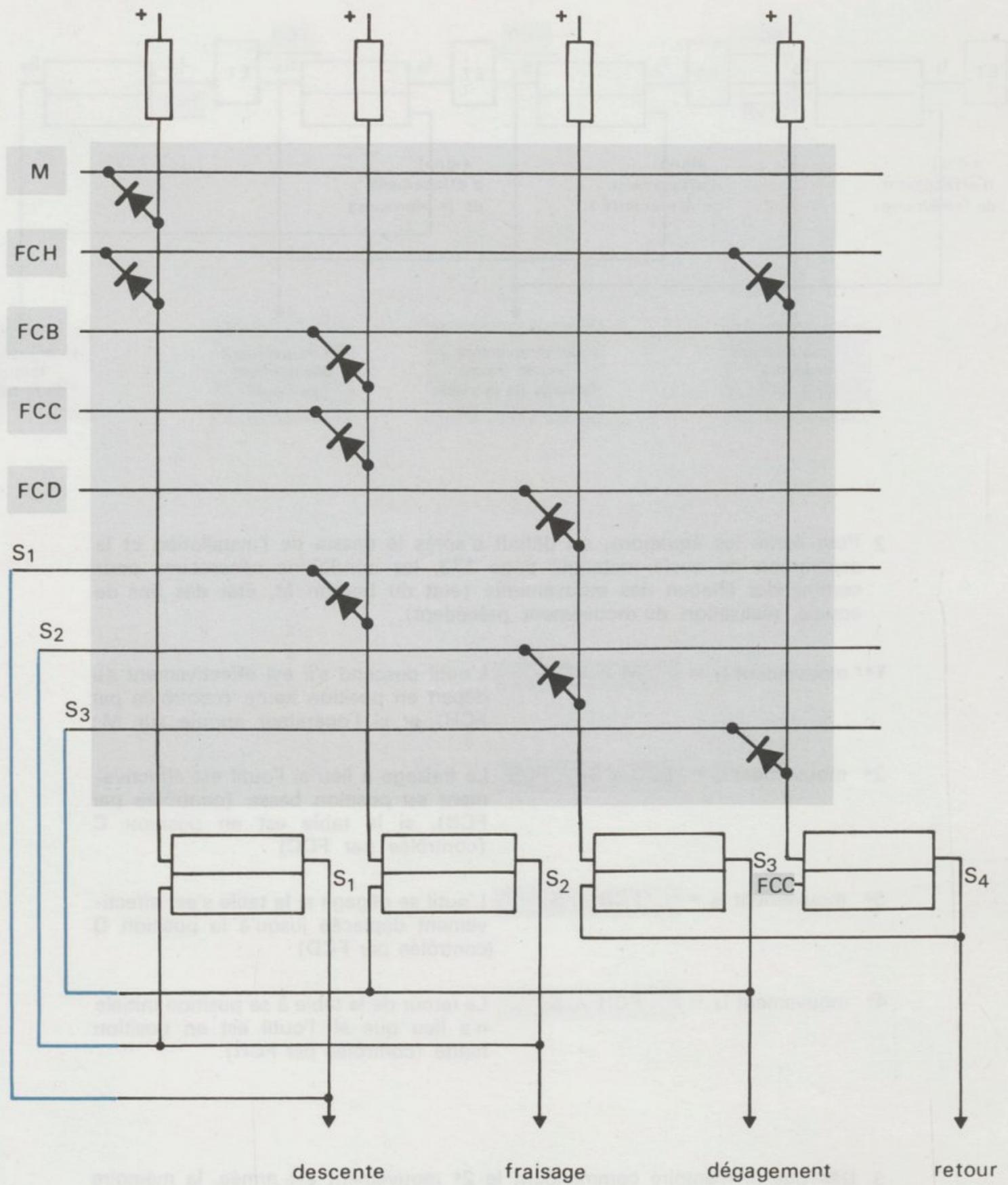
3 Dès que la mémoire commandant le 2<sup>e</sup> mouvement est armée, la mémoire commandant le 1<sup>er</sup> mouvement doit être désarmée.

le signal d'effacement de la mémoire 1 est donc S<sub>2</sub>

le signal d'effacement de la mémoire 2 est donc S<sub>3</sub>

le signal d'effacement de la mémoire 3 est donc S<sub>4</sub>

le signal d'effacement de la mémoire 4 est donné par le fin de course FCC.



1 Les informations à amener sont :  
l'ordre de marche M  
les informations des capteurs fin de course  
et les sorties des mémoires S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> et S<sub>3</sub>

2  $I_1 = M \wedge FCH$  ; pour réaliser avec la matrice à diodes cette composition ET, on établit la liaison entre les lignes horizontales où sont amenées les informations M et FCH et la ligne verticale amenant le signal d'inscription à la 1<sup>re</sup> mémoire. Pour la disposition des diodes par rapport aux lignes horizontales et verticales, vous pouvez vous reporter au cahier 3 § 9.5 page 39.

introduction  
à la conception  
des automatismes logiques

chapitre A

objectifs et méthode

chapitre B

comment poser un problème  
avec le diagramme des phases ?

chapitre C

exemples de méthodes d'analyse

chapitre D

conclusion générale

J. DAUMAL

Introduction  
à la conception  
des automates à règles

algèbre et logique

chapitre A

conception pour un problème  
à un langage des phrases

chapitre B

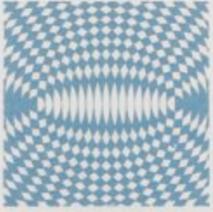
exemples de méthodes d'analyse

chapitre C

conclusion générale

chapitre D

J. DUMAS



*Cette « Introduction à la conception » se propose de vous faire comprendre comment agit et réagit un technicien chargé de concevoir des automatismes industriels. Il ne s'agit pas d'un exposé théorique sur la « synthèse » des circuits logiques, ou d'un exposé sur toutes les méthodes de calcul existantes, il ne s'agit pas d'un « livre de recettes » ou d'un répertoire de « trucs » à appliquer.*

*Nous examinerons les difficultés réelles qui se présentent dans ces problèmes industriels ( sur des applications concrètes choisies pour leur valeur d'exemple). Nous utiliserons pour les surmonter les possibilités du « diagramme des phases ». Enfin nous critiquerons les schémas obtenus à la lumière de l'analyse des conditions d'exploitation.*

*Donc un peu de théorie et beaucoup de bon sens à partir de ce que vous savez maintenant en logique, ceci afin de vous permettre le meilleur apprentissage de votre attention et de votre jugement technique.*

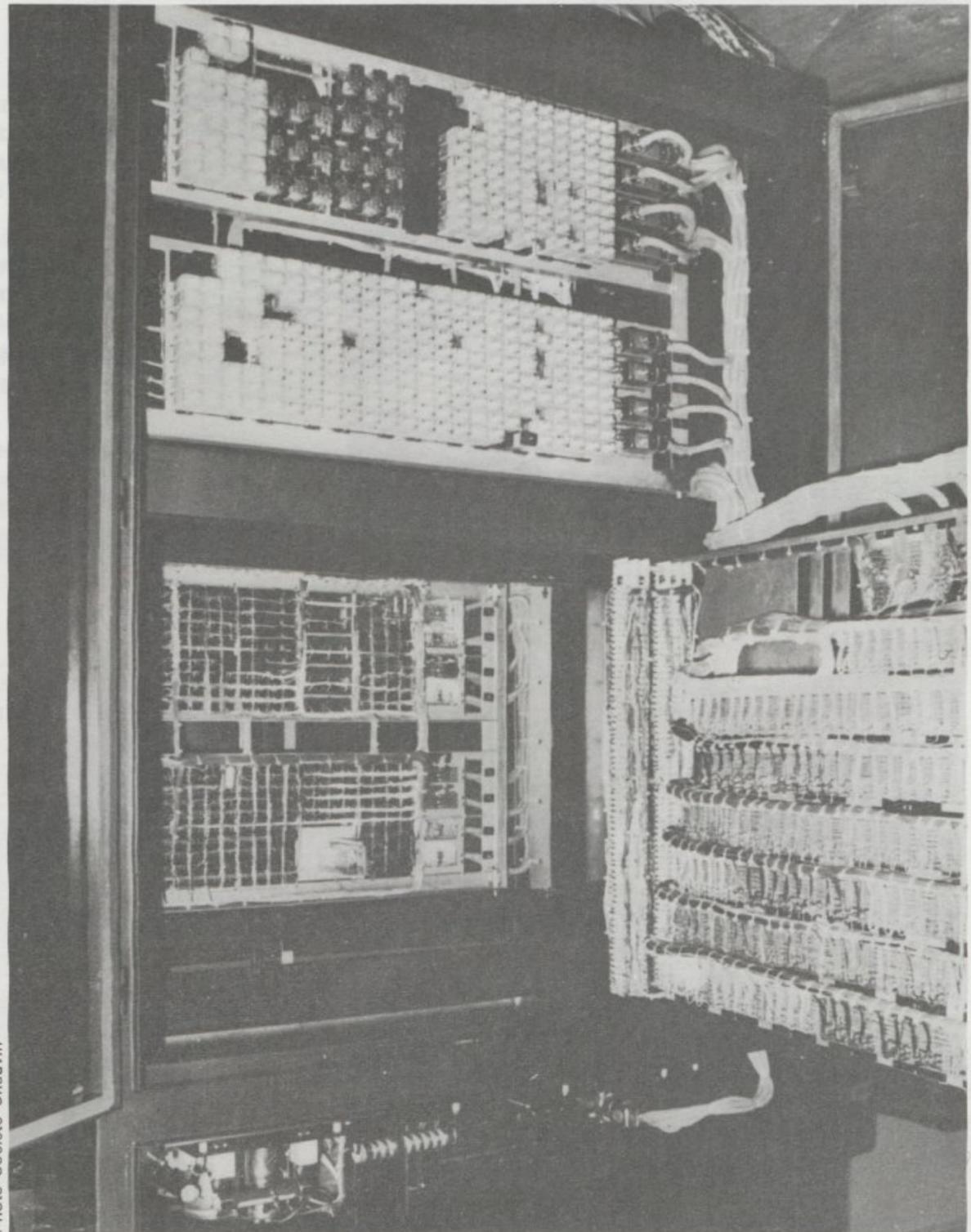


Photo Société Chauvin

## 1. pourquoi le diagramme des phases ?

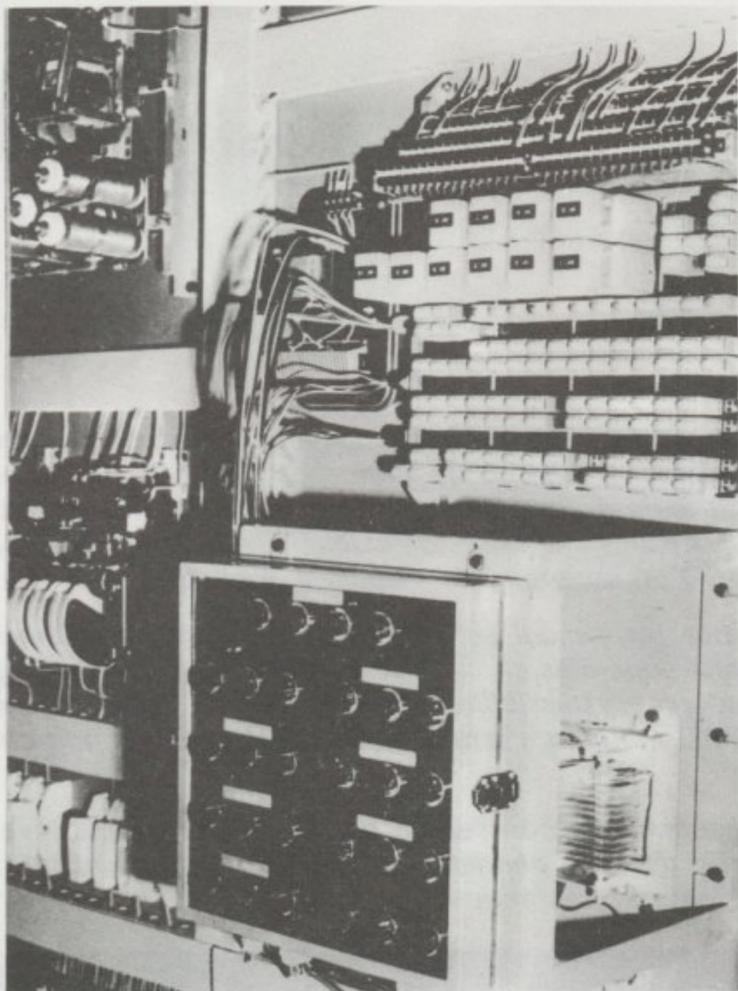


Photo Société Chauvin-Arnaux

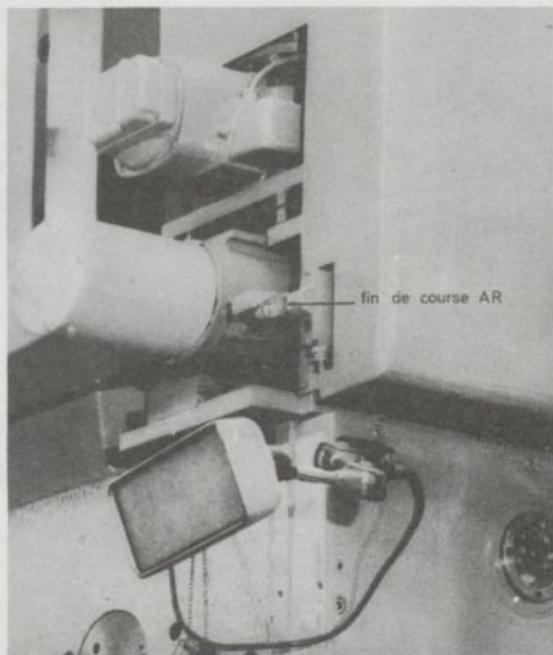


Photo Jean Biaugeaud

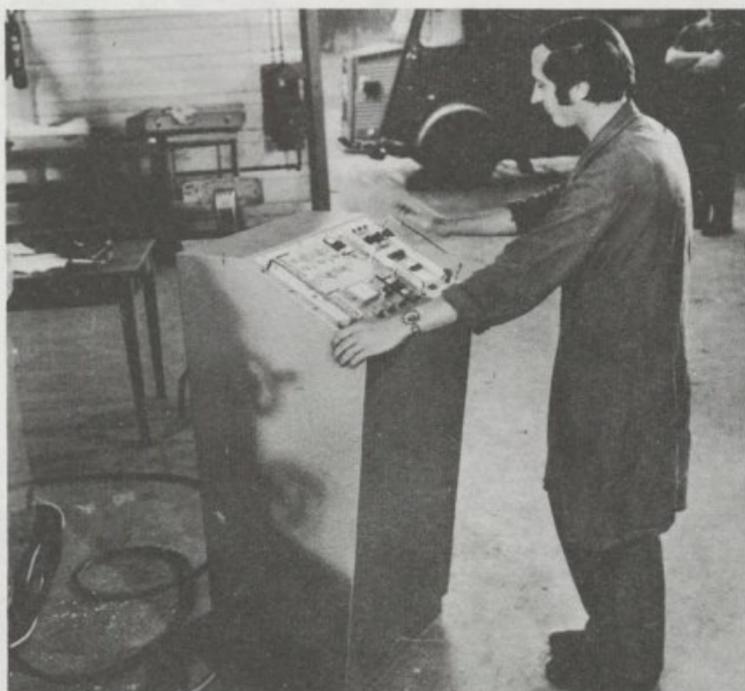


Photo R.T.S./J. Tendron

1.1 Nous avons déjà vu les rudiments du diagramme des phases à propos de la porte automatique. Nous allons examiner de plus près les propriétés utiles à l'établissement des circuits logiques.

Cette méthode présente le double avantage d'être pédagogique et efficace :

- pédagogique car elle donne une « visualisation » quasi intuitive des phases de l'unité d'automatisation
- efficace car elle introduit rapidement aux problèmes pratiques essentiels de la conception.

Disons de suite qu'elle ne supplée pas à l'expérience de l'automatisme industriel mais elle aidera le débutant à bien poser les problèmes et parfois même le technicien chevronné à « débrouiller » rapidement des conditions de fonctionnement difficiles.

1.2 On sait bien que s'il existe de nombreuses méthodes de conception des circuits, elles semblent plus créées pour le plaisir de la spéculation pure que pour les Bureaux d'études qui les ignorent sereinement.

Nos expériences pédagogique et industrielle nous ont montré que beaucoup de querelles sur cette question sont sans fondement :

- une formation de base, rigoureuse, méthodique, est hautement souhaitable
- l'analyse des matériels, de tous les aspects de leur emploi est nécessaire.

Certes le technicien éprouvé oubliera vite peut-être ce premier apport des méthodes élémentaires — comme le virtuose peut oublier ses premières gammes — mais c'est cependant avec elles qu'il doit apprendre à bien agir, à bien penser, à bien jouer de toutes les possibilités de la pensée pratique.

Lorsque les matériels évolueront il saura reconnaître ainsi sous l'apparente diversité des formes, l'unicité des concepts fondamentaux.

## 2. quels exemples étudier?

### 2.1 Machines banales et machines spéciales

Ce sont les opérations de grande série qui ont donné lieu aux études d'automatisation les plus intéressantes et les plus significatives — ceci pour des raisons évidentes.

Dans l'ensemble des machines évoquées ici on peut distinguer deux grandes classes.

- a) Les machines dérivées des machines universelles (ou « banales ») telles que tours, rectifieuses, machines à tailler les engrenages, etc., qui pour être aptes à la production de grande série ont été modifiées pour être plus robustes, plus puissantes (en nombre de kilowatts à la broche) et munies de cycles entièrement automatiques éventuellement liés aux moyens de manutention.

Au plan de l'automatisme on trouve ainsi soit des cycles entièrement automatiques (Ex : tour à décolleter) soit des cycles séquentiels (cycles de machines où ont été fractionnés les éléments moteurs et où les organes sont déconnectés automatiquement au profit d'une commande directe par l'automatisme).

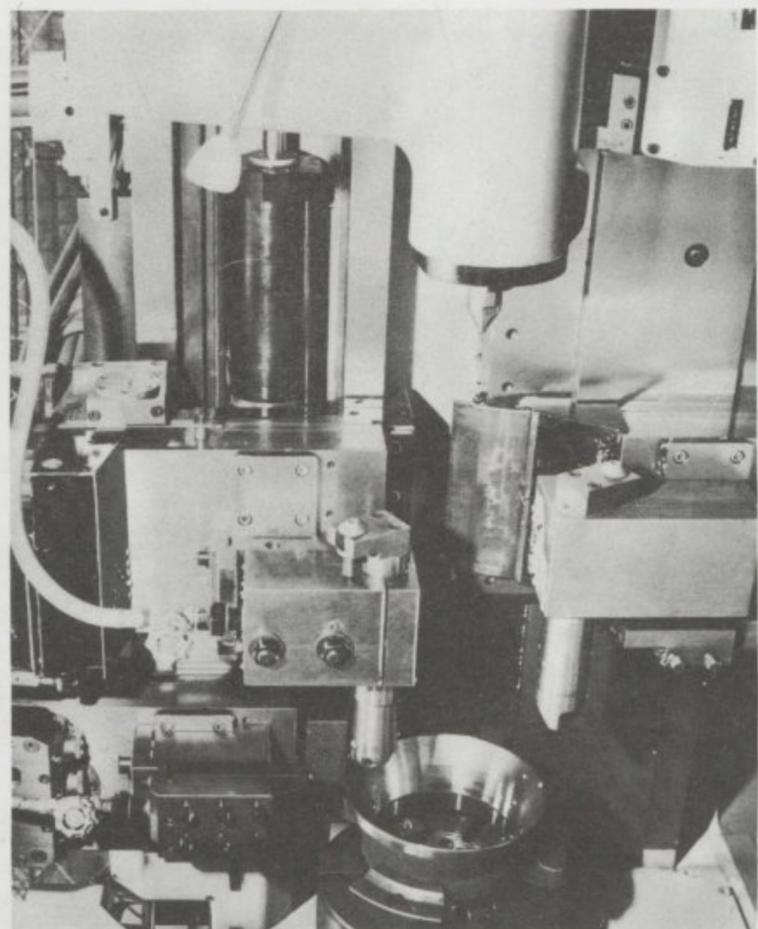
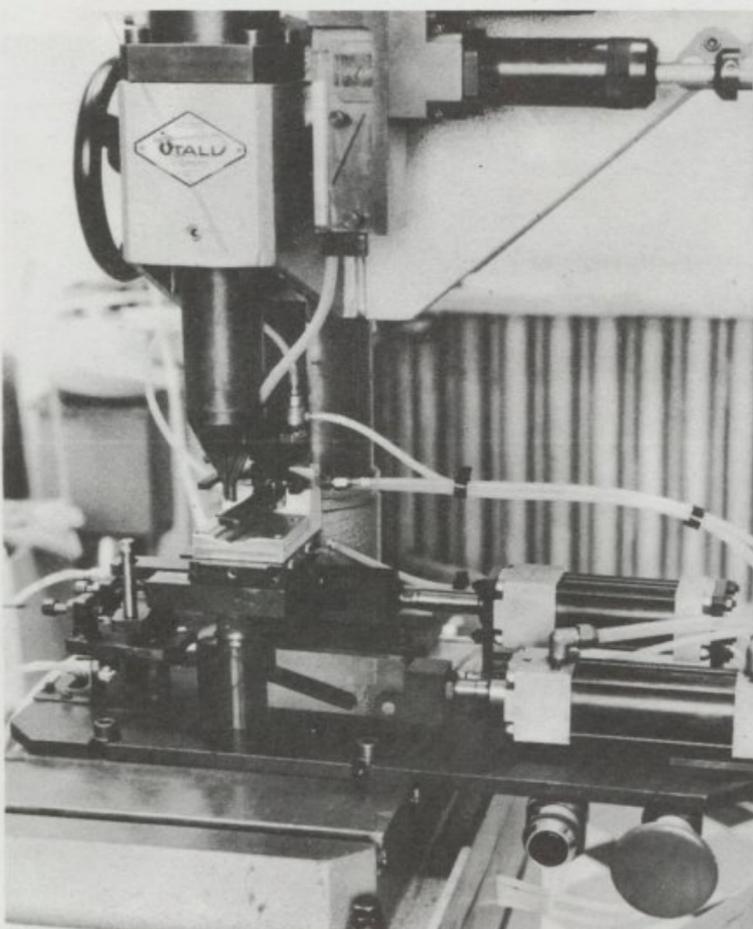
Notons que les « automatismes d'asservissement », c'est-à-dire les automatismes où les actionneurs sont commandés en fonction de mesures prises sur la pièce, demeurent l'exception.

Ainsi avec la suppression des boîtes de vitesse, la conception de réglages plus simples généralement mis en œuvre uniquement au moment des changements d'outils, a-t-on obtenu des machines à la fois plus simples et plus complexes où des problèmes apparemment secondaires comme le dégagement des copeaux deviennent d'une importance capitale.

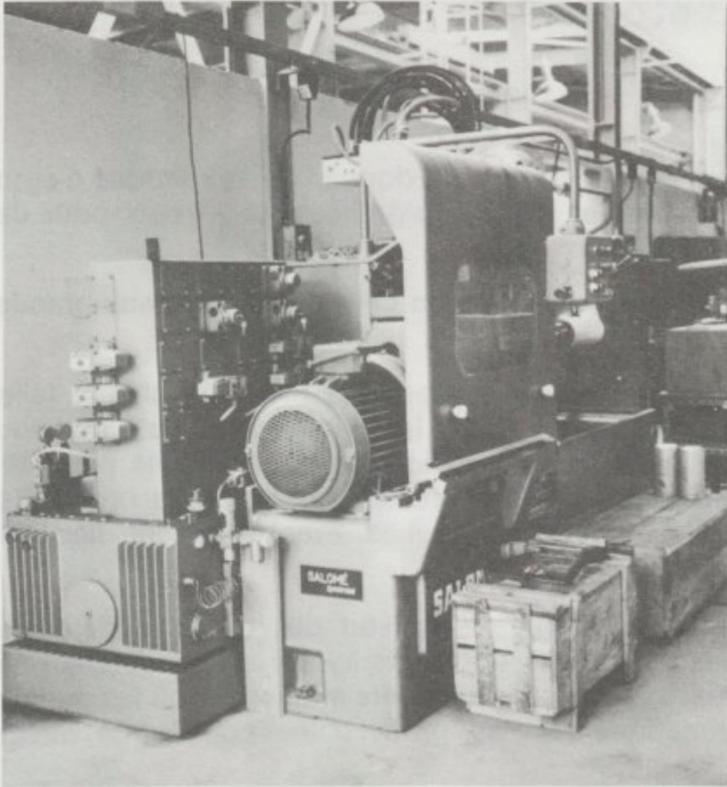
- b) Les machines-transfert (ou machines spéciales) sont le propre de la très grande série.

La machine élémentaire y est simplifiée à l'extrême et ne dispose plus que de mouvements suivant un seul axe — comme on le verra dans les exemples qui suivent traitant du fonctionnement de « têtes électromécaniques » (voir les Chapitres B et C).

Parallèlement sont adaptées des têtes multiples porteuses de nombreux outils, la pièce est automatiquement transportée de poste en poste (suppression des démontages-remontages d'outils d'où une augmentation de la précision) ; les outils se trouvant regroupés autour de la pièce peuvent prendre des directions quelconques dans l'espace.



Document Alcatel - Photo J. Biageaud



La suppression de la main-d'œuvre sur la chaîne transfert conduit à introduire des postes de contrôle et parfois de nettoyage automatiques.

Notons enfin que le terme de la simplification des machines élémentaires est d'aboutir à une normalisation qui permette le ré-emploi de ces éléments après usage pour une fabrication donnée.

C'est dans cette catégorie des machines spéciales que nous prendrons une bonne part de nos applications car elles ont d'une part une bonne valeur d'exemple au plan de l'étude et contraignent d'autre part à une analyse rigoureuse de leurs conditions de fonctionnement — analyse qui est excellente pour la formation du jugement technique.

### 3. quel plan sera suivi?

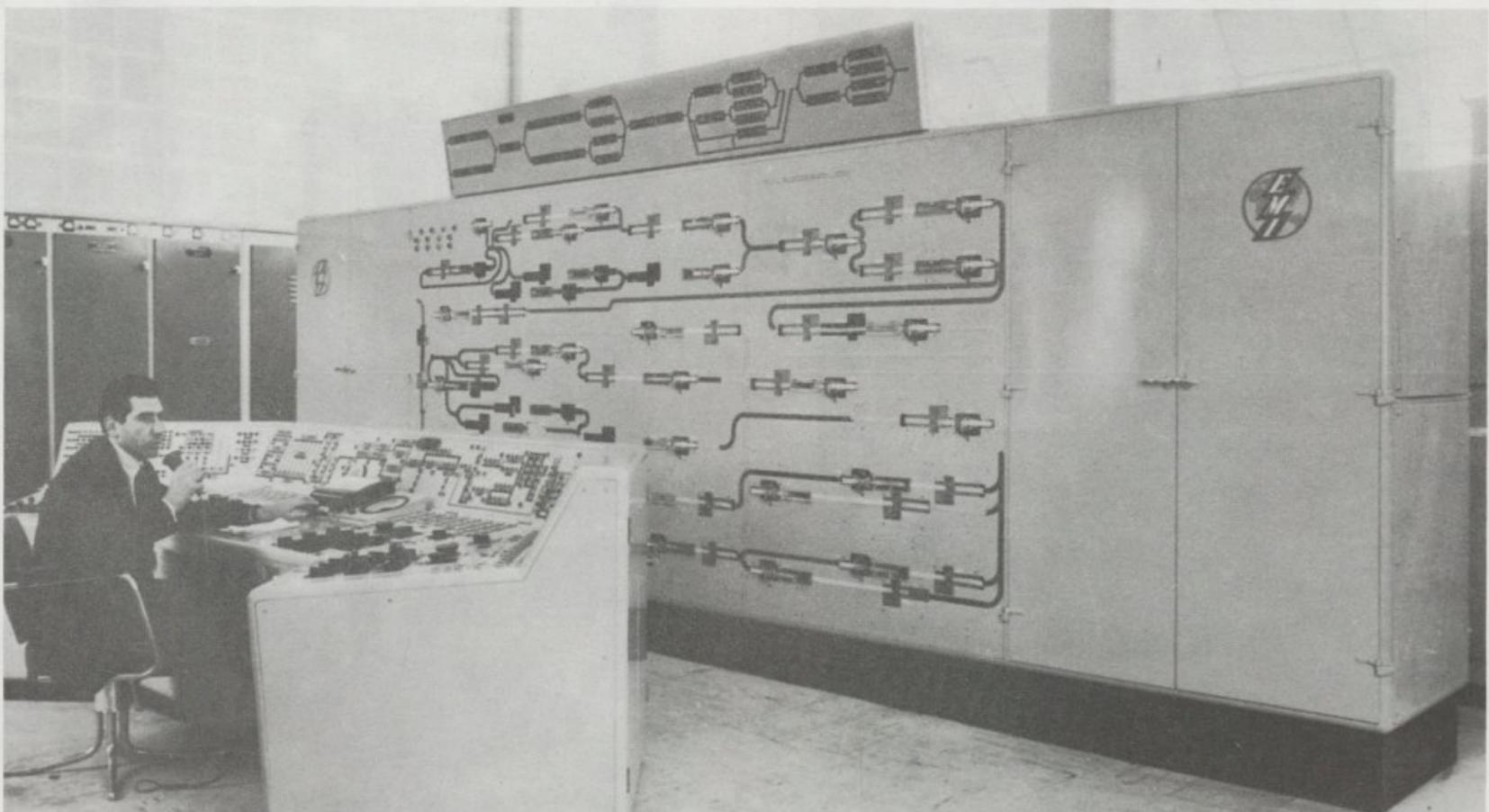
3.1

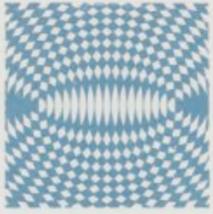
Le Chapitre B nous permettra de rassembler à propos d'un exemple simple les connaissances acquises sur le diagramme des phases et de présenter quelques remarques importantes sur sa mise en œuvre.

3.2

Le Chapitre C s'appuyant sur des applications industrielles d'un intérêt très général se propose d'illustrer les raisonnements essentiels de l'automaticien, de vous présenter des propriétés plus complexes nécessaires à la résolution de certains cycles et de vous montrer les incidences des technologies sur ces raisonnements logiques.

Il me reste à vous souhaiter tout le courage nécessaire pour venir à bout de cette lecture qui ne sera pas trop laborieuse j'espère et qui vous apportera des liens de pensée utiles entre la pratique et les outils théoriques de la logique.





# comment poser un problème avec le diagramme des phases

## chapitre **B**

### 1. description des mouvements

#### 1.1 Principe

Un organe mobile (dispositif d'éjection de pièce, ou de déplacement de pièce, de chargement, de déchargement, etc.) effectue deux mouvements :  
un mouvement avant (déclenché par un ordre de marche)  
un mouvement arrière.

#### 1.2 Actionneurs

- Un actionneur de mouvement avant (moteur électrique, vérin suivant les machines)
- Un actionneur de mouvement arrière.

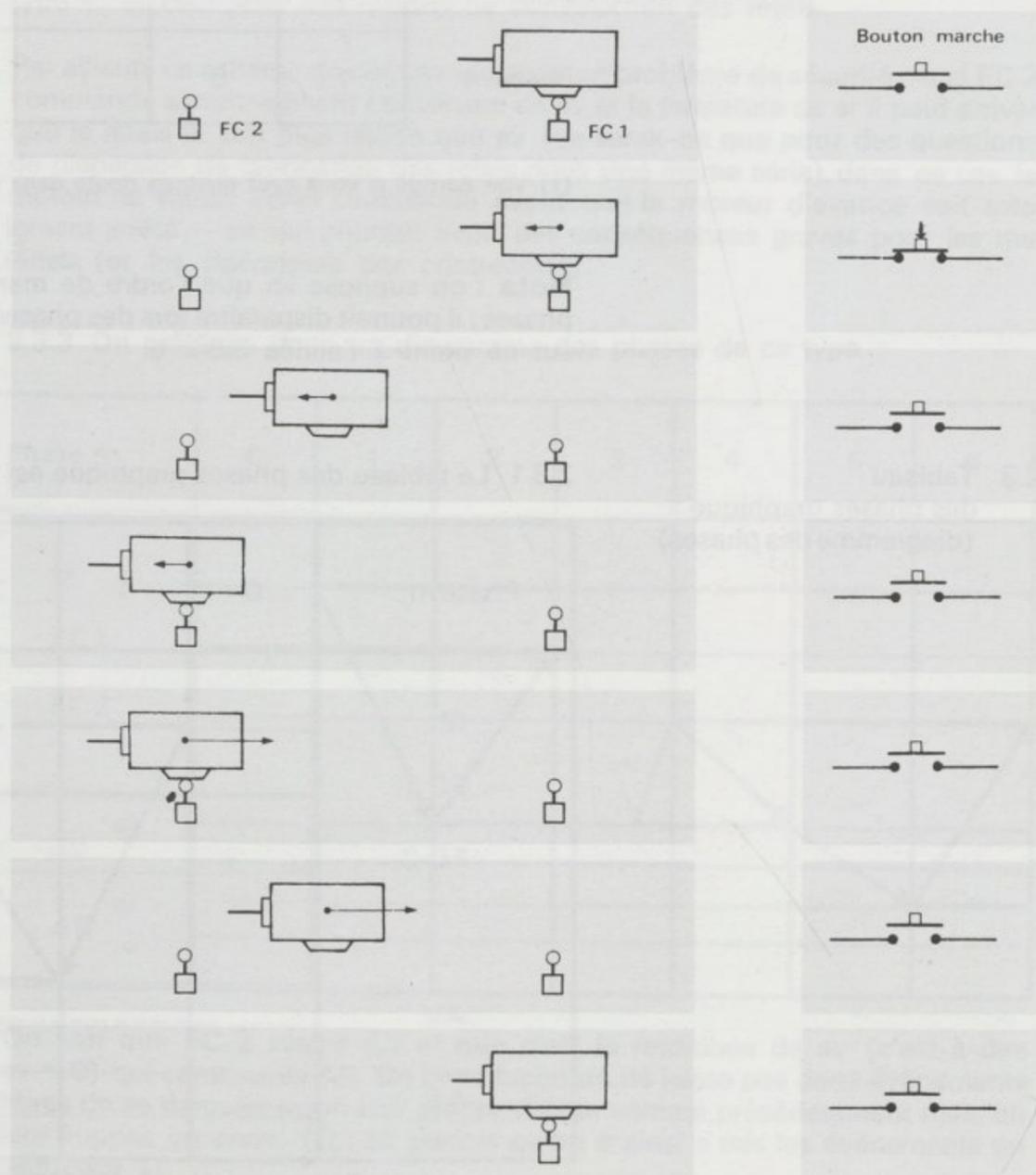
#### 1.3 Capteurs

- Un fin de course arrière
- Un fin de course avant.

#### 1.4 Cycle

- L'organe mobile est en position arrière (sur le fin de course arrière)
- Un ordre de marche (bouton marche par exemple) commande le moteur d'avance.
- L'organe mobile se déplace.
- Il actionne à un moment donné le fin de course avant.
- Le mouvement avant est alors arrêté et l'automatisme commande le mouvement arrière.
- Le mobile revient vers sa position d'origine.
- Le mouvement arrière est arrêté quand le mobile actionne le fin de course arrière.

Retrouvez ce fonctionnement sur les schémas suivants :



## 2. description logique

### 2.1 Enoncés

- Le fin de course avant est actionné : FC 1
- Le fin de course arrière est actionné : FC 2
- L'ordre de marche est envoyé : M.

Prenons la technologie électromécanique à titre d'exemple (nous verrons en conclusion que ces raisonnements sont indépendants de la technologie choisie). On ajoutera donc les énoncés :

- la bobine du relais commandant le moteur d'avance est excitée : AV
- une paillette de ce relais alimente le moteur d'avance : av
- la bobine du relais commandant le moteur de retour est excitée : AR
- une paillette de ce relais alimente le moteur de retour : ar

### 2.2 Tableau des phases logique

Expliquez les premières phases décrites ainsi : (1)

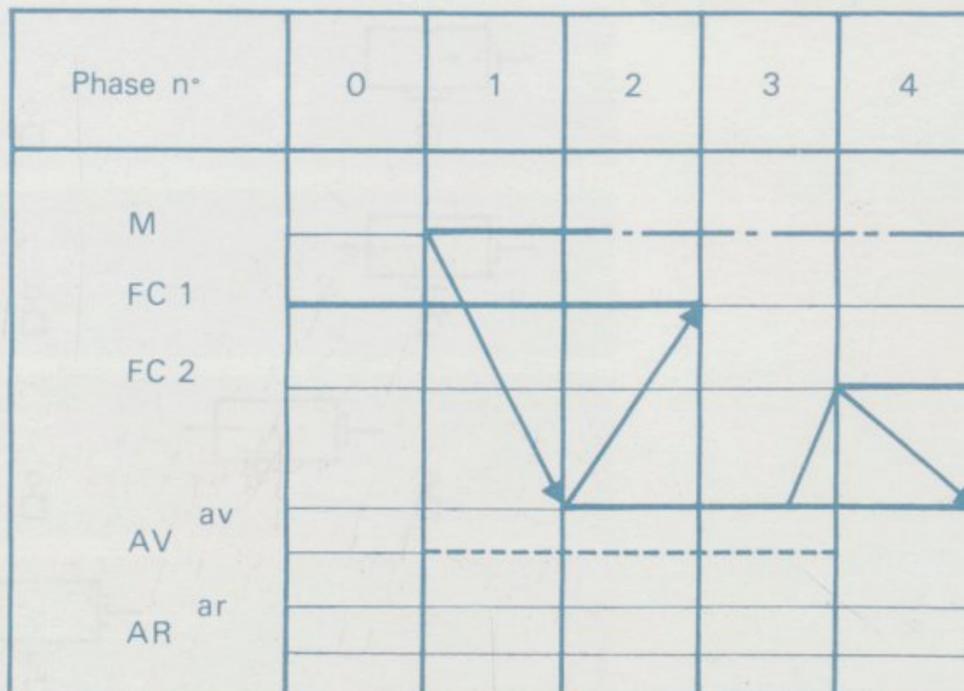
	M	FC 1	FC 2	AV	av	AR	ar
Phase 0	0	1	0	0	0	0	0
Phase 1	1	1	0	1	0	0	0
Phase 2	1	1	0	1	1	0	0
Phase 3	1	0	0	1	1	0	0
Phase 4	1	0	1	0	1	0	0

(1) Voir corrigé si vous avez quelque doute dans l'interprétation de ce tableau.

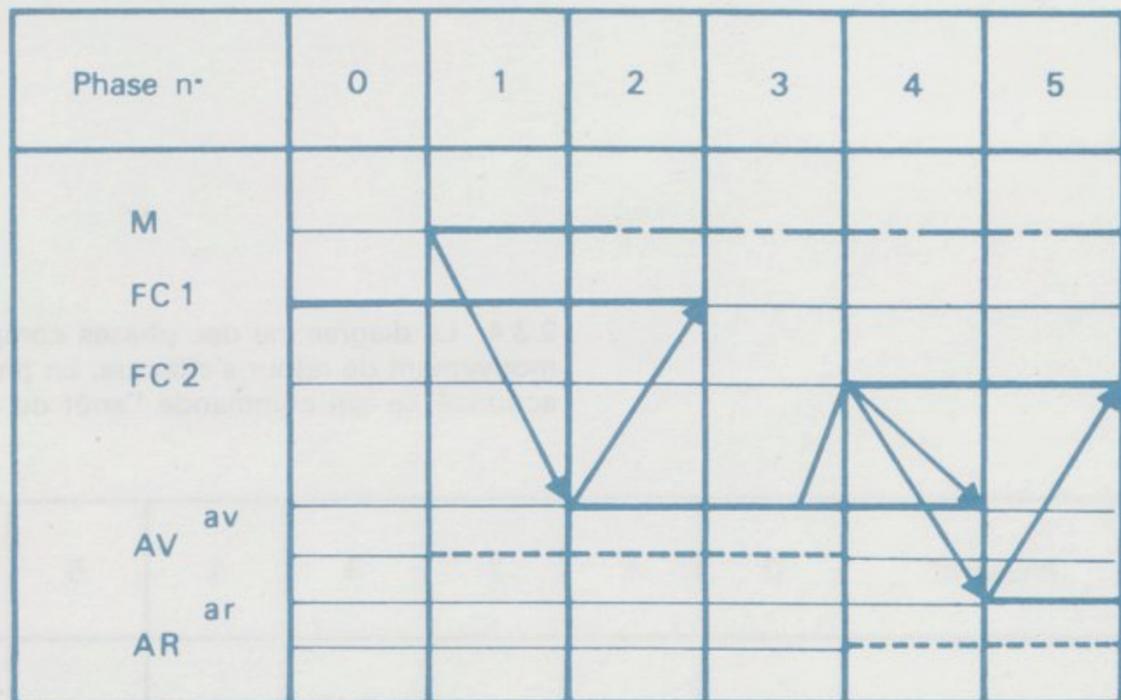
**Nota :** on suppose ici que l'ordre de marche est maintenu pendant toutes ces phases ; il pourrait disparaître lors des phases 2 ou 3 par exemple. Nous reviendrons sur ce point à l'alinéa 3.3.2 b.

### 2.3 Tableau des phases graphique (diagramme des phases)

2.3.1 Le tableau des phases graphique est alors le suivant :



2.3.2 En début de phase 4, FC 2 est actionné, ce qui coupe AV ; on pourrait penser vouloir commander simultanément AR, ce qui donnerait le schéma des phases suivant :

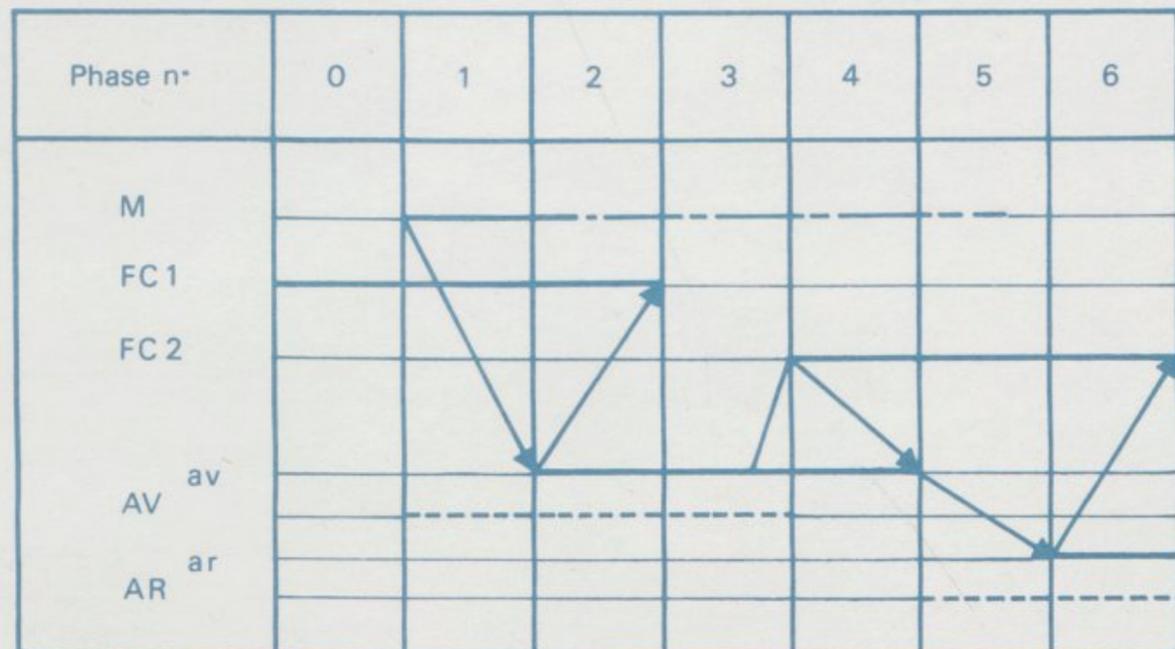


En fait ceci est impossible car la simultanéité de 2 événements est pratiquement impossible à réaliser. Expliquons-nous.

On a vu que av et ar sont les énoncés des paillettes de relais commandant les moteurs d'avance et de retour. Il n'est pas possible qu'au même instant (qui est le début de la phase 5) la paillette d'avance (av) coupe le contact (en phase 5 av = 0) et que la paillette de retour (ar) l'établisse (en phase 5 ar = 1) car les deux relais ont leurs propres temps de réponse d'une part et d'autre part le temps d'ouverture d'un contact (av passe de 1 à 0) est différent du temps de fermeture (ar passe de 0 à 1) même pour des relais de même type — et ceci pour des raisons de construction des relais.

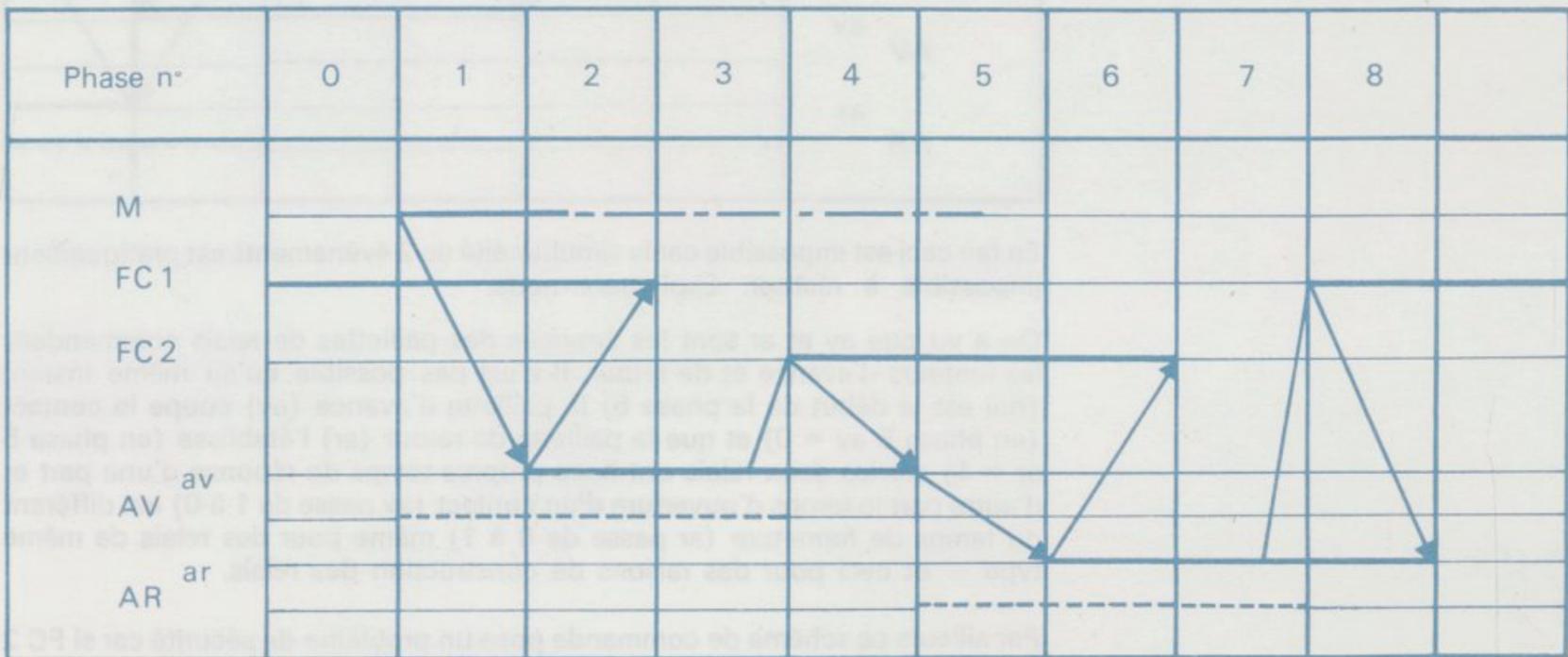
Par ailleurs ce schéma de commande pose un problème de sécurité car si FC 2 commande simultanément l'ouverture de av et la fermeture de ar il peut arriver que le relais ar soit plus rapide que av (ne serait-ce que pour des questions de dispersion de fabrication des relais dans une même série), dans ce cas le moteur de retour serait commandé avant que le moteur d'avance soit totalement arrêté — ce qui pourrait avoir des conséquences graves pour les matériels (et les opérateurs par contrecoup).

2.3.3 On préférera donc un diagramme des phases de ce type :



On voit que FC 2 coupe AV et que c'est la retombée de av (c'est-à-dire av = 0) qui commande AR. De cette façon on ne laisse pas deux événements libres de se dérouler selon leur propre vitesse comme précédemment mais on leur impose un *ordre*. (On dit parfois qu'on a ainsi « mis les événements en séquence »).

2.3.4 Le diagramme des phases complet tient compte de la phase 7 où le mouvement de retour s'effectue. En phase 8 le fin de course arrière FC 1 est actionné, ce qui commande l'arrêt du mouvement de retour.



### 3. équation logique

3.1

Comme on l'a vu dans la commande de porte automatique par exemple, les automatismes à séquences utilisent des mémoires. Pratiquement ces dispositifs sont tels que l'on provoque à un moment donné, l'apparition d'un signal de commande en sortie, ce signal est ramené à l'entrée et sert à « auto-alimenter » la mémoire ; l'arrêt de la mémoire est généralement provoqué en interrompant au moment voulu ce signal de retour (tout ceci a été développé dans les schémas du Skip auxquels on pourra se reporter).

On remarque ainsi que dans les informations logiques de commande on va trouver les ordres d'armement et de désarmement des mémoires — par exemple ici M et les capteurs FC1, FC 2 — et les auto-maintiens des mémoires, c'est-à-dire des contacts de AV et AR (c'est-à-dire av et ar).

On retient donc que le système pourra être commandé par M, FC 1, FC 2 et par les sorties des mémoires de commande des moteurs d'avance et de retour av et ar.

3.2 Que vont commander ces informations ?

Elles vont commander les bobines des relais AV et AR qui seront à auto-maintien comme le montre l'examen des phases 3 et 7 où la sortie des relais est à l'état 1 alors qu'il n'y a aucun ordre appliqué de la part de M, FC 1 ou FC 2 (nous reviendrons sur le cas de M à l'alinéa 3.3.2 b, le bouton M a pu être relâché immédiatement et on ne peut compter sur la présence de cet ordre pour assurer l'ensemble du mouvement d'avance).

La commande des relais AV et AR est représentée sur le diagramme des phases par un trait pointillé.

3.3 Equation logique de AV

3.3.1 L'entrée de AV est VRAIE dans les phases 1, 2, 3 (on considère le trait pointillé représentant l'état VRAI de l'entrée de la mémoire AV). Cette entrée correspond à l'alimentation de la bobine du relais.

*Phase 1*

Elle est logiquement caractérisée par la valeur VRAIE de la composition

$$M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge \overline{av} \wedge \overline{ar}$$

**Nota :** le  $\overline{av}$  de cette composition signifie que la paillette à fermeture de AV n'a pas encore eu le temps d'établir le contact entre ses bornes en phase 1.

*Phase 2*

La composition  $M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}$  y est vraie

*Phase 3*

La composition  $M \wedge \overline{FC 1} \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}$  y est vraie

d'où

$$AV = (M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge \overline{av} \wedge \overline{ar}) \vee (M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}) \vee (M \wedge \overline{FC 1} \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar})$$

### 3.3.2 Plusieurs remarques sont ici nécessaires :

- a) d'après ce qui a été bien précisé le « AV » à gauche du signe = représente l'ordre d'alimentation de la bobine du relais ; les « av » à droite représentent des états de paillette du relais,
- b) cette équation s'établit en relevant dans la colonne de chaque phase intéressée l'état des informations logiques de commande (qui ont été détaillées à l'alinéa 3.1).

Elle peut se lire ainsi :

AV doit être VRAI (c'est-à-dire commandé) quand les compositions ET à droite du signe égal sont VRAIES (chacune de ces compositions étant vraie dans une phase et une seule).

On remarque qu'on a supposé M toujours VRAI c'est-à-dire que l'opérateur a continué d'appuyer M.

Cela peut être ou ne pas être et il faut tenir compte de cette deuxième éventualité dans les phases 2 et 3 (pas dans la phase 1 car c'est  $M = 1$  qui la provoque).

Ainsi dans la phase 2 la composition

$M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}$  est VRAIE si  $M = 1$  alors AV est commandé. Si l'on veut que AV reçoive un ordre de commande dans cette phase, même si M a été relâché, il faut tenir compte de la composition  $\overline{M} \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}$ . La commande de AV en phase 2 se fera donc par l'ensemble :  
 $(M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}) \vee (\overline{M} \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar})$ .

Cette expression se simplifie ainsi :

$FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar} \wedge (M \vee \overline{M}) = FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}$  (on voit que M a disparu).

De même en phase 3 la commande de AV se fera par l'ensemble

$(M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}) \vee (\overline{M} \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar})$  qui se simplifie ainsi :

$\overline{FC 1} \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar} \wedge (M \vee \overline{M}) = \overline{FC 1} \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}$  (on voit que M a disparu).

En conséquence l'équation de AV devient :

$$AV = (M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}) \vee (\overline{FC 1} \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar})$$

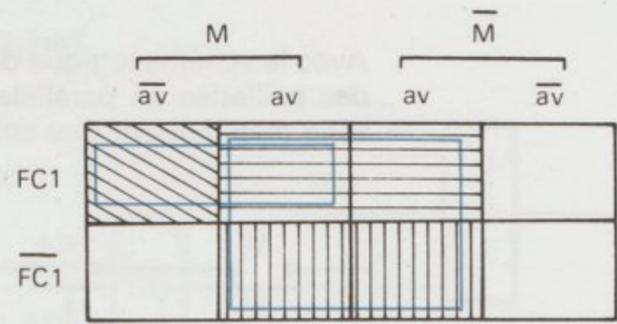
C'est pour rappeler l'indécision où nous sommes sur l'état de M que l'on trace sur le diagramme des phases un trait interrompu en face de M.

On retiendra comme *règle* (voir les exemples des phases 2 et 3 traités ci-dessus) que dans les phases où la commande d'une mémoire doit être assurée, que M soit VRAI ou FAUX, l'énoncé M disparaît dans la composition ET correspondante.

#### 4. simplification logique

On met  $\overline{FC 2} \wedge \overline{ar}$  en facteur dans l'équation de AV :  
 $AV = \overline{FC 2} \wedge \overline{ar} \wedge (M \wedge FC 1 \wedge \overline{av} \vee FC 1 \wedge av \vee \overline{FC 1} \wedge av)$

Utilisons le tableau de Karnaugh pour simplifier la parenthèse :  
 $M \wedge FC 1 \wedge \overline{av} \vee FC 1 \wedge av \vee \overline{FC 1} \wedge av$

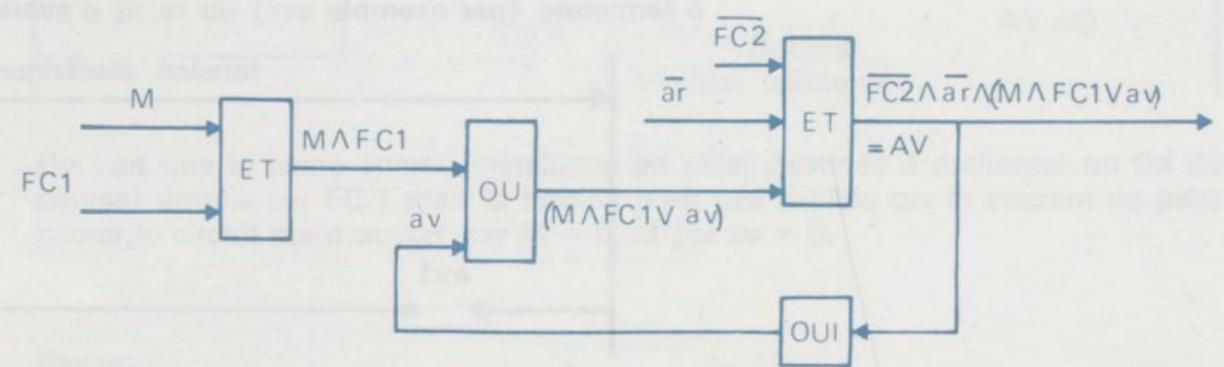


On obtient  $M \wedge FC 1 \vee av$   
 d'où  $AV = \overline{FC 2} \wedge \overline{ar} \wedge (M \wedge FC 1 \vee av)$

#### 5. schéma logique

5.1

De cette équation on déduit le schéma logique suivant :

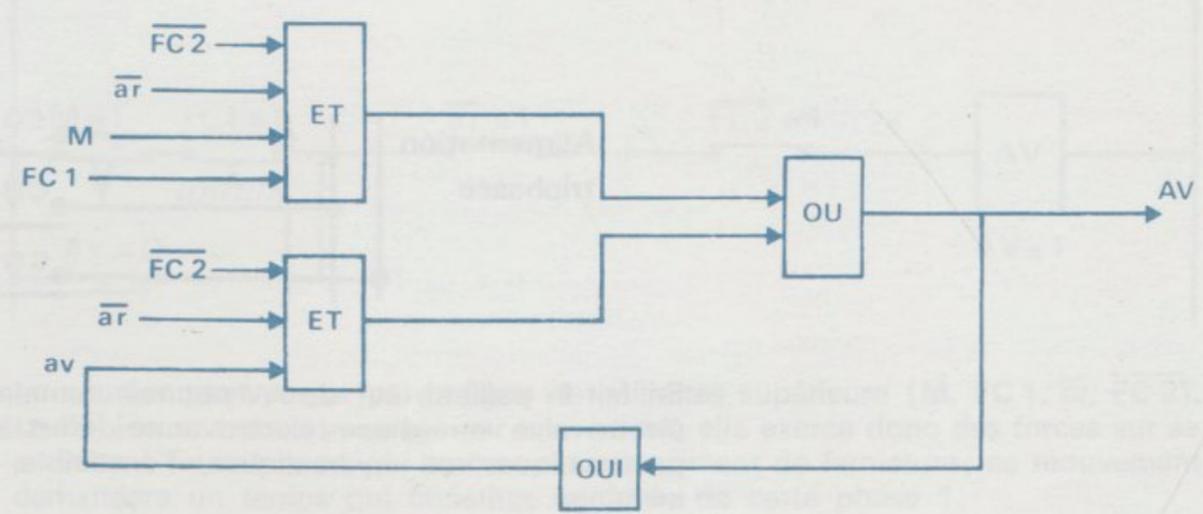


On met en place les circuits logiques pour engendrer la sortie AV. A partir de cette sortie le bouclage de la mémoire s'effectue en ajoutant un opérateur OUI qui nous fournit av (en effet on se souvient qu'entre l'énoncé de la bobine d'un relais [AV] et l'énoncé de sa paillette à fermeture [av] il y a une relation d'opérateur OUI).

5.2

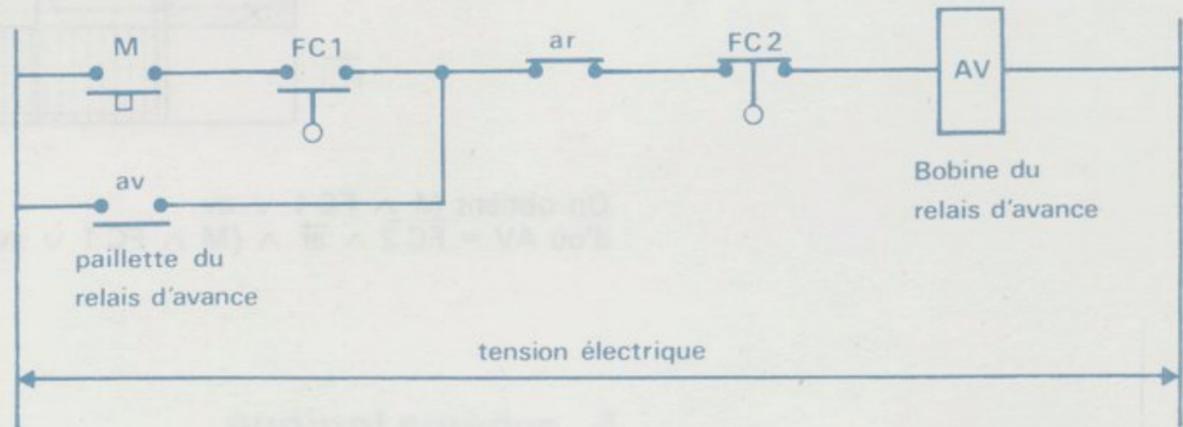
En développant l'équation logique de AV on obtient :  
 $AV = (\overline{FC 2} \wedge \overline{ar} \wedge M \wedge FC 1) \vee (\overline{FC 2} \wedge \overline{ar} \wedge av)$ .

D'où un autre schéma logique équivalent :



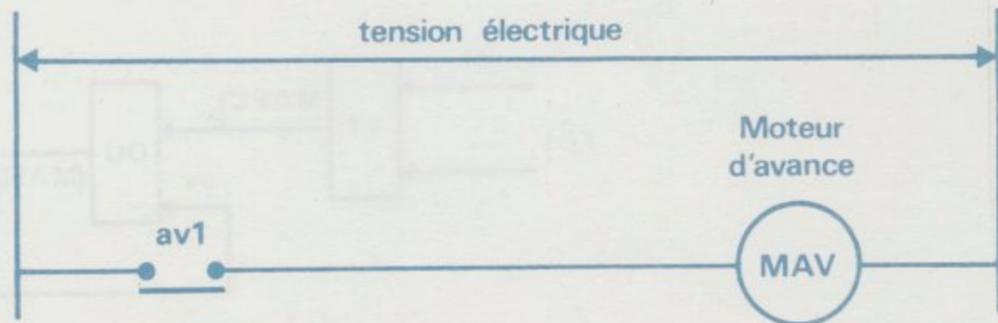
## 6. schéma de câblage

Avec le schéma logique de l'alinéa 5.1, et en se souvenant qu'en électromécanique des paillettes en parallèle matérialisent une composition OU et des paillettes en série matérialisent une composition ET, on obtient le schéma de câblage suivant :

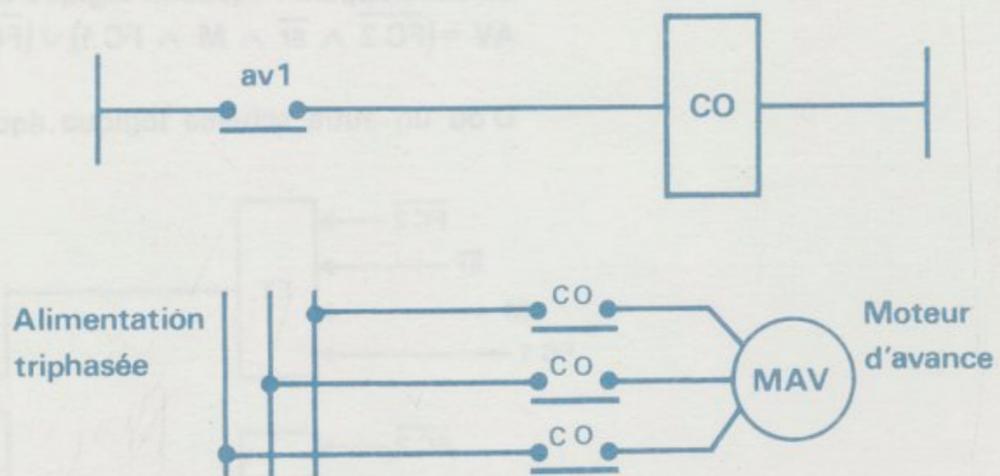


Les règles de passage du schéma logique au schéma de câblage électromagnétique sont revues et commentées dans le corrigé.

La commande de l'actionneur, le moteur d'avance, se fera avec une autre paillette à fermeture (par exemple  $av_1$ ) du relais d'avance AV :



Assez généralement le relais d'avance de l'unité logique n'est pas de dimension et de caractéristique électrique suffisantes pour commander directement l'alimentation du moteur. Il commande alors la bobine d'un plus gros relais (contacteur que nous appellerons  $co$  par exemple) et c'est ce contacteur qui commande le moteur. Avec un moteur triphasé on obtient ainsi le schéma de principe suivant :



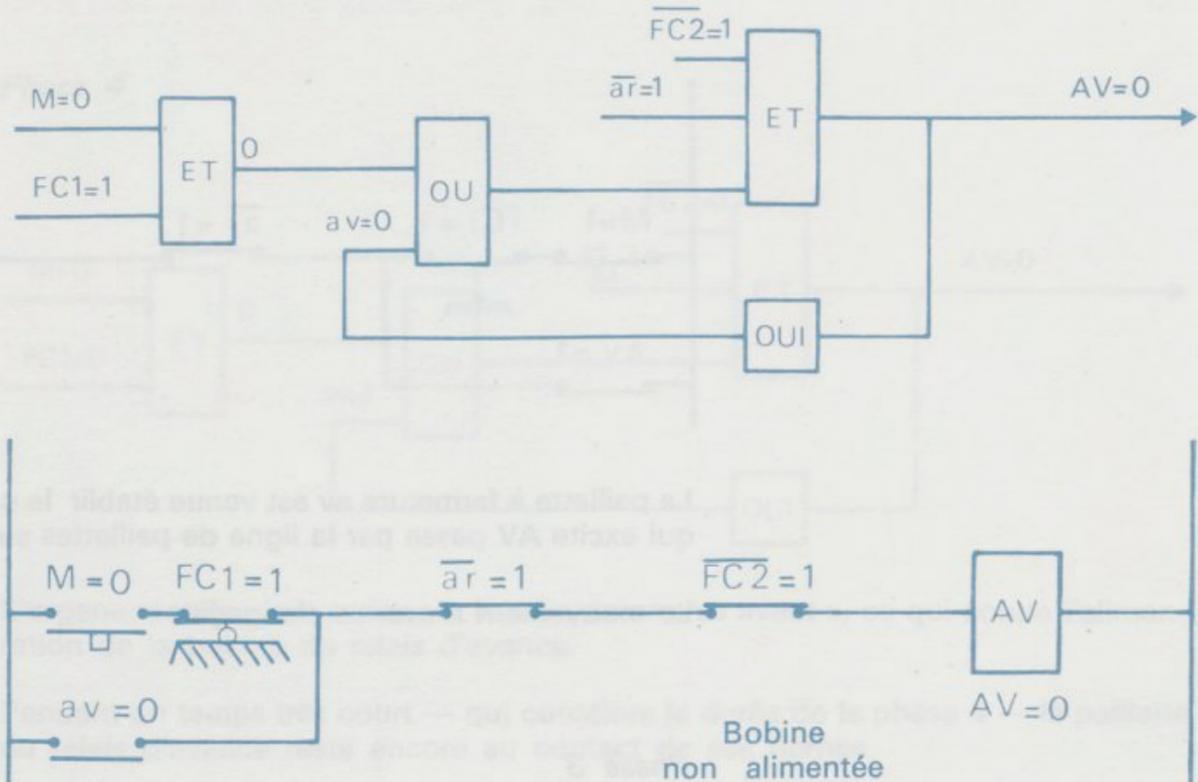
En fait la paillette  $av_1$  de AV pourrait commander aussi bien l'ouverture d'une électrovalve ou d'une électrovanne, c'est-à-dire commander des dispositifs pneumatiques ou hydrauliques, l'ensemble de l'étude précédente demeure inchangé.

## 7. tableau des phases et fonctionnement de l'automatisme

Pour bien comprendre la liaison concrète qui existe entre le tableau des phases et ces schémas il est important que vous suiviez avec attention l'étude de synthèse que nous allons faire.

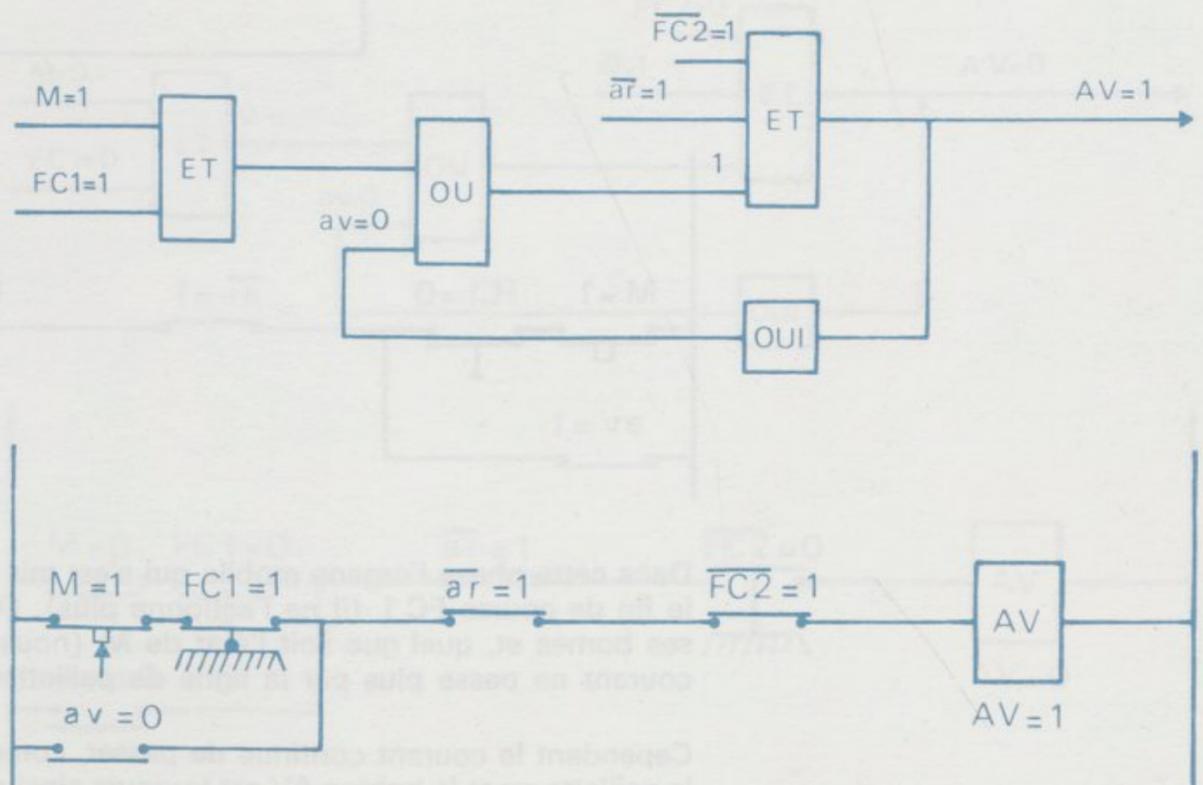
Reprenez le diagramme des phases final (alinéa 2.3.4) et nous allons examiner ensemble l'état des schémas pour chacune d'entre elles.

### Phase 0 (phase origine)



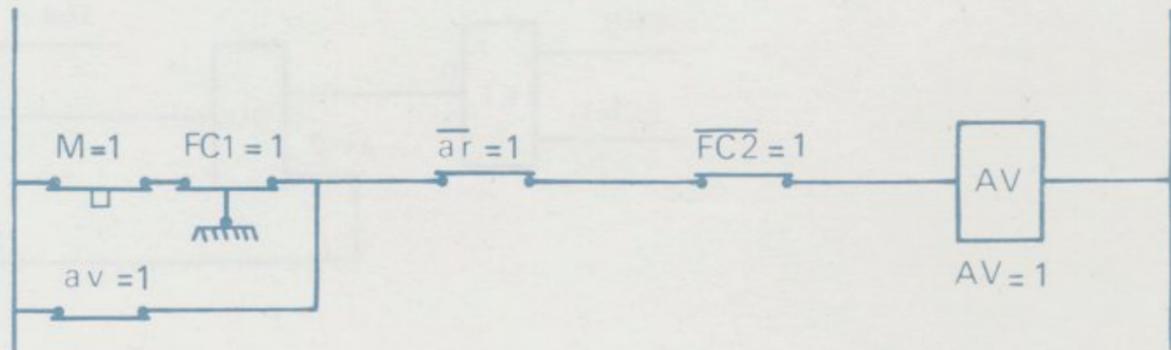
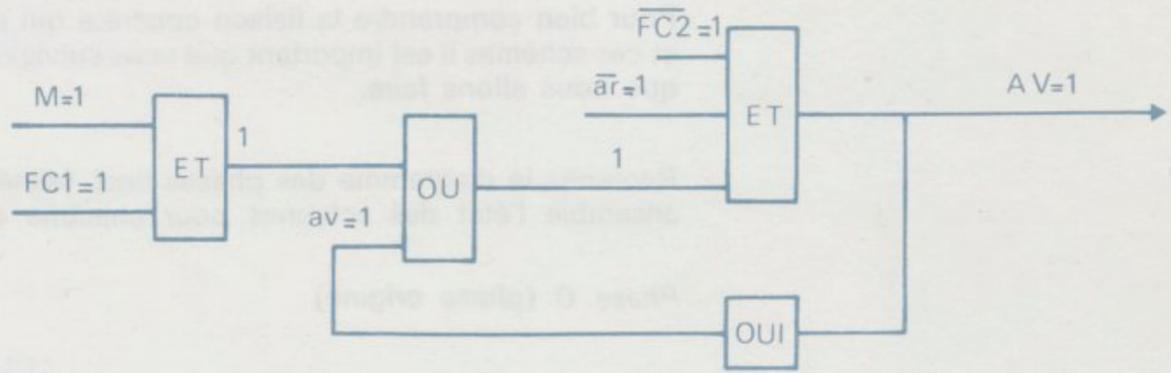
On voit que la came (partie métallique en relief destinée à actionner un fin de course) appuie sur FC 1 mais la bobine n'est pas excitée car le courant ne peut passer, le circuit étant ouvert par  $M = 0$ , et par  $av = 0$ .

### Phase 1



Le courant peut passer par la ligne de paillettes supérieure ( $M$ ,  $FC 1$ ,  $\bar{ar}$ ,  $\overline{FC 2}$ ). La bobine se trouve traversée par un courant, elle exerce donc des forces sur sa paillette à fermeture  $av$  qui amorce un mouvement de fermeture; ce mouvement demandera un temps qui constitue la durée de cette phase 1.

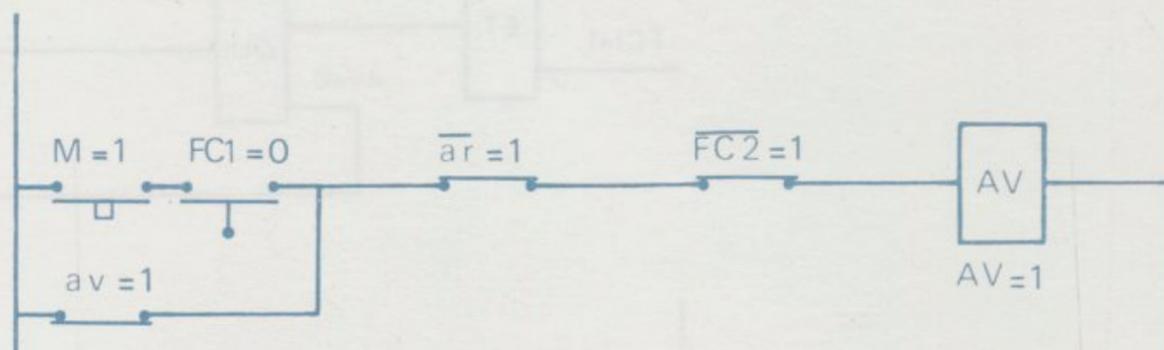
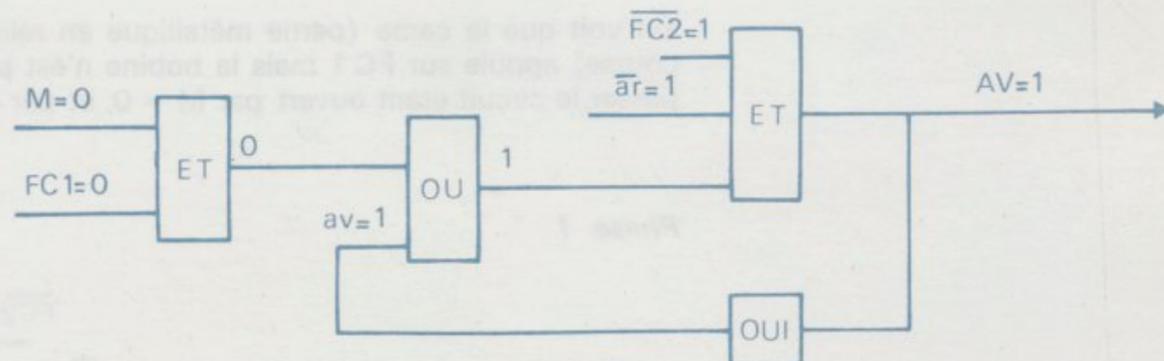
### Phase 2



La paillette à fermeture av est venue établir le contact entre ses bornes. Le courant qui excite AV passe par la ligne de paillettes supérieure (M, FC 1) et par av.

Le mouvement d'avance s'engage.

### Phase 3

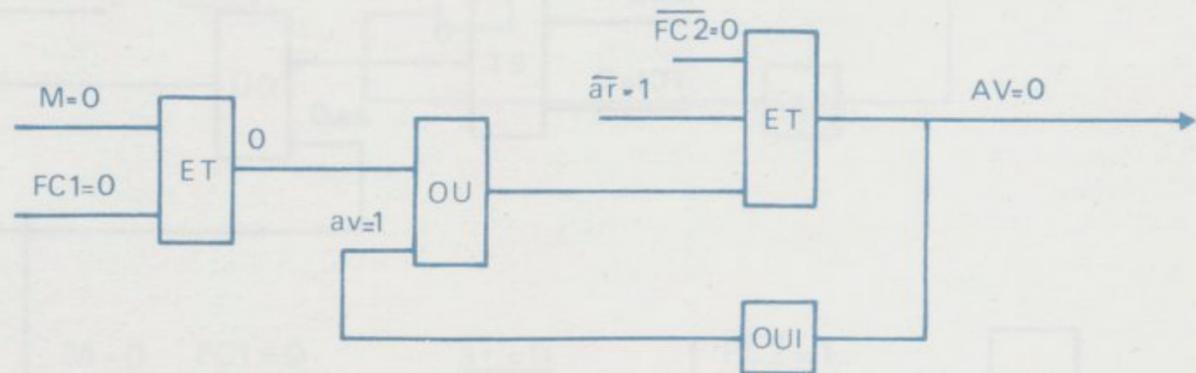


Dans cette phase l'organe mobile qui s'est mis en mouvement vers l'avant quitte le fin de course FC 1 (il ne l'actionne plus). FC 1 n'établit plus le contact entre ses bornes et, quel que soit l'état de M (nous avons supposé ici M relâché), le courant ne passe plus par la ligne de paillettes M, FC 1.

Cependant le courant continue de passer, comme dans la phase précédente, par la paillette av et la bobine AV est toujours ainsi alimentée — ce qui assure la tenue en position de av au contact de ses bornes.

On voit dans cette phase l'aspect pratique de la conservation en « mémoire » de l'ordre M donné à la phase 1 : la bobine AV continue d'être alimentée par sa paillette (dite « d'auto-maintien ») av.

Phase 4

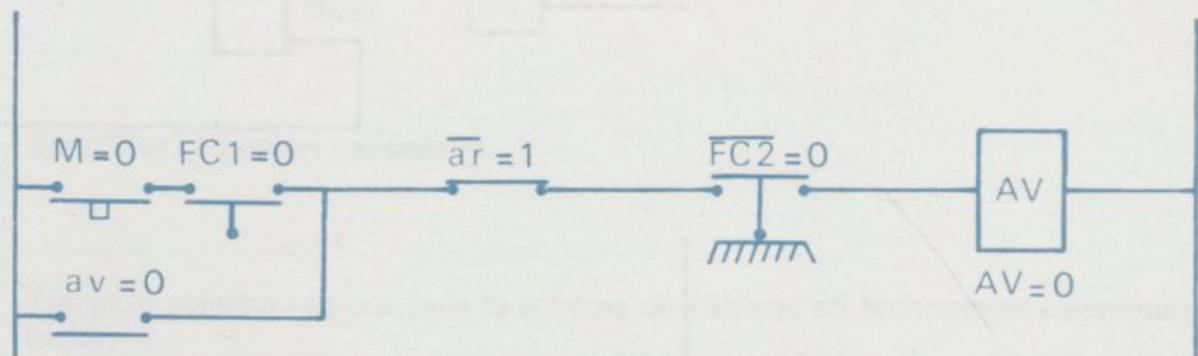
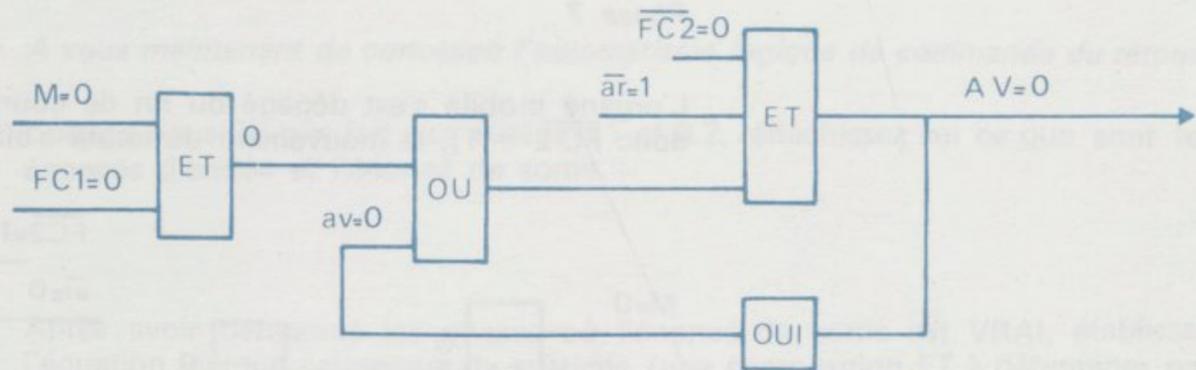


L'organe mobile vient actionner le « fin de course avant », ce qui coupe l'alimentation de la bobine du relais d'avance.

Pendant un temps très court — qui constitue la durée de la phase 4 — la paillette du relais d'avance reste encore au contact de ses bornes.

Phase 5

La paillette d'auto-maintien retombe.

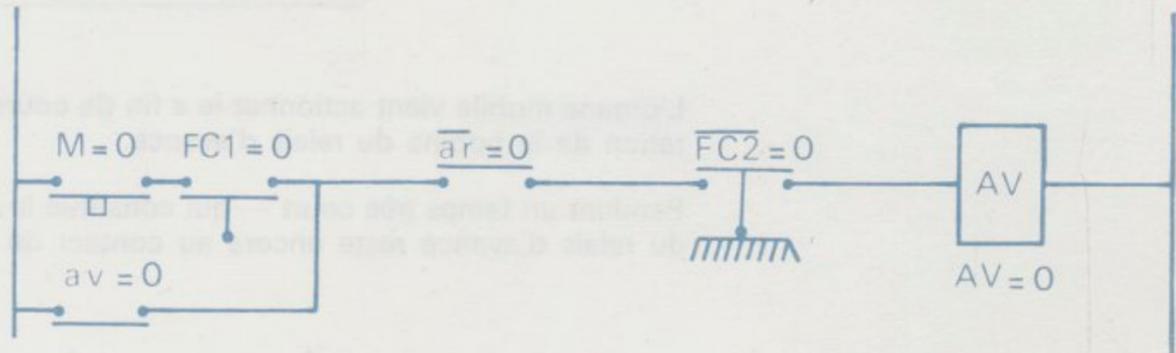
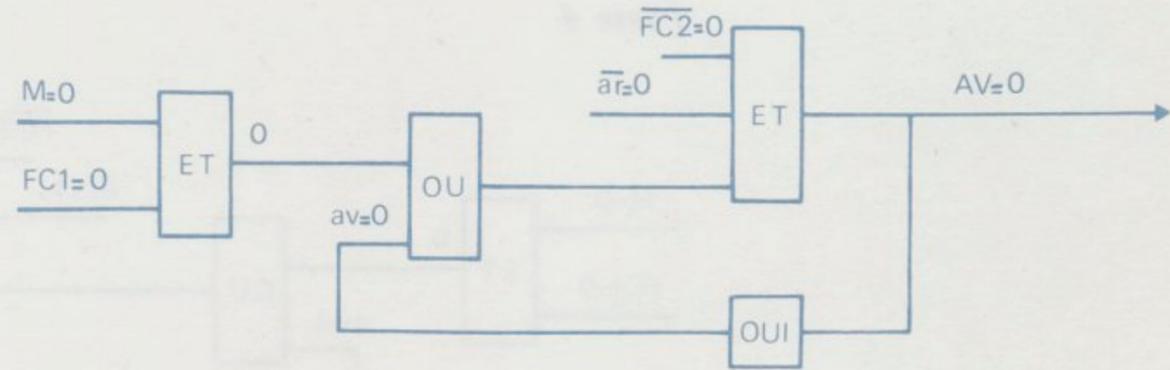


On note par ailleurs que la bobine du relais commandant le retour se trouve alimentée dans cette phase ( $AR = 1$ ) mais que la paillette à fermeture de ce relais n'a pas encore coupé le contact entre ses bornes ( $\bar{ar} = 1$ ). (1)

(1) Vous établirez vous-même, dans un instant, le schéma de commande de AR (§ 8).

**Phase 6**

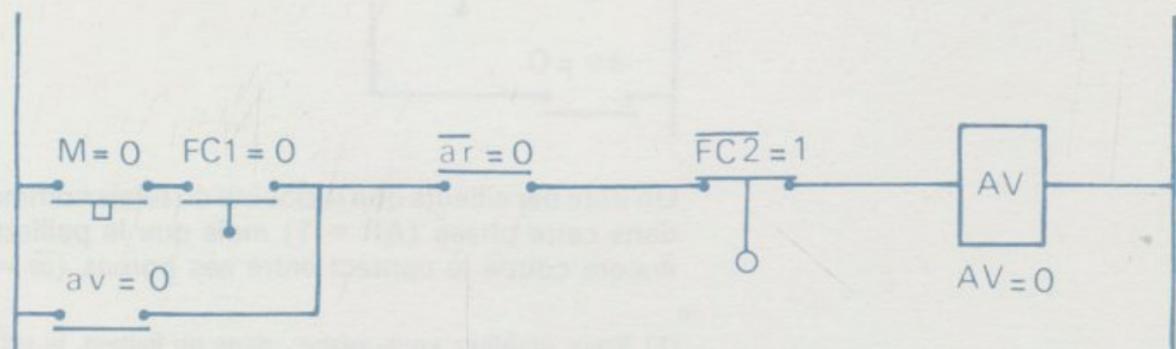
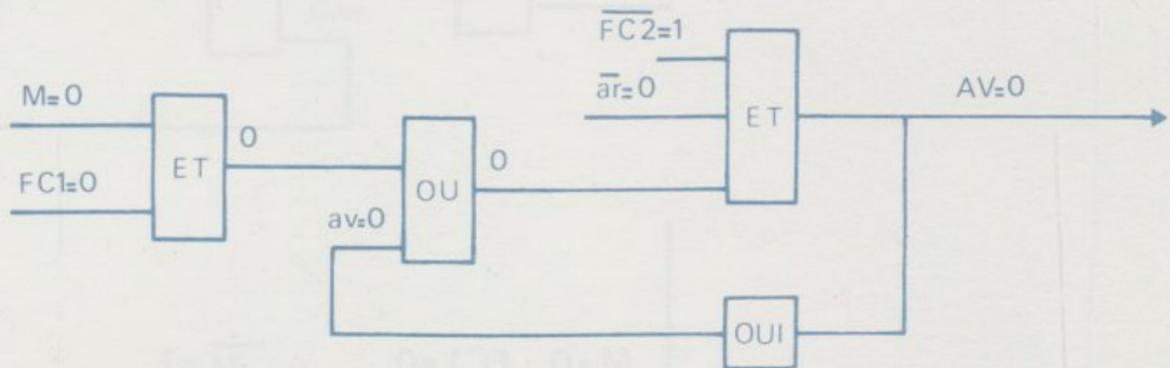
La paillette à fermeture  $\bar{ar}$  ouvre le contact entre ses bornes ( $\bar{ar} = 0$ ).



**Nota :** Parallèlement le mouvement de retour est commandé par une paillette à fermeture ar du relais AR.

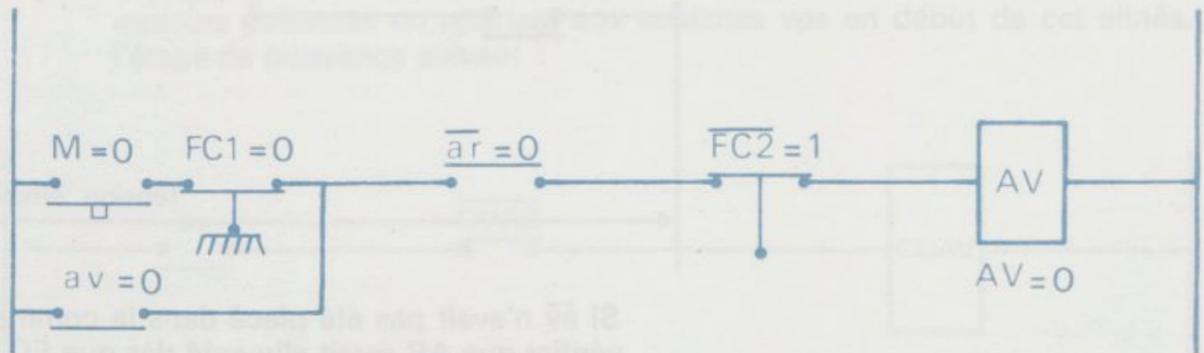
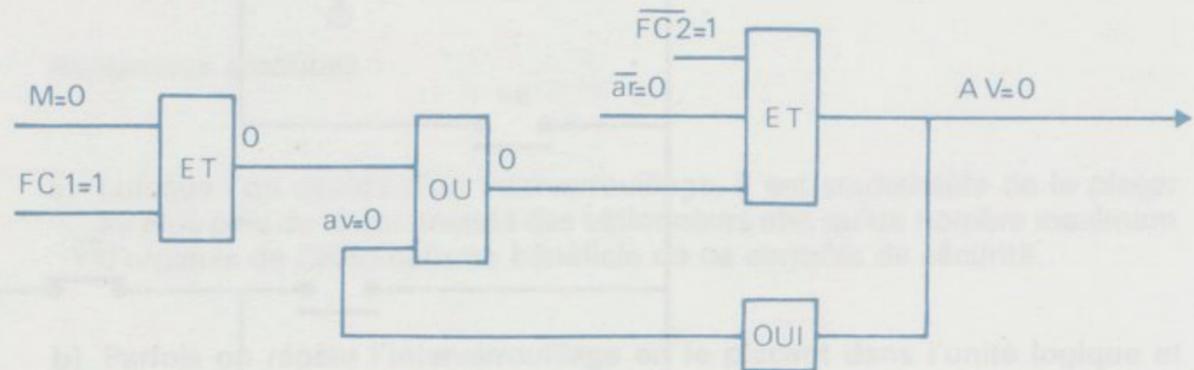
**Phase 7**

L'organe mobile s'est dégagé du fin de course avant qui retombe ( $FC 2 = 0$  donc  $\overline{FC 2} = 1$ ), le mouvement de retour s'effectue.



### Phase 8

L'organe mobile revient sur le fin de course arrière. Le cycle commandé est terminé.



Dans la phase suivante la paillette à fermeture  $\bar{ar}$  du relais de retour AR retombera ce qui ramènera le système à son état d'origine vu en phase 0.

## 8. dispositif de commande du retour

*A vous maintenant de concevoir l'automatisme logique de commande du retour !*

8.1

Comme nous l'avons fait aux alinéas 3.1 et 3.2, réfléchissez sur ce que sont les énoncés d'entrée et l'énoncé de sortie.

8.2

Après avoir déterminé les phases où l'énoncé de sortie est VRAI, établissez l'équation logique canonique du système (une composition ET à déterminer par phase).

8.3

Simplifiez l'équation canonique.

8.4

Tracez le schéma logique puis le schéma de câblage en technologie électromécanique.

8.5

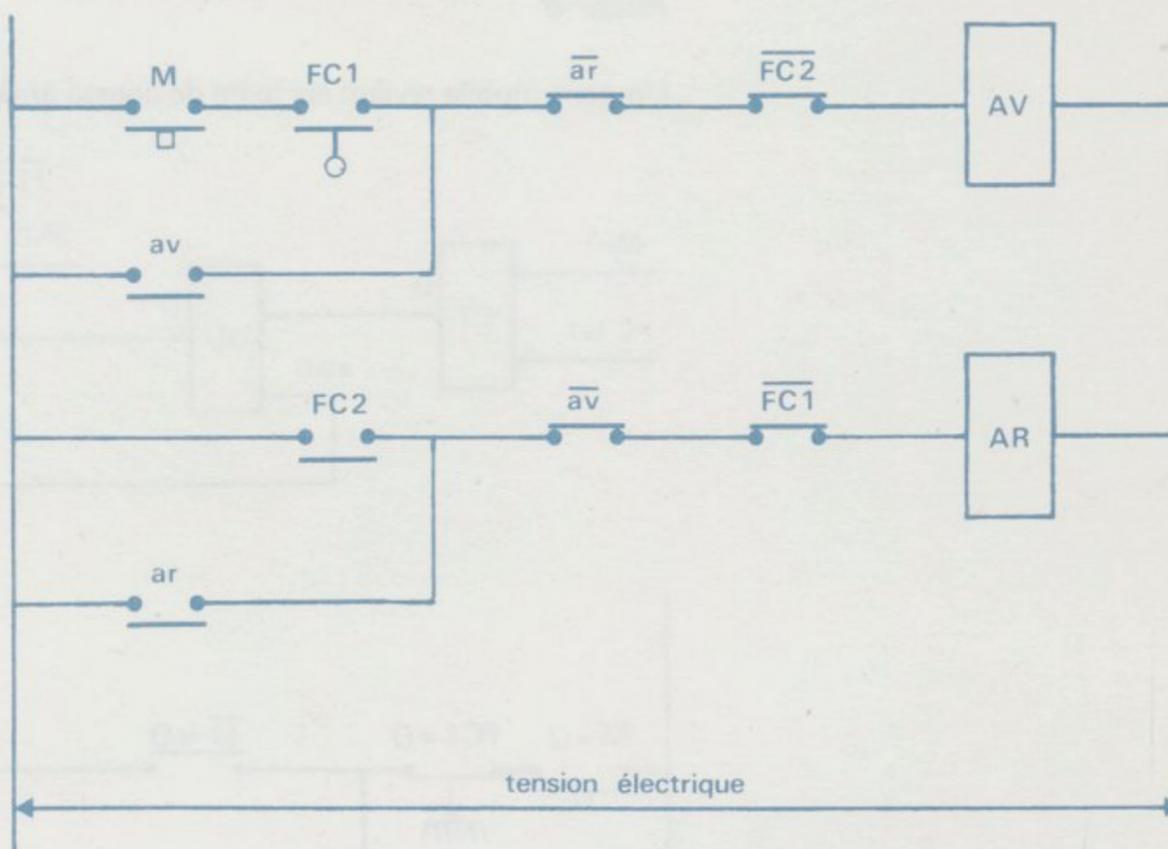
Vérifiez ensuite l'automatisme trouvé en examinant son comportement phase par phase afin de vérifier que AR est commandé aux phases voulues (comme nous l'avons fait au § 7 pour AV).

## 9. commentaires

### 9.1 Notion d' « interverrouillage »

Regardons si le problème soulevé aux alinéas 2.3.2 et 2.3.3 a été bien résolu (à savoir que les relais de commande des actionneurs ne doivent pas risquer d'être alimentés simultanément).

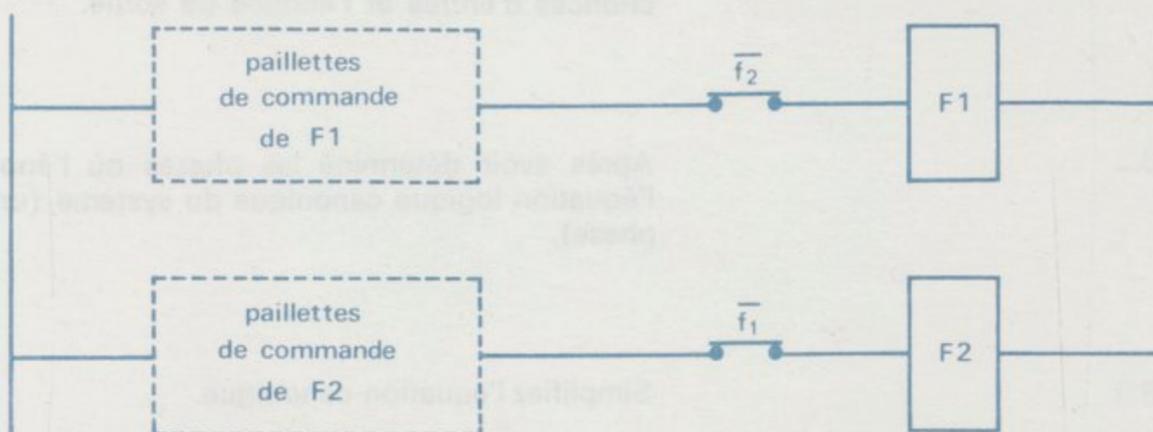
Prenons les schémas suivants :



Si  $\bar{av}$  n'avait pas été placé dans la commande de AR vous pouvez aisément vérifier que AR serait alimenté dès que FC 2 est actionné (et ceci même si AV est encore alimenté). Ainsi  $\bar{av}$  ne permet à AR d'être alimenté que lorsque la bobine AV n'est plus alimentée et que ses paillettes sont revenues en position dite de « repos ».

De même la paillette  $\bar{ar}$  dans la commande de AV ne permet pas de relancer un autre cycle de mouvements tant que le relais de commande du retour est excité.

Cette contrainte est très générale et dès qu'il existe deux fonctions logiques (disons F 1 et F 2) qui ne doivent jamais être commandées simultanément (pour des raisons de sécurité par exemple) on vérifiera la présence d'un  $\bar{f}_2$  dans la commande de F 1 et d'un  $\bar{f}_1$  dans la commande de F 2 (comme ici on trouve un  $\bar{ar}$  dans la commande de AV et un  $\bar{av}$  dans la commande de AR).



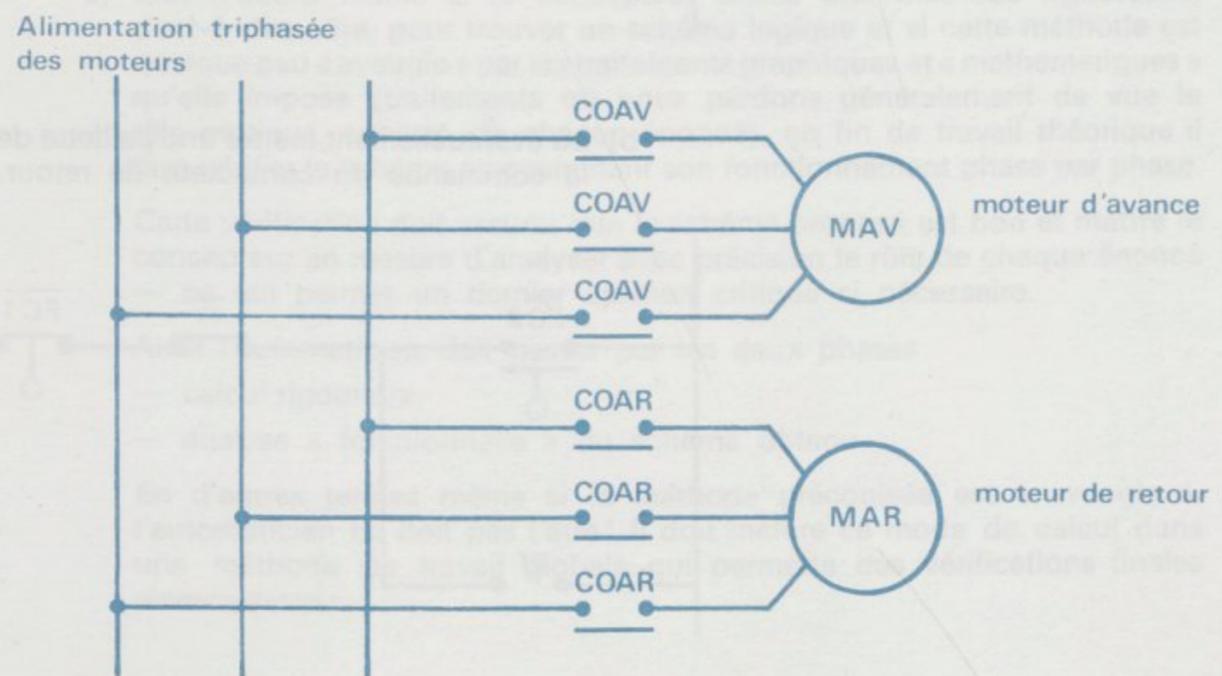
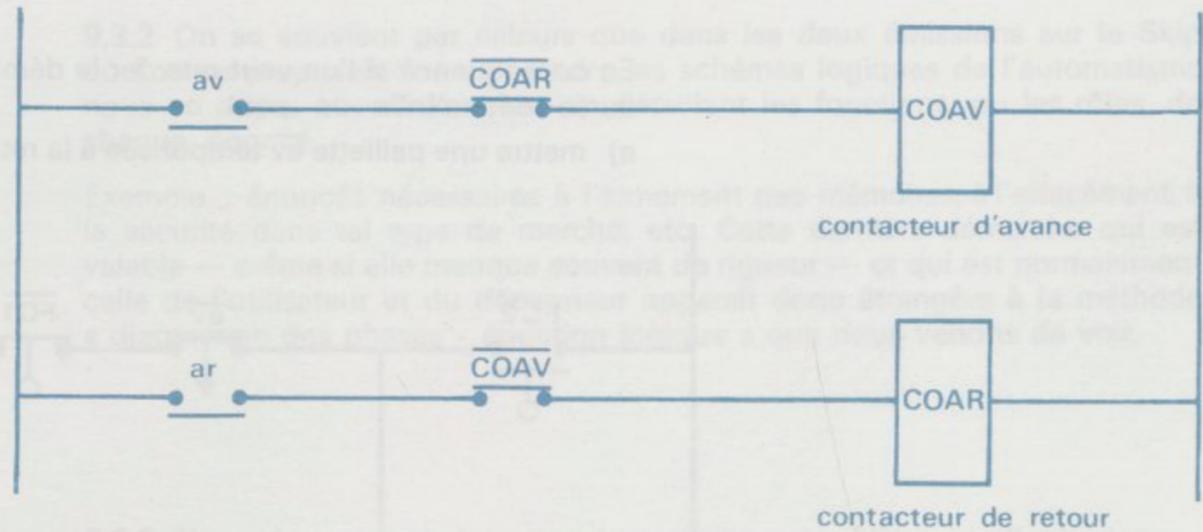
Cette disposition est appelée « interverrouillage » et deux organes de l'automatisme sont dits « interverrouillés » s'ils ne peuvent être alimentés simultanément quelle que soient les erreurs pouvant apparaître dans la logique de commande.

Exemple : dans les schémas de cet alinéa AV et AR sont interverrouillés par paillettes à ouverture ( $\bar{av}$  et  $\bar{ar}$ ).

Il existe d'autres possibilités d'interverrouillage d'organes de commande suivant les technologies.

**Remarques pratiques :**

- a) Lorsque l'on décide d'un interverrouillage, il est souhaitable de le placer au plus près de la commande des actionneurs afin qu'un nombre maximum d'organes de l'automatisme bénéficie de ce contrôle de sécurité.
- b) Parfois on répète l'interverrouillage en le plaçant dans l'unité logique et dans les organes de puissance. Ainsi si AV et AR commandent des contacteurs (COAV et COAR par exemple) capable d'attaquer des moteurs puissants on ajoutera aux schémas vus en début de cet alinéa, l'étage de puissance suivant :



**Nota :** Il y aurait lieu d'ajouter des fusibles, des protections thermique et électromagnétique dans l'alimentation des moteurs mais... ceci est du ressort d'un cours d'électrotechnique.

## 9.2 Temporisation d'interverrouillage

Un autre point pratique important, et qu'il faut connaître en conception, est le suivant :

Pour des raisons technologiques on ne peut parfois commander un actionneur immédiatement après un autre et un temps d'attente fixé (0,2 seconde par exemple) est nécessaire.

Par exemple si un moteur électrique tourne dans un sens et que l'on veut inverser le sens de rotation on pourra donner comme consigne à l'automatisme :

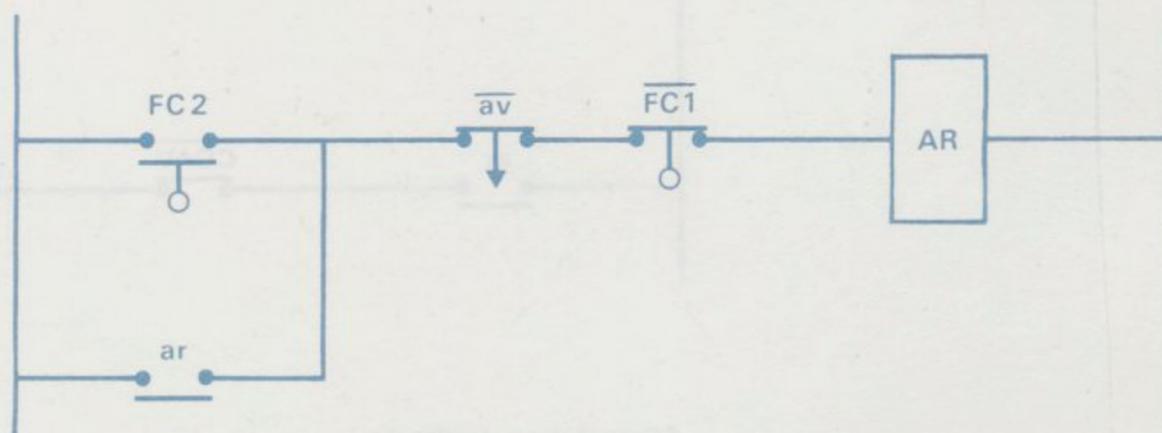
- arrêter la commande de marche avant,
- attendre 1 seconde (temps nécessaire à ce moteur pour s'immobiliser)
- commander la marche arrière, qui inverse deux des 3 fils de l'alimentation triphasée du moteur, ensuite.

En se reportant d'une part au diagramme des phases et en se rappelant ce qui a été détaillé au début de l'alinéa 9.1 on voit :

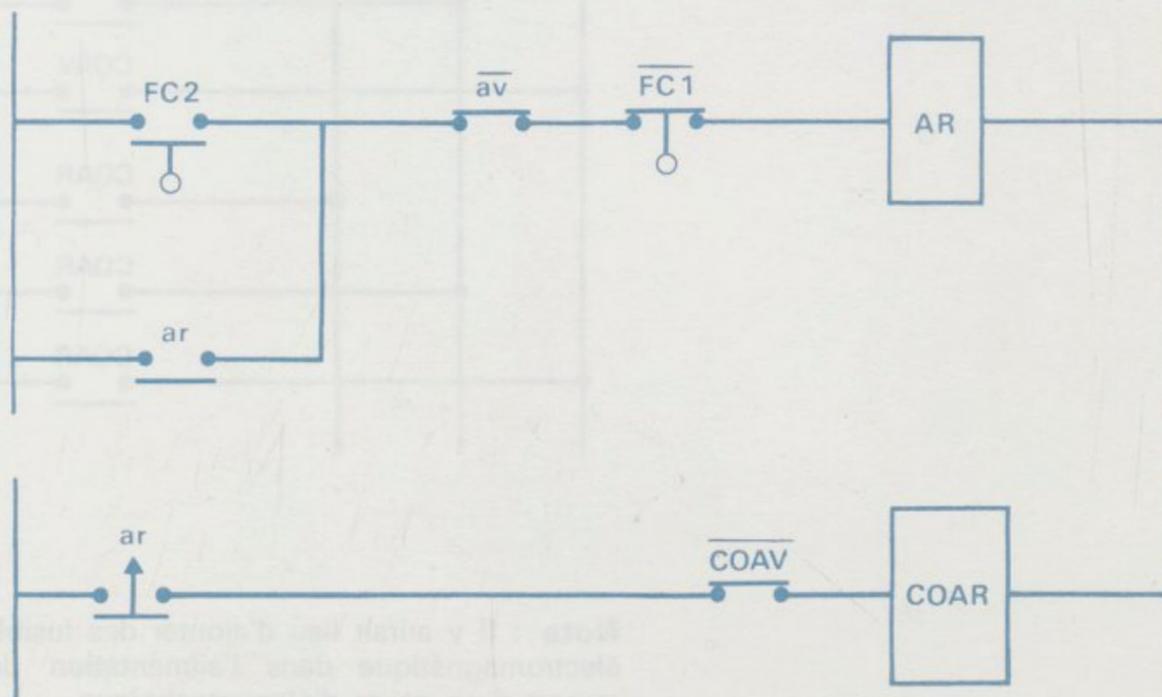
- que la bobine AR est excitée à partir de la retombée de  $\bar{av}$
- que l'actionneur est commandé par AR en phase 6 par la montée de la paillette ar.

En conséquence si l'on veut retarder le démarrage du moteur de retour d'une durée déterminée on peut :

- mettre une paillette  $\bar{av}$  temporisée à la retombée dans la commande de AR.



- ou éventuellement mettre une paillette de AR temporisée à la montée dans la commande du contacteur de retour.



### 9.3 Méthodes rigoureuses et méthodes intuitives

9.3.1 La méthode utilisée ici, et qui consiste à tirer les équations logiques du diagramme des phases, est rigoureuse. Cependant elle est relativement « aveugle » dans la mesure où le rôle de chacun des énoncés logiques n'apparaît pas immédiatement.

Par exemple lorsque l'on trouve l'équation :  $AR = \overline{av} \wedge \overline{FC\ 1} \wedge (FC\ 2 \vee ar)$  les rôles de FC 2, qui est le signal d'armement de la mémoire, et de  $\overline{FC\ 1}$ , qui est le signal d'effacement, sont loin d'être évidents.

Sur les schémas que l'on en déduit ces fonctions apparaissent avec plus de netteté mais c'est en fin de compte l'analyse de fonctionnement phase par phase qui renseignera en toute clarté sur le rôle exact de tel ou tel énoncé logique.

9.3.2 On se souvient par ailleurs que dans les deux émissions sur le Skip où l'on se proposait de comprendre les schémas logiques de l'automatisme nous en avons abordé l'analyse en détaillant les fonctions, ou les rôles, de chaque énoncé.

Exemple : énoncés nécessaires à l'armement des mémoires, à l'effacement, à la sécurité dans tel type de marche, etc. Cette dernière démarche qui est valable — même si elle manque souvent de rigueur — et qui est normalement celle de l'utilisateur et du dépanneur apparaît donc étrangère à la méthode « diagramme des phases - équation logique » que nous venons de voir.

9.3.3 Nous devons tirer deux conclusions de cette différence d'attitude :

- a) tout d'abord même si le concepteur utilise une méthode rigoureuse, c'est-à-dire sûre, pour trouver un schéma logique et si cette méthode est quelque peu « aveugle » par les traitements graphiques et « mathématiques » qu'elle impose (traitements où nous perdons généralement de vue le rôle pratique, concret, de chaque énoncé), en fin de travail théorique il faut *vérifier* le schéma en examinant son fonctionnement phase par phase.

Cette vérification doit assurer que le schéma proposé est bon et mettre le concepteur en mesure d'analyser avec précision le rôle de chaque énoncé — ce qui permet un dernier examen critique si nécessaire.

Ainsi l'automaticien doit passer par les deux phases

- calcul rigoureux
- analyse « fonctionnelle » du schéma obtenu.

En d'autres termes même si la méthode préconisée est « aveugle », l'automaticien ne doit pas l'être ! Il doit inclure ce mode de calcul dans une méthode de travail globale qui permette des vérifications finales clairvoyantes.

- b) on peut rendre plus intuitive la lecture du diagramme des phases et en tirer plus rapidement les équations logiques (mais avec moins de certitude aussi).

C'est ce que nous ferons d'ici quelques pages (quand vous serez un peu aguerris au diagramme des phases) et ce sera en quelque sorte la synthèse de ce qui précède et de ce qui fut la matière même des émissions sur le Skip.

#### 9.4 Organes commandés

Sans doute avez-vous noté que l' « organe de sortie » dont on tient compte dans le diagramme des phases est le dernier organe de l'unité logique, situé dans la chaîne de commande des actionneurs, dont on peut utiliser l'information logique.

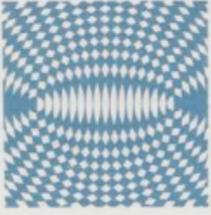
En d'autres termes, et si on se reporte à l'exemple traité, le diagramme des phases a permis de trouver les équations de AV et de AR. Sur le diagramme n'étaient portés que les énoncés susceptibles d'y participer :

- M comme ordre de Marche
- FC 1, FC 2 au titre de capteur
- av, ar par les bouclages.

En pointillé apparaissent AV et AR qui représentaient les ordres de sortie à engendrer.

Mais on n'a pas représenté d'éventuels contacteurs de sortie, le comportement propre des moteurs, etc. Cela n'est généralement pas fait car de faible utilité.

Cependant, et pour ceux que ces précisions intéressent, nous avons traité de cette question ainsi que de la justification des retards de démarrage de tel ou tel organe à prendre, ou à ne pas prendre, en compte en Annexe 1.



Après avoir rassemblé nos connaissances sur le diagramme des phases à propos d'un exemple simple et examiné quelques problèmes pratiques importants, nous allons aborder les dernières propriétés du diagramme des phases couramment utilisées en conception.

Prenons un automatisme d'un usage très général.

## 1. description des mouvements

### 1.1 Principe

Nous allons étudier le cycle d'usinage d'une « tête de perçage ».

Un tel organe entraîne un foret en rotation ; comme dans l'exemple précédent il sera animé d'un mouvement avant (ce mouvement lui permettra de venir percer la pièce à usiner) puis d'un mouvement arrière qui le ramènera en position d'origine. Un problème nouveau est posé par le fait que deux vitesses doivent être commandées pendant la marche avant.

### 1.2 Actionneurs

- un actionneur de mouvement avant permettant l'avance en vitesse rapide (AR)
- un actionneur de mouvement avant permettant l'avance en vitesse lente (AL)
- un actionneur de mouvement arrière permettant le retour en vitesse rapide (RR)
- un actionneur de rotation du foret (appelé généralement actionneur de « rotation de broche »).

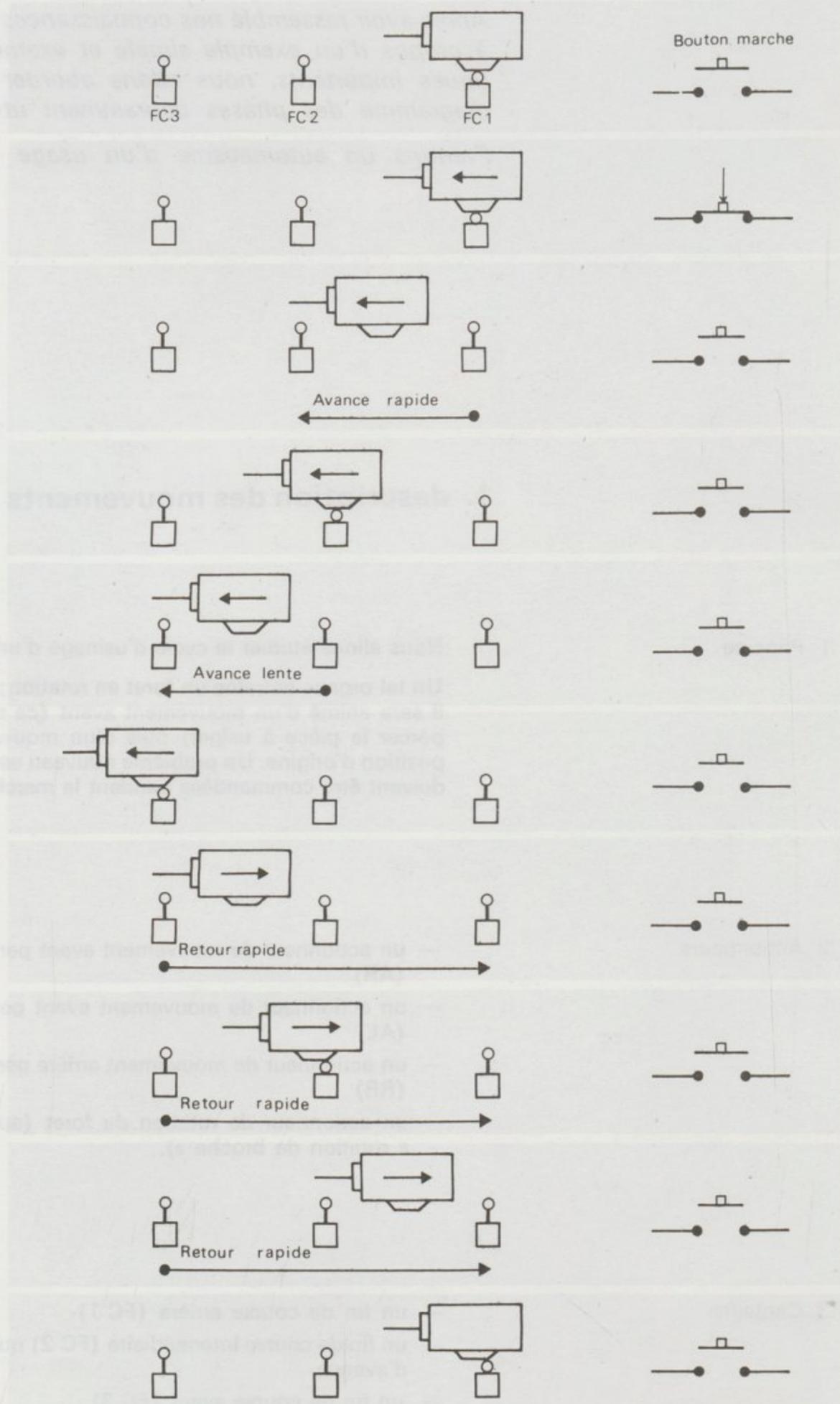
### 1.3 Capteurs

- un fin de course arrière (FC 1)
- un fin de course intermédiaire (FC 2) qui permettra de changer les vitesses d'avance
- un fin de course avant (FC 3).

1.4 Description du cycle

- l'organe mobile est en position arrière (sur le fin de course arrière)
- un ordre de marche commande l'actionneur d'avance rapide
- l'organe mobile part en vitesse d'avance rapide
- il actionne à un moment donné le fin de course intermédiaire (ce qui coupe l'avance rapide et commande l'avance lente)
- l'organe mobile continue son mouvement en avance lente
- il vient actionner le fin de course avant (ce qui coupe l'avance lente et commande le retour rapide)
- l'organe mobile revient vers sa position d'origine en vitesse de retour rapide
- il actionne le fin de course intermédiaire, ce qui ne modifie pas le retour rapide
- puis il actionne le fin de course arrière qui arrête le mouvement de retour rapide.

Retrouver ce fonctionnement sur les schémas suivants :



## 2. description logique

### 2.1 Enoncés

Que proposez-vous comme énoncés logiques pour (1) :

M :  
 FC 1 :  
 FC 2 :  
 FC 3 :  
 AR :  
 AL :  
 RR :

### 2.2 Tableau des phases graphique (diagramme des phases)

2.2.1 Etablissez vous-même ce diagramme à titre d'exercice en le présentant ainsi :

phase n°	0	1	2	3
M				
FC 1				
FC 2				
FC 3				
AR ar				
AL al				
RR rr				

2.2.2 Comparer vos résultats avec ce tableau : (1)

phase n°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
M															
FC 1															
FC 2															
FC 3															
AR ar															
AL al															
RR rr															

(1) On pourra se reporter au chapitre B. Vérifiez vos réponses avec le corrigé.

### 2.3 Action sur les fins de course

Faisons une courte halte ici pour parler d'un détail pratique qu'il est bon que vous connaissiez à propos des actions sur les fins de course.

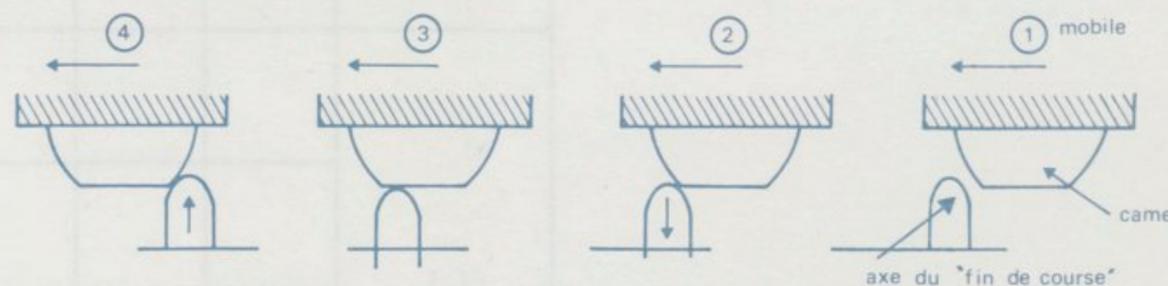
En phase 4 le mobile arrive sur FC 2. L'automatisme coupe la commande d'avance rapide, mais le mobile continue sur sa lancée étant donné la vitesse acquise (comparez à ce qui se passe avec une voiture quand on change de vitesse).

La paillette du relais AR met un certain temps à retomber (par exemple 20 milli-secondes) et en phase 5 le tableau des phases ci-dessus admet cependant que FC 2 est toujours appuyé (alors que le mobile a avancé comme on vient de le voir). La question que l'on doit se poser est alors la suivante : le mobile continuant d'avancer, est-il possible que le fin de course FC 2 reste actionné ?

Oui, mais ceci doit être prévu dans le calcul de la *came*. Voyons ce point avec un peu plus de précision.

L'axe du fin de course est terminé (à l'extérieur) par une partie sur laquelle on peut venir exercer des forces d'action. L'organe mobile exercera ses forces sur FC 2 par l'intermédiaire d'une partie métallique appelée *came*.

Schéma d'action de la came :



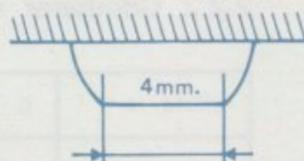
- 1 Le mobile se déplace en vitesse rapide entraînant la came qui lui est attachée.
  - 2 La partie inclinée de la came vient appuyer sur l'axe du fin de course qui s'enfonce sous cette action (les paillettes que porte cet axe sont donc déplacées d'autant).
  - 3 Le mobile continue de se déplacer et l'axe du fin de course demeure actionné.
  - 4 Le mobile qui est passé en vitesse lente continue sa course et relâche le fin de course (qui reprend sa place sous l'action d'un ressort non représenté ici).
- Les durées des phases 4 et 5 dépendent des types de relais utilisés pour AR et AL, prenons 40 millisecondes à titre d'exemple (20 ms en phase 4 et 20 ms en phase 5) :

$$1 \text{ ms} = 1 \text{ milliseconde} = \frac{1}{1000} \text{ seconde}$$

Supposons que la vitesse rapide est de 6 m/mn, soit 100 mm/sec. Pendant les phases 4 et 5 si le mobile avait continué son mouvement à la vitesse rapide il aurait parcouru :

$$\begin{aligned} \text{distance} &= \text{vitesse} \times \text{temps} \\ \text{distance} &= 100 \times \frac{40}{1000} = 4 \text{ mm.} \end{aligned}$$

En fait l'actionneur d'avance rapide ayant été déconnecté dans le cours de ces deux phases le mobile ralentit et il suffira que le fin de course soit actionné pendant une course de la came de 4 mm pour être assuré de respecter la condition : FC 2 = 1 pendant les phases 4 et 5. Sans entrer dans le détail disons que l'on pourra par exemple dimensionner la came ainsi :



En fait les phases 4 (désexcitation de AR) et 5 (excitation de AL) s'effectuent puis FC 2 continue d'être actionné pendant un petit temps supplémentaire (la longueur de la came ayant été choisie pour assurer FC 2 = 1 pendant les phases 4 et 5 avec une certaine marge de sécurité). Le mobile passe donc en vitesse lente, continue son mouvement et la came ne se dégage réellement qu'un peu après. Ce temps supplémentaire de dégagement fait l'objet de la phase 6.

En *conclusion* on retiendra que lorsque des phases s'exécutent pendant lesquelles une came doit être actionnée on procède ainsi :

- établissement du diagramme des phases avec tracé des conditions requises (ce que nous avons fait aux alinéas 2.2.1 et 2.2.2 ci-avant),
- puis vérification sur les matériels que pendant les mouvements qui s'exécutent il est effectivement possible que ces conditions soient respectées,
- calcul de la longueur de came nécessaire correspondante (pour le calcul exact d'une came on se reportera aux notices fournies par les constructeurs de relais).

### 3. équations logiques

#### 3.1 Ordres d'entrée et de sortie

Quels vont être les ordres d'entrée ?

Quels vont être les ordres de sortie ? (1)

#### 3.2 Equations logiques

3.2.1 Etablissez l'équation canonique de AR. Simplifiez en considérant que dans les phases 2 et 3 le bouton M a pu être relâché ou maintenu appuyé.

3.2.2 Etablissez l'équation canonique de AL. Simplifiez en considérant que dans les phases 5, 6 et 7 le bouton M a pu être relâché ou appuyé.

3.2.3 Etablissez l'équation canonique de RR. Simplifiez en considérant que dans les phases 9, 10, 11, 12 et 13 le bouton M a pu être relâché ou appuyé.

#### 3.2.4 Résultats

a) Equation de AR :

AR sera excité pendant les phases 1, 2 et 3. On constate que pendant ces 3 phases les états de FC 2, FC 3, al, rr demeurent inchangés ; on aura donc, dans le résultat final, une mise en facteur de la forme :

$$AR = \overline{FC 2} \wedge \overline{FC 3} \wedge \overline{al} \wedge \overline{rr} \wedge (-----)$$

Dans la parenthèse nous aurons :

Phase 1 :  $M \wedge FC 1 \wedge \overline{ar}$

Phase 2 : M appuyé  $\overline{M} \wedge FC 1 \wedge ar$   
 M relâché  $M \wedge FC 1 \wedge ar$

Phase 3 : M appuyé  $\overline{M} \wedge \overline{FC 1} \wedge ar$   
 M relâché  $M \wedge \overline{FC 1} \wedge ar$

Reportons ces termes dans un tableau de Karnaugh :

	ar		$\overline{ar}$	
	$\overline{FC 1}$	FC 1	FC 1	$\overline{FC 1}$
M	1	1	1	
$\overline{M}$	1	1		

Les 5 termes de la parenthèse se réduisent donc à :

$$ar \vee M \wedge FC 1$$

D'où :  $AR = \overline{FC 2} \wedge \overline{FC 3} \wedge \overline{al} \wedge \overline{rr} \wedge (ar \vee M \wedge FC 1)$

(1) Si vous avez quelque doute aidez-vous du chapitre B (alinéas 3.1 - 3.2) puis vérifiez sur le corrigé.

b) Equation de AL :

Comme précédemment on écrit :

$$AL = \overline{FC 1} \wedge \overline{FC 3} \wedge \overline{ar} \wedge \overline{rr} \wedge (\dots\dots\dots)$$

Dans la parenthèse nous trouvons les termes suivants que vous reconnaîtrez aisément :

$$\begin{aligned} M \wedge \overline{FC 2} \wedge \overline{al} &\vee \overline{M} \wedge \overline{FC 2} \wedge \overline{al} \\ M \wedge \overline{FC 2} \wedge al &\vee \overline{M} \wedge \overline{FC 2} \wedge al \\ M \wedge \overline{FC 2} \wedge al &\vee \overline{M} \wedge \overline{FC 2} \wedge al \end{aligned}$$

Le tableau de Karnaugh correspondant se présente ainsi :

	al		$\overline{al}$	
	$\overline{FC 2}$	FC2	FC2	$\overline{FC 2}$
M	1	1	1	
$\overline{M}$	1	1	1	

D'où :  $AL = \overline{FC 1} \wedge \overline{FC 3} \wedge \overline{ar} \wedge \overline{rr} \wedge (al \vee \overline{FC 2})$

**Nota :** Remarquons que M, ayant pu être appuyé ou relâché dans chacune des phases, n'intervient plus dans l'équation finale.

c) Equation de RR :

$$RR = \overline{FC 1} \wedge \overline{ar} \wedge \overline{al} \wedge (\dots\dots\dots)$$

Les termes de la parenthèse sont les suivants :

$$\begin{aligned} &(\overline{FC 2} \wedge \overline{FC 3} \wedge \overline{rr}) \vee (\overline{FC 2} \wedge \overline{FC 3} \wedge rr) \vee (\overline{FC 2} \wedge \overline{FC 3} \wedge rr) \\ &\vee (\overline{FC 2} \wedge \overline{FC 3} \wedge rr) \vee (\overline{FC 2} \wedge \overline{FC 3} \wedge rr) \end{aligned}$$

	rr		$\overline{rr}$	
	FC2	$\overline{FC 2}$	$\overline{FC 2}$	FC2
FC3		1	1	
$\overline{FC 3}$	1	1		

Une première simplification donne :  $(\overline{FC 2} \wedge \overline{FC 3}) \vee (\overline{FC 3} \wedge rr)$

On verra plus loin que lorsque l'on doit assurer une commande continue pendant un certain nombre de phases (ici les phases 9 à 13) les différents regroupements du tableau de Karnaugh doivent avoir une partie commune — nous vous demandons de l'admettre pour l'instant. Nous devons donc *ajouter* le terme  $rr \wedge \overline{FC 2}$  pour assurer la continuité de l'ordre de sortie au cours des phases successives où celui-ci doit être VRAI — ce qui revient à mettre en équation les regroupements suivants :

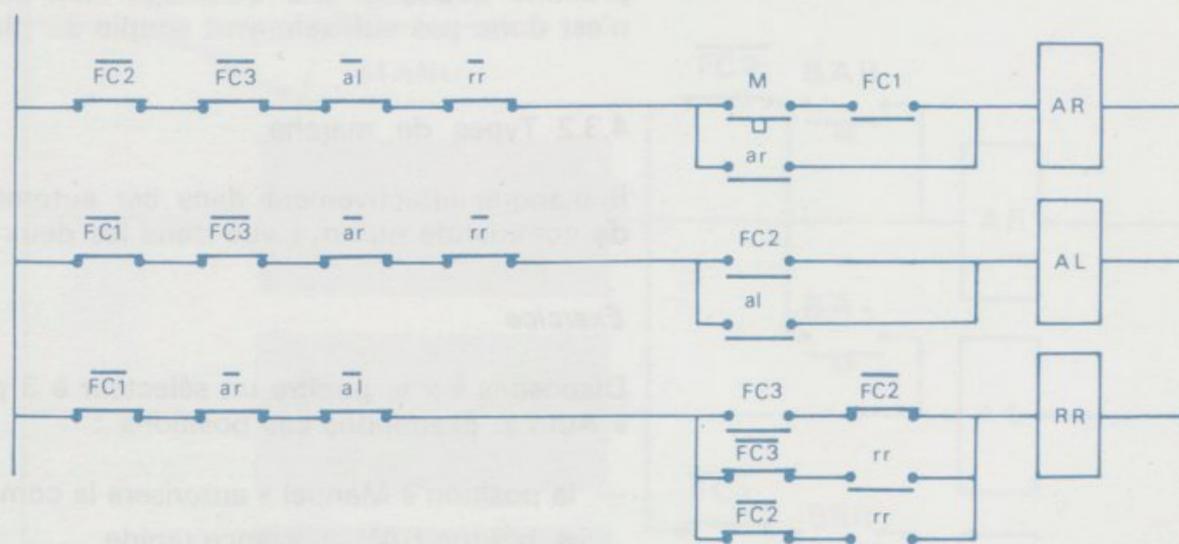
	rr		$\overline{rr}$	
	FC2	$\overline{FC 2}$	$\overline{FC 2}$	FC2
FC3		1	1	
$\overline{FC 3}$	1	1		

D'où :  $RR = \overline{FC 1} \wedge \overline{ar} \wedge \overline{al} \wedge (\overline{FC 2} \wedge \overline{FC 3} \vee \overline{FC 3} \wedge rr \vee rr \wedge \overline{FC 2})$ .

## 4. schémas logiques

4.1

Avec l'exemple d'une technologie à relais on obtient :



On voit que AR est commandé par une action sur M, le mobile étant sur le fin de course FC 1 au départ du cycle. Le maintien de l'ordre est assuré par ar et AR est désexcité quand le mobile actionne FC 2.

AL est commandé par la montée de FC 2 (et la retombée de ar). Maintien par al et désexcitation quand le mobile actionne FC 3.

RR est commandé par la montée de FC 3 (et la retombée de al), FC 2 n'étant pas actionné.

En phase 12, lorsque FC 2 est actionné, l'alimentation de RR se fait par la ligne  $\overline{FC 3} \wedge rr$ .

RR est désexcité par le retour du mobile sur FC 1.

### 4.2 Exercice

Vérifier que si l'on appuie sur le bouton marche par inadvertance à n'importe quel moment du cycle (et pendant le retour par exemple) il ne se produit pas d'incident.

### 4.3 Commentaire

De nombreuses remarques d'ordre pratique sont possibles sur ces résultats.

#### 4.3.1 Panne de courant

Si en cours de cycle une panne de courant se produit toutes les mémoires se désarment. Lorsque la tension revient l'automatisme ne peut reprendre seul la suite des opérations (sauf dans le cas très particulier où la panne s'est produite quand la tête d'usinage était sur FC 1). L'automatisme proposé n'est donc pas suffisamment souple au plan industriel.

#### 4.3.2 Types de marche

Il manque effectivement dans cet automatisme la variété des possibilités de commande qu'on a vue dans les deux émissions sur le skip.

##### *Exercice*

Disposons sur le pupitre un sélecteur à 3 positions : « Manuel », « Cycle », « Auto ». Examinons ces positions :

- la position « Manuel » autorisera la commande par 3 boutons :
  - bouton BAV : avance rapide
  - bouton BAL : avance lente
  - bouton BRR : retour rapide

Chaque mouvement est commandé tant qu'on appuie sur le bouton correspondant. Ces ordres d'avance sont coupés par FC 3, l'ordre de retour par FC 1. Le type d'avance (lente ou rapide) peut être commandé à n'importe quel endroit entre FC 1 et FC 3 (alors que la marche automatique ne commande l'avance lente que de FC 1 à FC 2, et ne commande l'avance rapide que de FC 2 à FC 3).

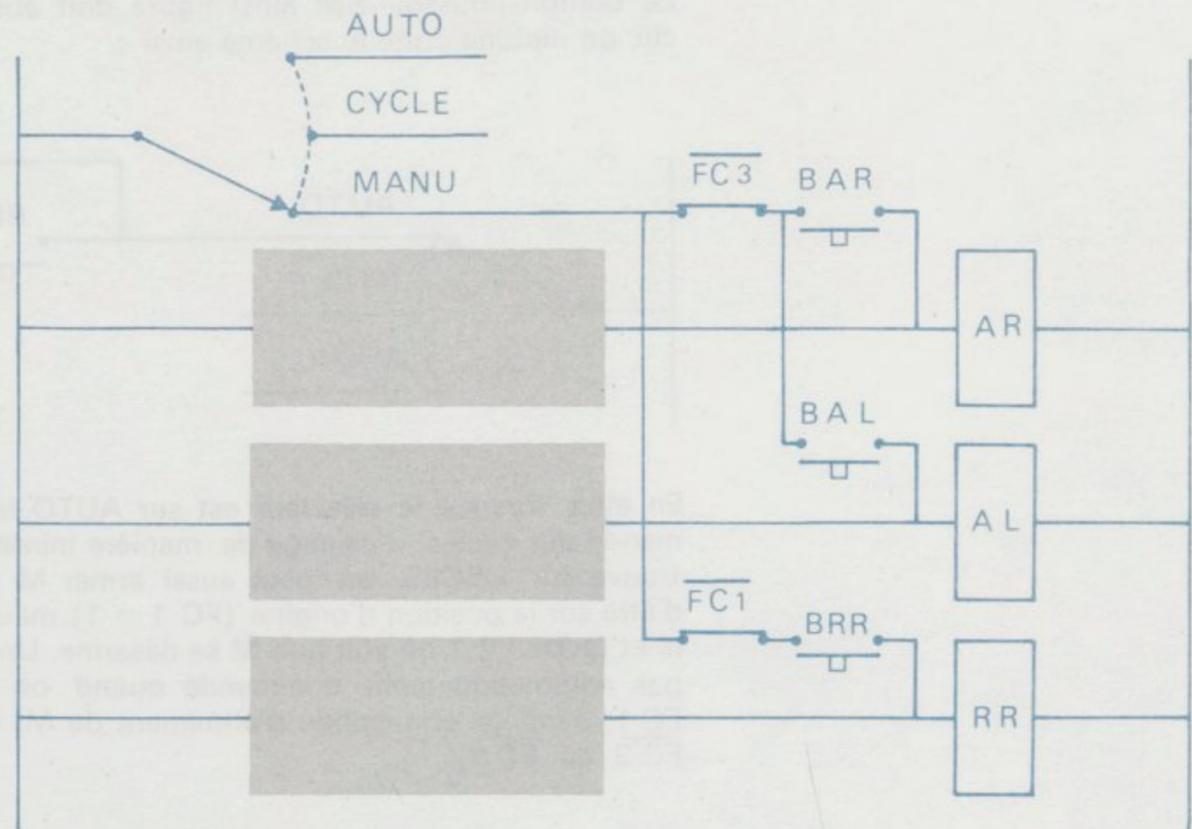
- la position « Cycle » permet de commander un cycle d'usinage tel que celui étudié aux paragraphes 1, 2, 3, 4 ci-avant par action sur le bouton « Marche »,
- la position « Auto » permet par action sur le bouton « Marche » en début de travail l'exécution de cycles ininterrompus.

Le bouton AU (Arrêt d'Urgence) coupera tout mouvement dès qu'on l'actionne (utilisation en cas de sécurité).

Le bouton AC (Arrêt cycle) ne coupera le cycle que lorsque la tête est en FC1 (utilisation en cas d'arrêt de travail normal, comme la fin de journée par exemple, où l'on veut que la tête de perçage soit revenue sur sa position d'origine pour pouvoir faire redémarrer la machine le lendemain matin en appuyant simplement sur « Marche »).

Ajoutez ces commandes en raisonnant directement sur les schémas à relais donnés à l'alinéa 4-1 de ce paragraphe (si vous avez quelque hésitation revoyez comment la mise en place de ces moyens a été abordée sur le skip).

### Résultats



Les rectangles ombrés représentent l'ensemble des paillettes de commande de AR, AL, RR, que l'on a tracées à l'alinéa 4.1 ci -avant.

#### « Manuel »

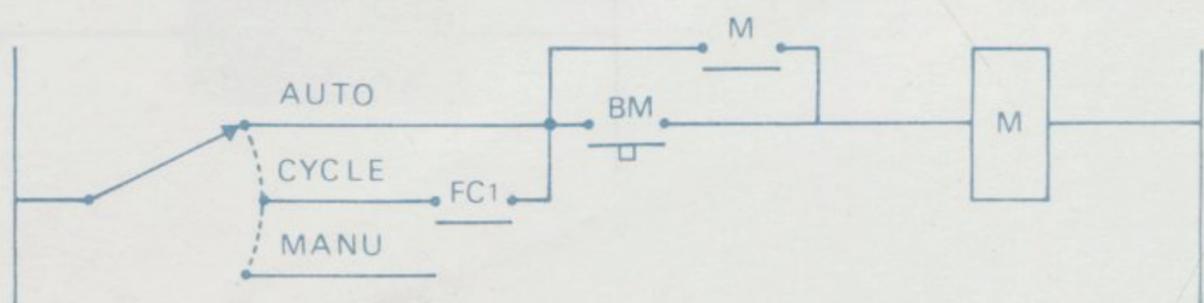
Le sélecteur à trois positions est indiqué à la partie supérieure de ce schéma à relais. On voit que lorsqu'il se trouve en position MANU on peut amener la tension qui commandera les relais AR, AL, RR grâce aux boutons BAR, BAL, BRR. La coupure de cette commande est assurée automatiquement par FC 1 et FC 3 aux extrémités avant et arrière de la course possible.

#### « Cycle »

Comme on l'a dit ce cas revient pour l'essentiel au problème déjà traité et sera achevé avec la marche automatique.

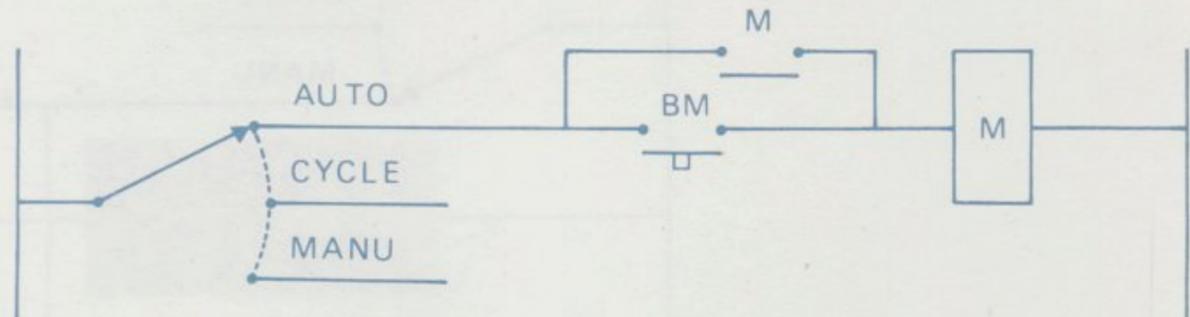
#### « Auto »

Comme déjà vu lors du skip, le bouton marche (BM) arme une mémoire de marche (M).



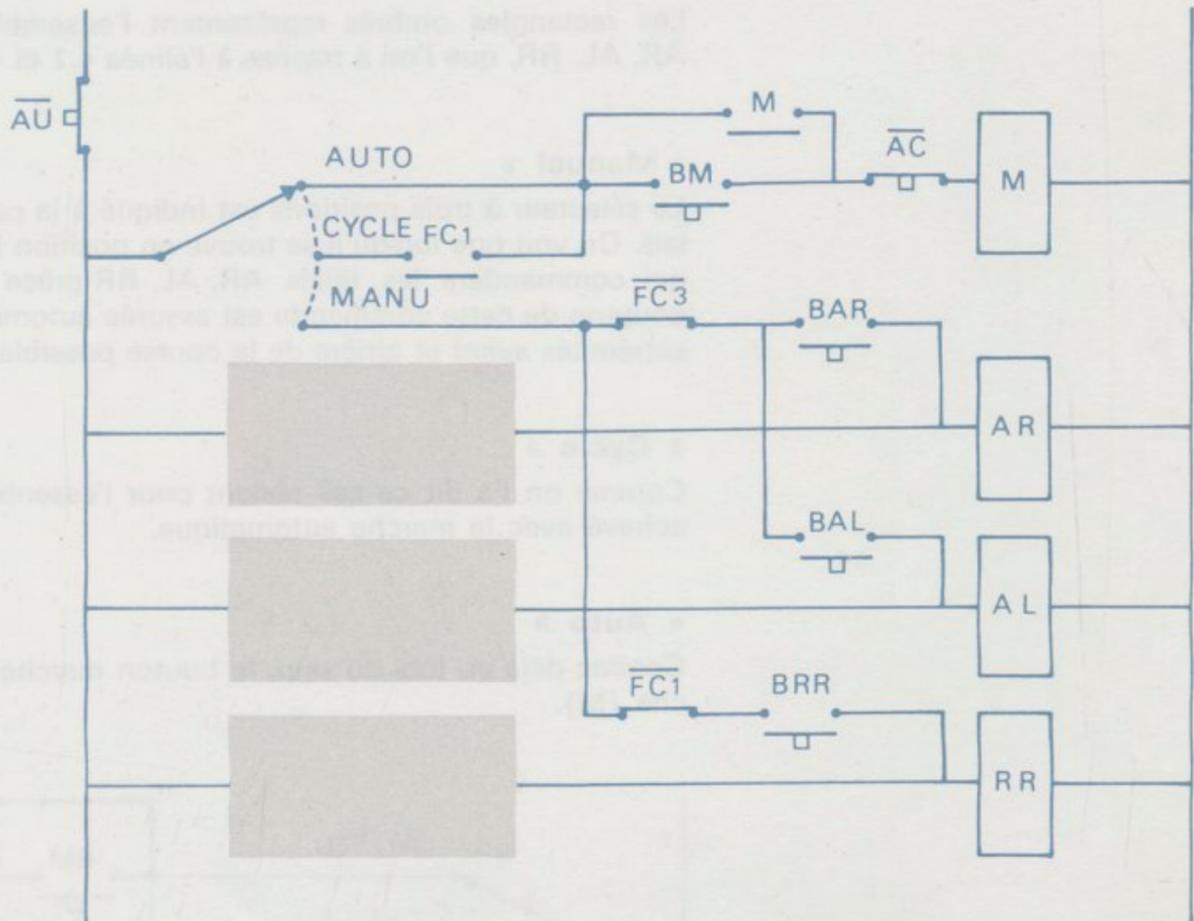
C'est une paillette du relais M qui prendra la place du bouton-poussoir M représenté dans la commande de AR à l'alinéa 4.1.

Le bouton-poussoir BM ainsi figuré doit aussi servir pour la marche par cycle, on modifie donc le schéma ainsi :



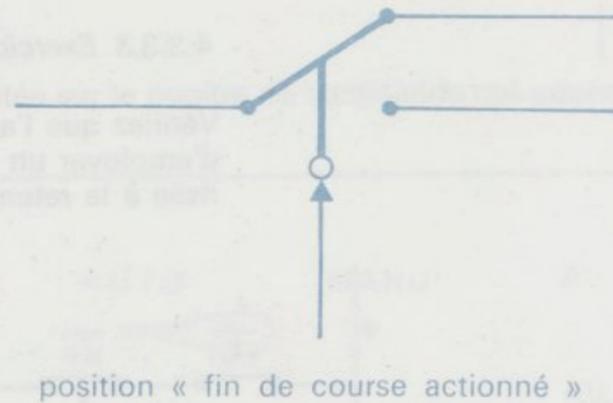
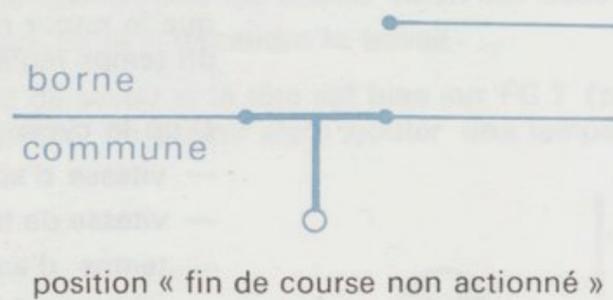
En effet, lorsque le sélecteur est sur AUTO, la mémoire M reste armée et commande des cycles d'usinage de manière ininterrompue. Lorsque le sélecteur se trouve sur CYCLE, on peut aussi armer M par action sur BM et à condition d'être sur la position d'origine (FC 1 = 1), mais dès que la tête de perçage démarre et quitte FC 1 on voit que M se désarme. Un nouveau cycle de perçage ne sera pas automatiquement commandé quand on reviendra sur FC 1 (à la place de FC 1 dans la commande d'armement de M, vérifiez que l'on aurait pu mettre FC 2 ou FC 3).

D'où un schéma plus complet, en ajoutant les arrêts AU et AC.



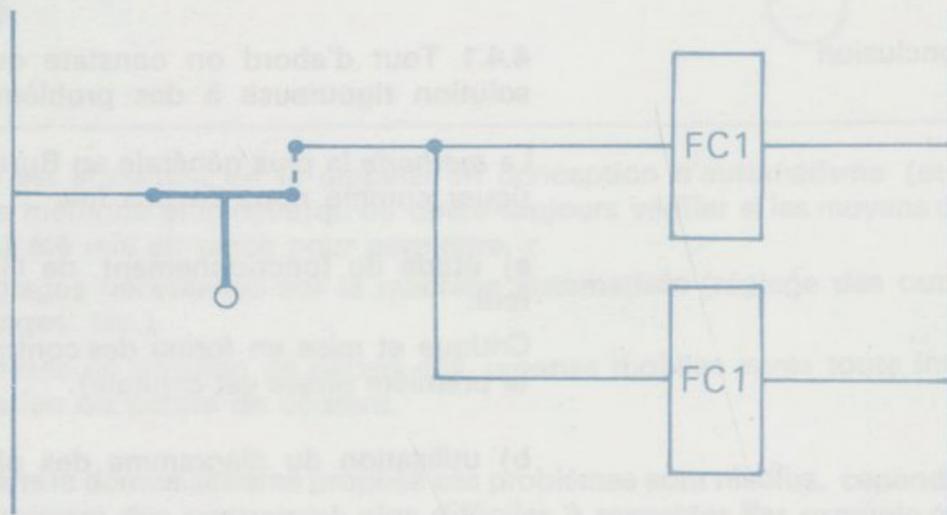
**Nota :** Un contact fin de course comporte généralement *une* paillette à fermeture et *une* paillette à ouverture à point commun (c'est-à-dire dont une des bornes est commune) :

*Schéma de principe :*



Si l'on a besoin d'un plus grand nombre de paillettes dans l'automatisme on utilisera le fin de course pour commander autant de relais que nécessaire, afin d'avoir la disposition d'un nombre de paillettes suffisant dans le schéma.

*Exemple :*



On dit qu'on a « relayé FC 1 » (voir plus loin la fin de l'alinéa 5.3.3, où cette disposition est à nouveau utilisée).

#### 4.3.3 Lamage

##### 4.3.3.1 Problème pratique

Les surfaces des pièces « brutes » présentent souvent des irrégularités. Lorsqu'un écrou, par exemple, doit y prendre appui pour permettre un serrage il est nécessaire d'aplanir la zone de contact afin que l'écrou ne soit pas en porte à faux sur quelques saillies de métal ou sur un pan de surface non perpendiculaire à son axe.

On pratique alors un « lamage », c'est-à-dire qu'une lame de métal entraînée en rotation est appliquée sur la pièce et y taille un cercle dont l'état de surface est correct et où pourra porter l'écrou considéré (ce lamage est donc évidemment concentrique au perçage permettant le passage de la vis correspondante).

#### 4.3.3.2 Automatisation

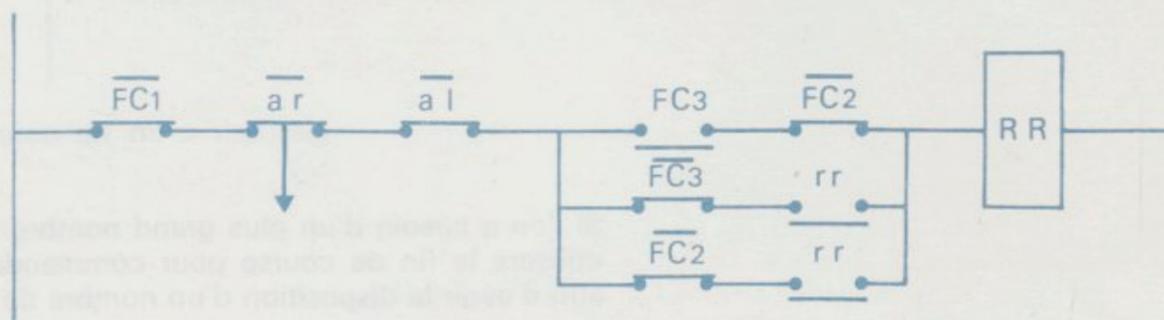
L'axe qui entraîne la lame coupante en rotation est porté par une « tête d'usinage » (identique à celle vue pour le perçage) dont la succession des vitesses est identique à celle d'un cycle de perçage. La seule différence provient du fait qu'en fin de « course avant » cet usinage implique que le retour rapide ne soit pas commandé immédiatement mais après un temps réglable par temporisation.

D'où le cycle :

- vitesse d'approche de la pièce (vitesse rapide) de FC 1 à FC 2.
- vitesse de travail (enlèvement du métal de la pièce) de FC 2 à FC 3.
- temps d'arrêt (réglable) sur FC 3.
- retour rapide sur FC 1

#### 4.3.3.3 Exercice

Vérifiez que l'automatisme vu au 4.3.2. peut être réutilisé sous réserve d'employer un relais AL qui comporte une paillette à ouverture temporisée à la retombée qu'on utilisera ainsi dans la commande de RR :



#### 4.4 Conclusion

4.4.1 Tout d'abord on constate que le schéma des phases peut donner une solution rigoureuse à des problèmes relativement complexes.

La *méthode* la plus générale en Bureau des Etudes d'automatisme consiste à pratiquer comme nous l'avons fait :

a) étude du fonctionnement de l'installation et des spécifications de l'utilisateur.

Critique et mise en forme des contraintes proposées (dans la vie industrielle cette première phase est capitale),

b) utilisation du diagramme des phases,

c) équations logiques (canoniques et simplifiées),

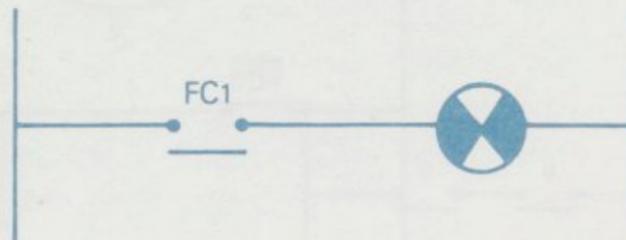
d) schéma de l'automatisme dans la technique retenue.

Notons d'abord que le diagramme des phases est fait pratiquement pour un type de marche (la marche par CYCLE le plus souvent) et qu'on ajoute directement les éléments nécessaires *aux autres types* de marche (pour ce faire on pourrait reprendre une étude sur le diagramme des phases mais c'est alors d'une complication inutile).

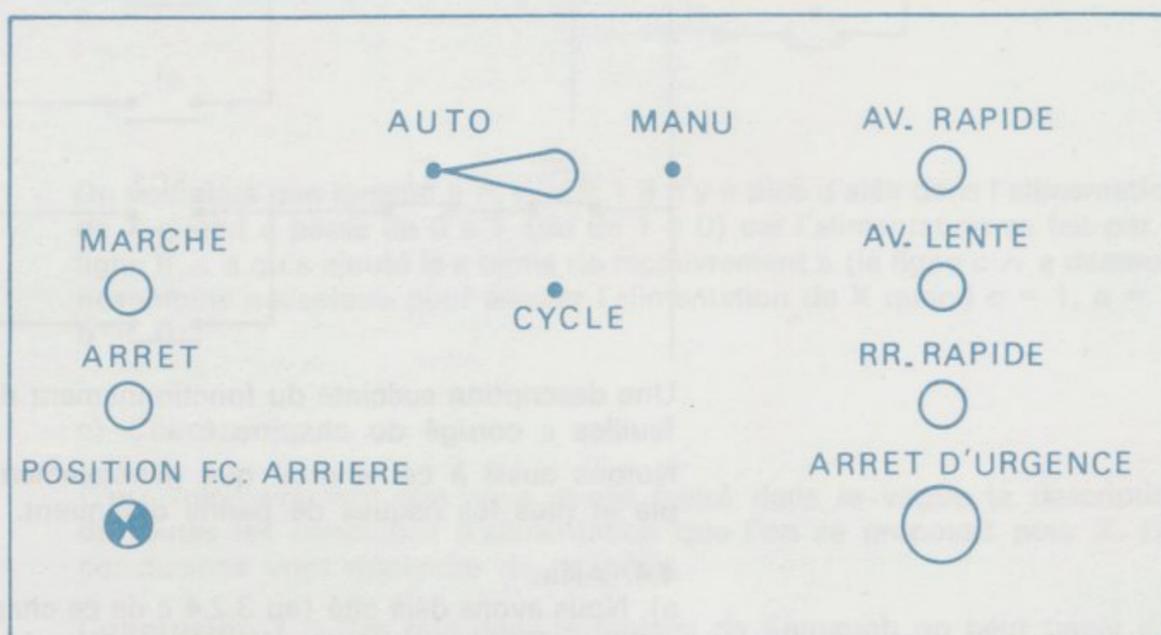
4.4.2 Remarquons aussi qu'après toute panne de courant la procédure de remise en route pourra être la suivante :

- passage du sélecteur sur la marche MANU
- usage du bouton BRR (pour renvoyer la tête sur FC 1)
- retour du sélecteur sur CYCLE ou AUTO selon les besoins
- la machine est alors prête à reprendre le travail

Il peut être intéressant de savoir si la tête est bien sur FC 1 (par exemple le matin à la mise sous tension) on pourra alors ajouter une lampe de visualisation), câblée ainsi :



Cette lampe sera montée sur le pupitre de commande qui pourra être disposé ainsi :



**NB 1** : Il est important de se rappeler en conception d'automatisme (et quelle que soit la méthode employée) qu'on devra toujours vérifier si les moyens de commande ont été mis en place pour permettre :

- les réglages nécessaires sur la machine automatisée (réglage des outillages, des montages, etc.),
- les remises en position de départ des organes mobiles après toute intervention, entretien ou panne de courant.

**NB 2** : Dans le dernier schéma proposé ces problèmes sont résolus, cependant on peut se proposer des contraintes plus difficiles à respecter. Par exemple qu'après toute panne de courant il suffise d'appuyer sur MARCHÉ pour que l'installation redémarre.

Remarquons qu'une panne de courant désarme les mémoires à relais car les paillettes d'auto-maintien retombent quand les bobines cessent d'être alimentées. Il faut donc aborder le problème des mémoires un peu différemment et c'est ce que nous ferons avant de conclure ce bref chapitre de conception.

D'une manière générale on ne souhaite pratiquement jamais qu'une installation redémarre seule après une panne de courant (pour des raisons de sécurité) et il faut faire définir par l'utilisateur la procédure de redémarrage qu'il souhaite (qui peut aller d'une procédure de retour sur MANU pour remettre en place les organes en position de départ, à une simple action sur MARCHÉ). Le choix fait à cet endroit pèsera lourdement sur la détermination du matériel de l'unité d'automatisation comme on le verra plus loin.

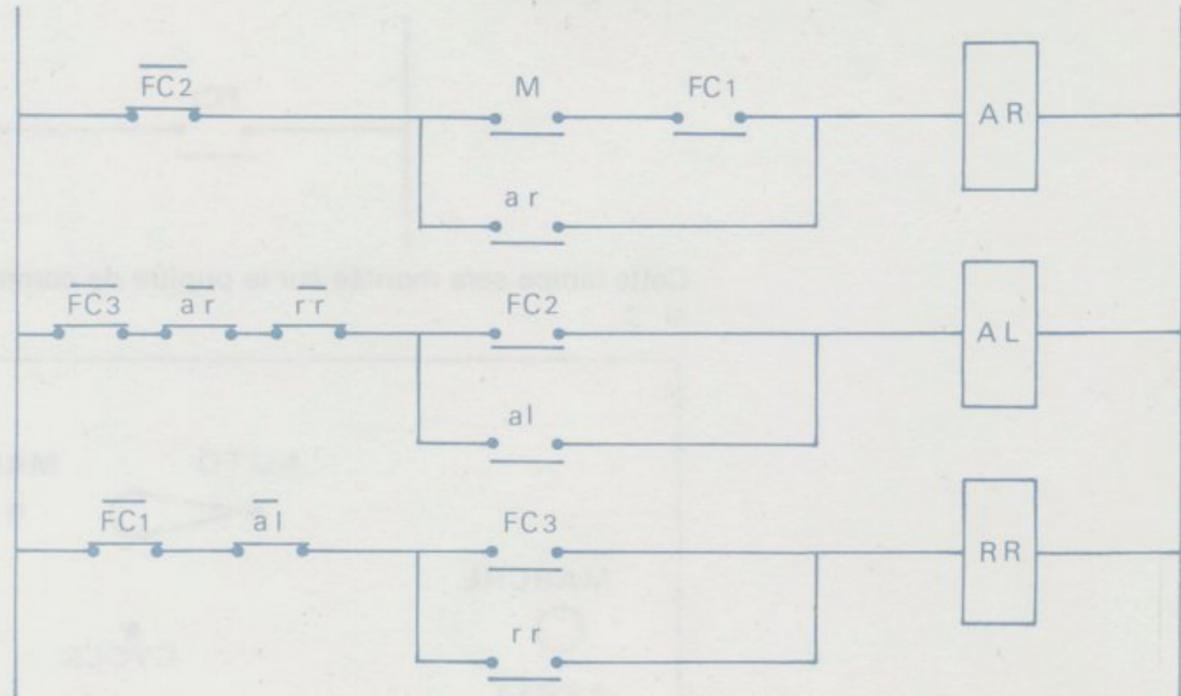
**NB 3** : L'implantation des matériels et une partie de la conception de l'automatisme seront aussi influencées par les facilités que l'on voudra donner aux dépanneurs.

Rappelons simplement ici que les pannes des grandes installations automatisées coûtent chères en exploitation et qu'il faudra toujours faire le bilan entre l'investissement supplémentaire possible qui augmente les facilités d'entretien et de dépannage d'une part et d'autre part le gain de ces mesures estimable en exploitation.

4.4.3 Dans nos conclusions signalons aussi que les schémas obtenus à partir du diagramme des phases donnent de bonnes conditions de *sécurité* à l'équipement si le problème a été bien posé.

Si l'on se propose des conditions rigoureuses d'*économie* on peut parfois supprimer des paillettes et particulièrement dans les interverrouillages. Il importe d'être très prudent dans cette action.

Vous vérifierez que le schéma suivant peut fonctionner correctement (schéma obtenu à partir de celui donné à l'alinéa 4.1 par suppression directe de certaines paillettes — vérifiez d'une part que le nouveau schéma proposé ci-dessous fonctionne et évaluez les « sécurités » qui ont disparu).



Une description succincte du fonctionnement de ce schéma est donnée dans les feuilles « corrigé du chapitre c ».

Notons aussi à cet endroit que généralement plus le schéma obtenu est simple et plus les risques de panne diminuent.

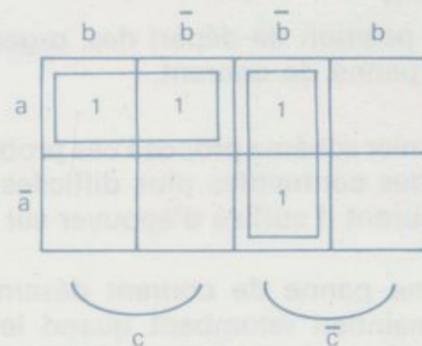
#### 4.4. Aléas

a) Nous avons déjà cité (au 3.2.4 c de ce chapitre par exemple) la nécessité d'un « terme de recouvrement » dans la table de Karnaugh. Voyons à quoi ce terme correspond pratiquement.

Prenons l'exemple suivant :

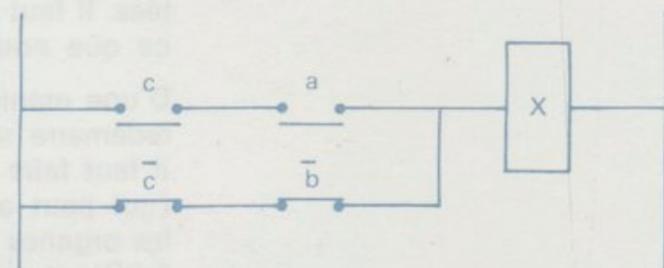
$$X = (a \wedge b \wedge c) \vee (a \wedge \bar{b} \wedge c) \vee (a \wedge \bar{b} \wedge \bar{c}) \vee (\bar{a} \wedge b \wedge \bar{c})$$

Simplification logique avec le tableau de Karnaugh



$$X = (a \wedge c) \vee (\bar{b} \wedge \bar{c})$$

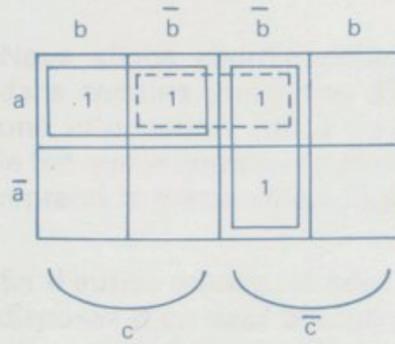
Schéma à relais :



Examinons ce schéma : supposons que dans un cas donné  $a = 1$ ,  $\bar{b} = 1$  et  $\bar{c} = 1$ , le courant passe par la ligne inférieure pour alimenter X (passage par  $\bar{c} \wedge \bar{b}$ ).

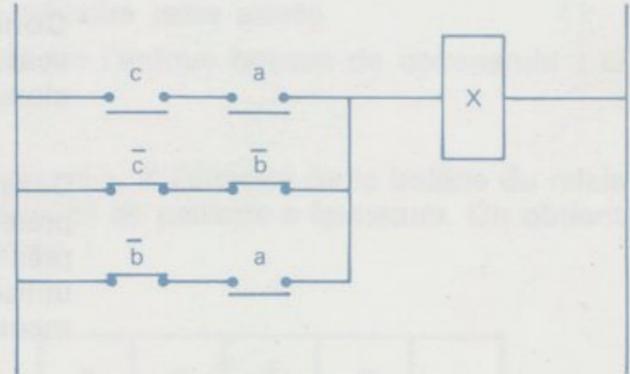
Puis, par exemple, c (qui peut être un fin de course) est actionné, c'est-à-dire que c prend la valeur logique 1). Pratiquement ce changement de position n'est pas instantané et dans le cas des paillettes dessinées ci-dessus la paillette à ouverture notée  $\bar{c}$  va couper le passage du courant par la ligne inférieure avant que la paillette à fermeture notée c ne l'établisse par la ligne supérieure (c'est-à-dire par  $c \wedge a$ ). Donc quand c passe de 0 à 1, le relais X n'est plus alimenté pendant le court instant de ce changement d'état : on dit qu'il y a un *aléa* d'alimentation.

b) Voici donc le problème, et la solution théorique consiste à ajouter un « terme de recouvrement » sur le tableau de Karnaugh :



$$X = (a \wedge c) \vee (\bar{b} \wedge \bar{c}) \vee (\bar{b} \wedge a)$$

Schéma :



On voit alors que lorsque  $a = 1$ ,  $\bar{b} = 1$  il n'y a plus d'aléa dans l'alimentation de X quand c passe de 0 à 1 (ou de 1 à 0) car l'alimentation se fait par la ligne  $\bar{b} \wedge a$  qu'a ajouté le « terme de recouvrement » (la ligne  $c \wedge a$  demeure néanmoins nécessaire pour assurer l'alimentation de X quand  $c = 1$ ,  $a = 1$ ,  $\bar{b} = 0$ ).

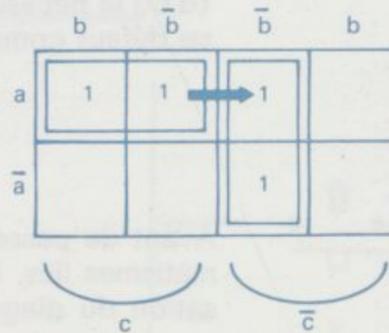
### c) Conclusions

C'est volontairement que nous avons laissé dans le vague la description de toutes les conditions d'alimentation que l'on se proposait pour X. Les conclusions vont dépendre de ce point.

**Conclusion 1 :** Dès que dans le tableau de Karnaugh on peut tracer des regroupements qui n'ont pas de partie commune, il y a risque d'aléa dans la commande du relais considéré.

**Conclusion 2 :** Pour trouver les circonstances de cet aléa il suffit d'examiner sur le tableau de Karnaugh l'endroit où l'on passe d'un regroupement à l'autre par un côté de carreau qui se trouve être sur la frontière commune de ces deux regroupements.

Dans l'exemple de X que l'on vient de traiter c'est quand on passe de  $a = 1$ ,  $\bar{b} = 1$ ,  $c = 1$  à  $a = 1$ ,  $\bar{b} = 1$ ,  $c = 0$ .



ou encore dans le passage inverse (de  $a = 1$ ,  $\bar{b} = 1$ ,  $\bar{c} = 1$  à  $a = 1$ ,  $\bar{b} = 1$ ,  $\bar{c} = 0$ ) qu'il y a risque d'aléa dans la commande du relais X.

**Conclusion 3 :** Ce cas étant bien défini, il faut examiner s'il est un défaut de l'automatisme.

En effet, le relais X va être désexcité un court instant mais cela peut n'avoir aucune incidence sur le matériel commandé (cas de la commande d'un gros contacteur à temps réponse long en regard du temps de battement de X, etc.).

Par ailleurs, et surtout, cette occasion d'aléa peut être telle qu'elle n'apparaît jamais dans l'automatisme particulier que l'on se propose de construire. Vous pouvez vérifier maintenant que c'est le cas que nous avons en fait rencontré à l'alinéa 3.2.4 c ; le terme de recouvrement n'y est pas nécessaire en pratique et c'est pourquoi nous l'avons supprimé dans le projet de schéma simplifié donné ensuite à l'alinéa 4.4.3.

**Conclusion 4** : Si le cas d'aléa peut apparaître dans l'automatisme que l'on veut construire, ou si les matériels commandés peuvent en souffrir, il faut alors ajouter le terme de recouvrement.

Dans le cas où on laisse un aléa d'alimentation d'un relais subsister sous prétexte que le matériel commandé n'en souffrira pas, il faut examiner de près dans l'automatisme tous les endroits où les paillettes de ce relais sont utilisées et vérifier qu'aucune conséquence fâcheuse n'apparaît (désarmement intempestif de mémoire, etc.).

d) *Remarque*

Le diagramme des phases attire l'attention sur les aléas qui peuvent apparaître à cause des temps de réponse des opérateurs logiques commandés (on distingue ainsi le « signal d'entrée » qui commande la bobine d'un relais, du « signal de sortie » qui va être l'état logique de ses paillettes; ces deux signaux sont décalés sur le diagramme des phases pour tenir compte du temps de réponse de cet opérateur logique qu'est le relais).

Mais du fait qu'à tout endroit du diagramme des phases on représente un énoncé logique dans l'état 1, ou 0, suivant que l'on trace un trait à la phase correspondante, ou qu'on ne trace rien, on admet implicitement qu'il n'y a pas de situation transitoire entre 0 et 1. Dans les organes binaires dont nous disposons il y a *toujours un état transitoire* à considérer quand l'organe passe d'une position à l'autre.

On retiendra donc qu'il existe deux problèmes d'ordre pratique, l'un est *le temps de réponse* des organes logiques (ce que traite bien le diagramme des phases), l'autre est que le dispositif matériel décrit par un énoncé logique ne passe pas d'un état à l'autre simultanément avec le dispositif décrit par l'énoncé barre et ce défaut n'est pas traité par le diagramme des phases (1) (d'où la nécessité d'analyser ensuite des termes de recouvrement pour pallier ce défaut comme on l'a examiné à l'alinéa 4.4.4 a).

Avant de passer à des conclusions plus générales sur la connexion d'automatismes liés, il nous reste à examiner un dernier point important de l'utilisation du diagramme des phases.

Nous avons déjà insisté sur la nécessité d'une définition précise des conditions de fonctionnement proposées et des actionneurs et capteurs nécessaires. Cependant des incohérences de définition peuvent apparaître dans la transcription de ces données sur le diagramme des phases; nous allons voir comment les découvrir et y parer.

(1) On pourra réfléchir au fait qu'un organe binaire idéal vérifierait constamment les relations:  $a \wedge \bar{a} = 0$ ,  $a \vee \bar{a} = 1$

## 5. pondération des phases

5.1

Nous allons aborder cette dernière question avec un exemple pratique : dans certains problèmes d'automatisme on a besoin de mettre en mémoire une information (on a vu par exemple la nécessité de mettre en mémoire le fait que le bouton marche a été appuyé) et l'on désire que si cette information reprend la même valeur logique un instant après, la mémoire se désarme.

En d'autres termes, et pour parler d'un dispositif technologique simple, vous disposez d'un seul bouton pour piloter ce système :

- vous appuyez sur le bouton : la mémoire s'arme
- vous relâchez le bouton : la mémoire reste armée
- vous appuyez une seconde fois sur l'unique bouton de commande : la mémoire se désarme.

Soit B l'énoncé « Le bouton est appuyé », X l'énoncé de la bobine du relais employé dans la mémoire, x son énoncé de paillette à fermeture. On obtient le diagramme des phases suivantes :

phase n°	0	1	2	3	4	5
B						
x						
X						

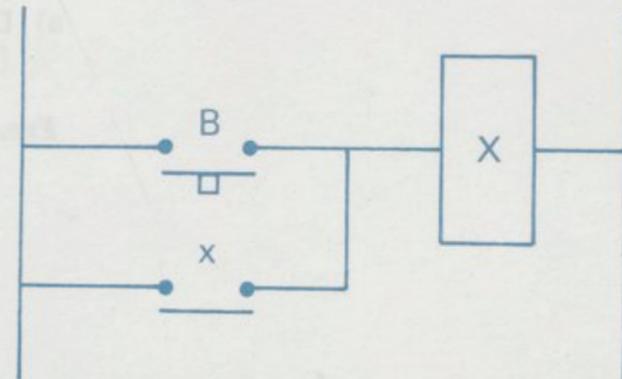
$$\text{Equation logique : } X = (B \wedge \bar{x}) \vee (B \wedge x) \vee (\bar{B} \wedge x)$$

Simplification logique avec la table de Karnaugh :

x	1	1
$\bar{x}$	1	

$$X = B \vee x$$

Schéma logique :



On voit clairement sur ce schéma que le bouton B peut armer la mémoire mais ne peut la désarmer. La méthode vue précédemment et appliquée ici sans précaution ne donne donc pas de résultat.

En fait on va voir que c'est le diagramme des phases proposées qui comporte un illogisme, une contradiction. On peut s'en apercevoir en comparant les phases 1 et 5 par exemple ; en phase 1, B étant appuyé (avec  $x = 0$ ), on veut  $X = 1$  et en phase 5, B étant appuyé (avec toujours  $x = 0$ ), on veut cette fois  $X = 0$ , les conditions proposées sont incompatibles. Expliquons ce point.

D'une manière générale on admettra aisément le principe : « les mêmes causes provoquent les mêmes effets ». Appliquons ceci à l'automatisme ; on a vu avec l'exemple traité du chapitre B qu'on sait déterminer les informations d'entrée et de sortie de l'unité d'automatisme (chap. B - alinéas 3.1 et 3.2), les « causes » agissant sur cette unité ce sont les informations d'entrée et les « effets » ce sont les informations de sortie. En conséquence pour *une* configuration logique donnée des entrées on doit obtenir *une* configuration logique et une seule des sorties.

Dans la mémoire que nous examinons ici les énoncés d'entrée sont B et x, l'énoncé de sortie est X :

Phase	Etats des entrées	Sortie
1	B = 1, x = 0	X = 1
5	B = 1, x = 0	X = 0

Ce tableau met clairement en évidence que ces deux phases ne respectent pas le principe que les mêmes causes (B = 1, x = 0) doivent produire les mêmes effets (X = 1 dans un cas, X = 0 dans l'autre).

Notre exemple montre par ailleurs que lorsque ce principe n'est pas respecté c'est-à-dire lorsque l'on propose un tableau des phases comportant un illogisme de ce type, alors la méthode ne donne pas de résultat valable. Ce qui est normal.

Le problème se décompose donc en deux parties :

- Comment détecter ces incompatibilités dans un diagramme des phases ?
- Si une incompatibilité se présente que faire pour trouver l'automatisme qui réponde aux spécifications de fonctionnement proposées ?

## 5.2 Pondération des phases

On va voir que c'est la méthode dite de « pondération des phases » qui permet de déceler ces incompatibilités éventuelles. Elle est simple et se pratique ainsi :

- Devant chaque énoncé d'entrée on place les « poids » 1, 2, 4, 8, 16... (chacun de ces poids étant obtenu en multipliant par 2 le précédent).

Exemple :

phase n°	0	1	2	3	4	5
1 B						
2 x						
X						

Diagramme illustrant la pondération des phases. Les entrées B et x sont pondérées avec des poids 1, 2, 4, 8, 16... Les phases sont numérotées de 0 à 5. Des flèches indiquent des incompatibilités : une flèche pointe de la phase 1 (B) vers la phase 2 (x) et une autre de la phase 4 (B) vers la phase 5 (x). Une ligne pointillée est tracée sous la phase X.

On place 1 devant B, puis 2 devant x (s'il y avait un troisième énoncé d'entrée on placerait 4 devant celui-ci, etc.).

b) On n'écrit aucun « poids » devant les énoncés de portée.

c) Ensuite on place une ligne « poids des phases », soit au-dessus du tableau, soit en dessous.

Le « poids » d'une phase s'obtient en faisant la somme des poids des énoncés dont la valeur logique est 1 dans la phase.

Exemple :

Phase 0 : poids de la phase = 0

Phase 1 : poids de la phase = 1 car B est VRAI et son poids est 1

Phase 2 : poids de la phase = 3 car B VRAI, poids 1 x VRAI, poids 2 etc. d'où le tableau :

phase n°	0	1	2	3	4	5
1 B						
2 x						
X						
poids	0	1	3	2	3	1

d) On repère ensuite les phases de même poids

Exemple :

Les phases 1 et 5 ont même poids 1

Les phases 2 et 4 ont même poids 3

e) Il faut alors vérifier si dans ces groupes de phases les sorties ont la même valeur logique. Si elles n'ont pas la même valeur logique on en déduit la présence d'une incompatibilité.

Exemple :

Groupe des phases 1 et 5 - en phase 1, X = 1  
en phase 5, X = 0

d'où incompatibilité

Groupe des phases 2 et 4 - en phase 2, X = 1  
en phase 4, X = 0

d'où incompatibilité

En conclusion on dispose ainsi d'une méthode pour détecter d'éventuelles incompatibilités.

Mais comment justifier cette démarche?

Tout d'abord les phases de même poids sont des phases ayant la même configuration logique d'entrée puisque l'on additionne les poids des entrées (vous trouverez des éclaircissements sur ce point en annexe 2).

Vous voyez donc que lorsque l'on vérifie, dans un ensemble de phases de même poids, que les valeurs logiques des sorties sont les mêmes, on vérifie en fait que « les mêmes causes produisent les mêmes effets ». Si les valeurs logiques des sorties ne sont pas les mêmes dans ces phases de même poids il y a incompatibilité dans les données de l'unité d'automatisation que l'on se propose de construire.

### 5.3 Organe discriminateur

#### 5.3.1 Des incompatibilités étant mises en évidence comment agir pour trouver le dispositif qui répondra aux spécifications de l'utilisateur ?

Raisonnons ensemble :

1° Il y a incompatibilité quand au cours de phases de même configuration logique d'entrées une des sorties commandées n'a pas la même valeur logique. Les sorties sont imposées par l'utilisateur qui définit l'automatisme dont il a besoin ; on ne peut donc les changer.  
Voyons plutôt les entrées.

2° Les entrées sont de deux types :

- a) les entrées de commande (bouton marche...) et des capteurs (fins de course...)
- b) les bouclages des mémoires (paillettes d'auto-maintien dans le cas des relais).

Nous n'avons pas d'action sur les entrées de commande qui dépendent des spécifications de l'utilisateur. Il nous reste donc les bouclages.

Les bouclages proviennent des organes de l'unité d'automatisation où l'automatisme peut agir comme il l'entend. La solution va donc consister à ajouter un organe binaire dans l'unité d'automatisation ; cet organe sera une mémoire et sa paillette d'auto-maintien (ou de bouclage) apparaîtra donc dans les « entrées » de l'unité d'automatisation. Cet organe est appelé « *organe discriminateur* ».

**Nota :** « discriminateur » vient du latin *discrimen* qui signifie « point de séparation ». Discriminer c'est discerner, séparer, distinguer et l'organe « discriminateur » sera l'organe qui permet de distinguer deux phases qui, avant son rajout dans l'unité d'automatisation, avaient même poids.

5.3.2 Il est clair que cet organe ne pourra permettre de distinguer les deux phases que si la valeur logique de l'énoncé décrivant un état de sa paillette d'auto-maintenance change de valeur logique entre ces deux phases. Précisons cette idée sur l'exemple abordé dans cet alinéa.

Soit D l'énoncé « La bobine du relais discriminateur est alimentée », et d « sa paillette à fermeture établit le contact entre ses bornes ».

Construisons un nouveau diagramme des phases ainsi :

poids des énoncés	phase n°	0	1	2	3	4	5	6	7
1	B		—	—			—	—	
2	x		—	—	—	—	—	—	
	X		—	—	—	—	—	—	
4	d				—	—	—	—	—
	D			—	—	—	—	—	—
	poids des phases	0	1	3	2	6	7	5	4

Une action sur B (phase 1) arme la mémoire X. Une seconde action sur B (phase 5) désarme cette mémoire, ce qui respecte bien les conditions de fonctionnement que nous avons à satisfaire.

Mais de plus on voit que le fait de relâcher B après la première action (phases 2 et 3) arme la mémoire D et que cette mémoire est désarmée par le fait de relâcher B après la deuxième action sur ce bouton (phases 6 et 7).

Vérifiez d'après le poids des phases qu'il n'y a plus d'incompatibilité dans le diagramme des phases ainsi obtenu.

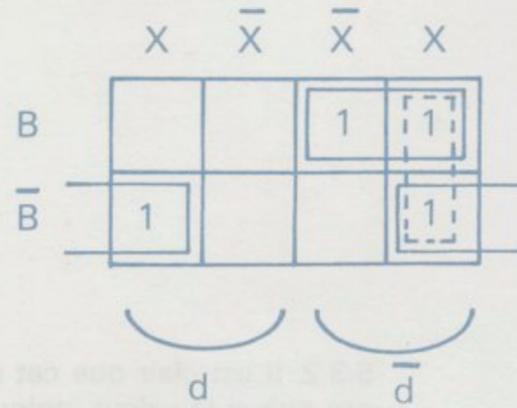
Cherchez maintenant les équations de X et D

Schémas logiques ?

Vérifiez sur ces schémas le diagramme des phases.

### 5.3.3 Résultats

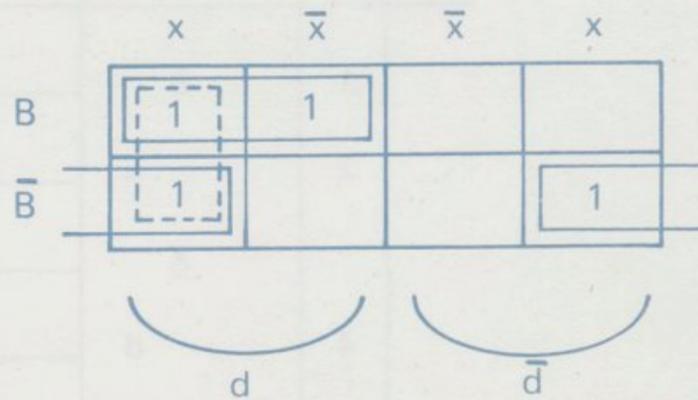
$$X = (B \wedge \bar{x} \wedge \bar{d}) \vee (B \wedge x \wedge \bar{d}) \vee (\bar{B} \wedge x \wedge \bar{d}) \vee (B \wedge x \wedge d)$$



Après simplification :  $X = (B \wedge \bar{d}) \vee (\bar{B} \wedge x) \vee (x \wedge \bar{d})$

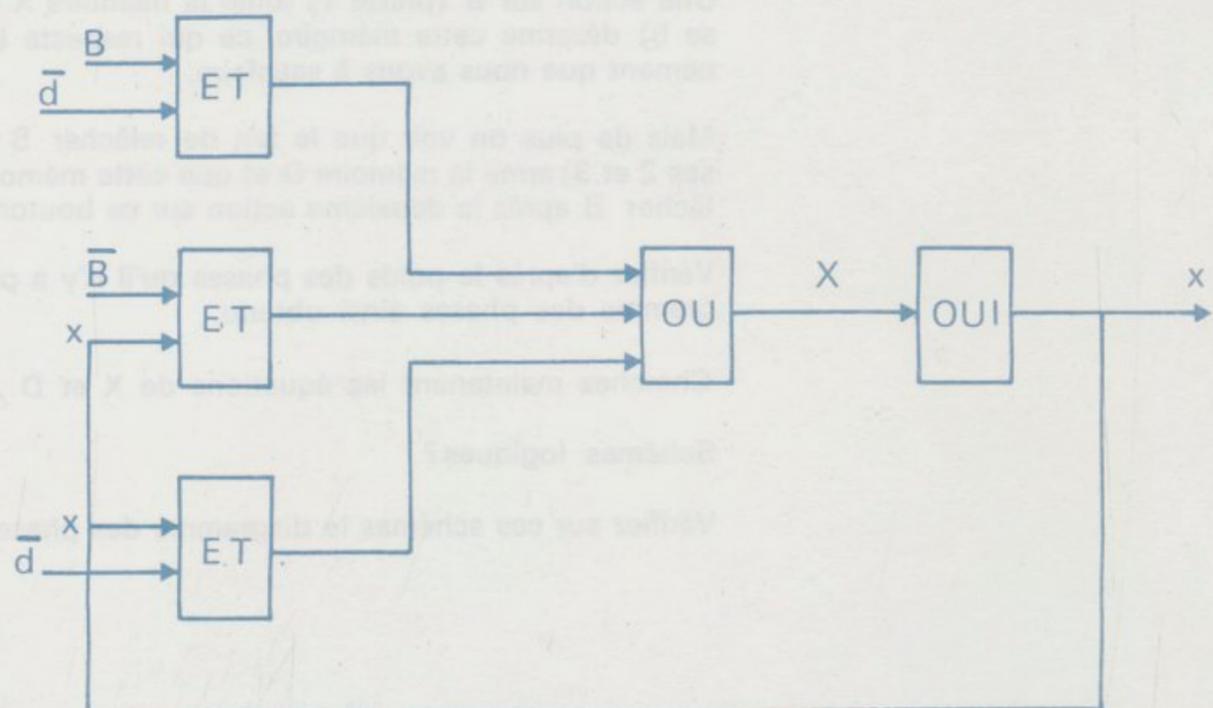
(Remarquer le dernier terme qui assure une partie commune entre les deux regroupements qui donnent  $B \wedge \bar{d}$  et  $\bar{B} \wedge x$ , et dont nous avons déjà noté la nécessité à l'alinéa 3.2.4 c de ce chapitre ) (1).

De même :  $D = (\bar{B} \wedge x \wedge \bar{d}) \vee (\bar{B} \wedge x \wedge d) \vee (B \wedge x \wedge d) \vee (B \wedge \bar{x} \wedge d)$



D'où :  $D = (\bar{B} \wedge x) \vee (B \wedge d) \vee (x \wedge d)$  (1)

#### Schéma logique



(1) Vous montrerez à l'aide du schéma logique, ou du schéma à relais donné ci-après, que les termes de recouvrement sont ici nécessaires (utilisez la méthode donnée à l'alinéa 4.4.4.4. c pour trouver les cas où il y a risque d'aléa).

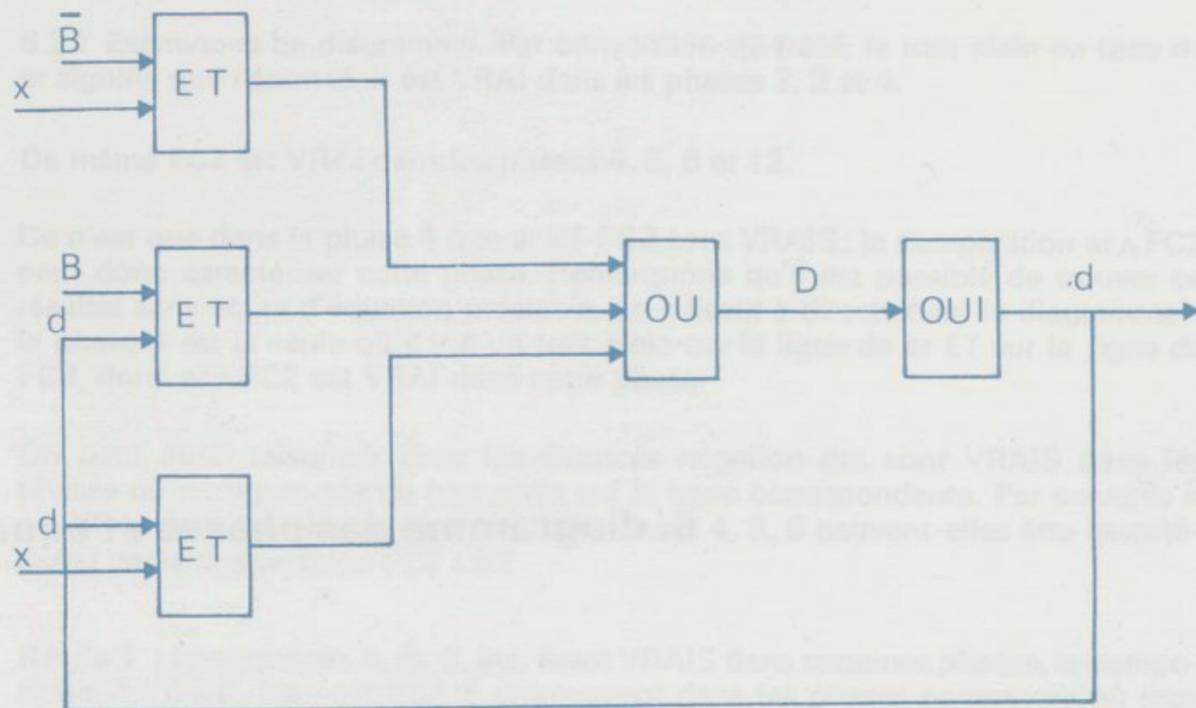
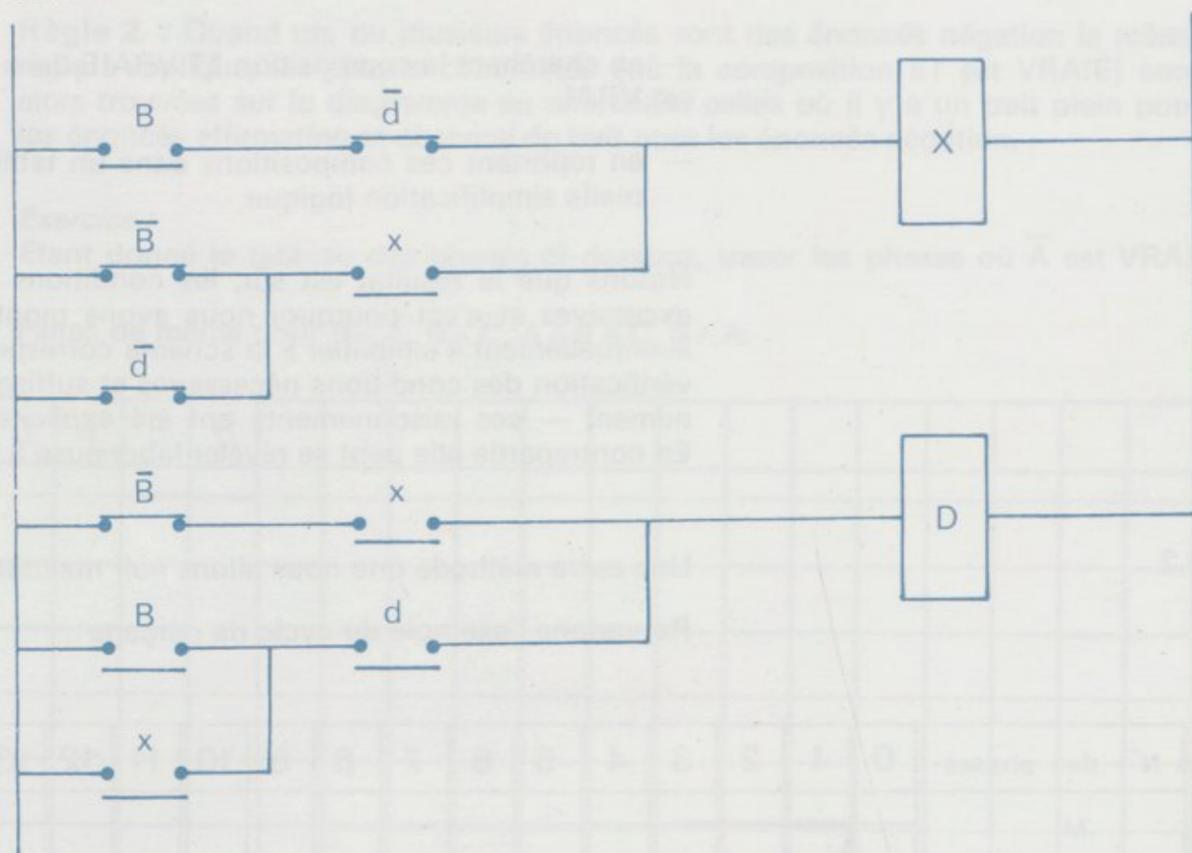
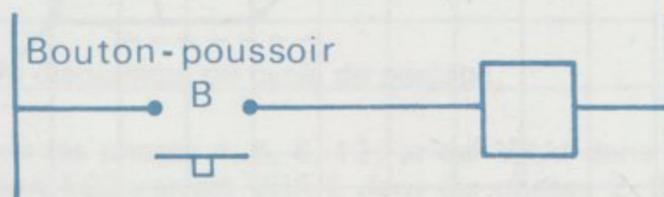


Schéma à relais



**Nota :** Remarquons une fois encore que les rectangles du schéma logique représentent des fonctions logiques (ET, OU, OUI, etc.) alors que les rectangles du schéma à relais représentent la bobine de chaque relais (dans lequel on inscrit par convention le cadre de l'énoncé décrivant cette bobine). Distinguez donc bien les entrées-sorties logiques d'une part et technologiques d'autre part.

Il est nécessaire de disposer de plusieurs paillettes du bouton B pour commander X et D, aussi aura-t-on besoin de le « relayeur » ainsi :



On utilisera les paillettes de ce relais dans les circuits de commande de X et D.

#### 5.4 Conclusion

Vous voici donc en mesure de détecter les incompatibilités qui peuvent apparaître dans le diagramme des phases et de les résoudre.

Avant d'aborder des automatismes plus complexes (que ces nouveaux moyens nous permettent d'étudier) nous allons passer par quelques remarques qui vous seront utiles pour établir rapidement les équations logiques des ordres de sortie.

## 6. diagramme des phases et équations logiques

6.1

Il existe plusieurs méthodes pour tirer les équations logiques d'un diagramme des phases. Celle que nous avons vue consiste à écrire l'équation logique d'un ordre de sortie :

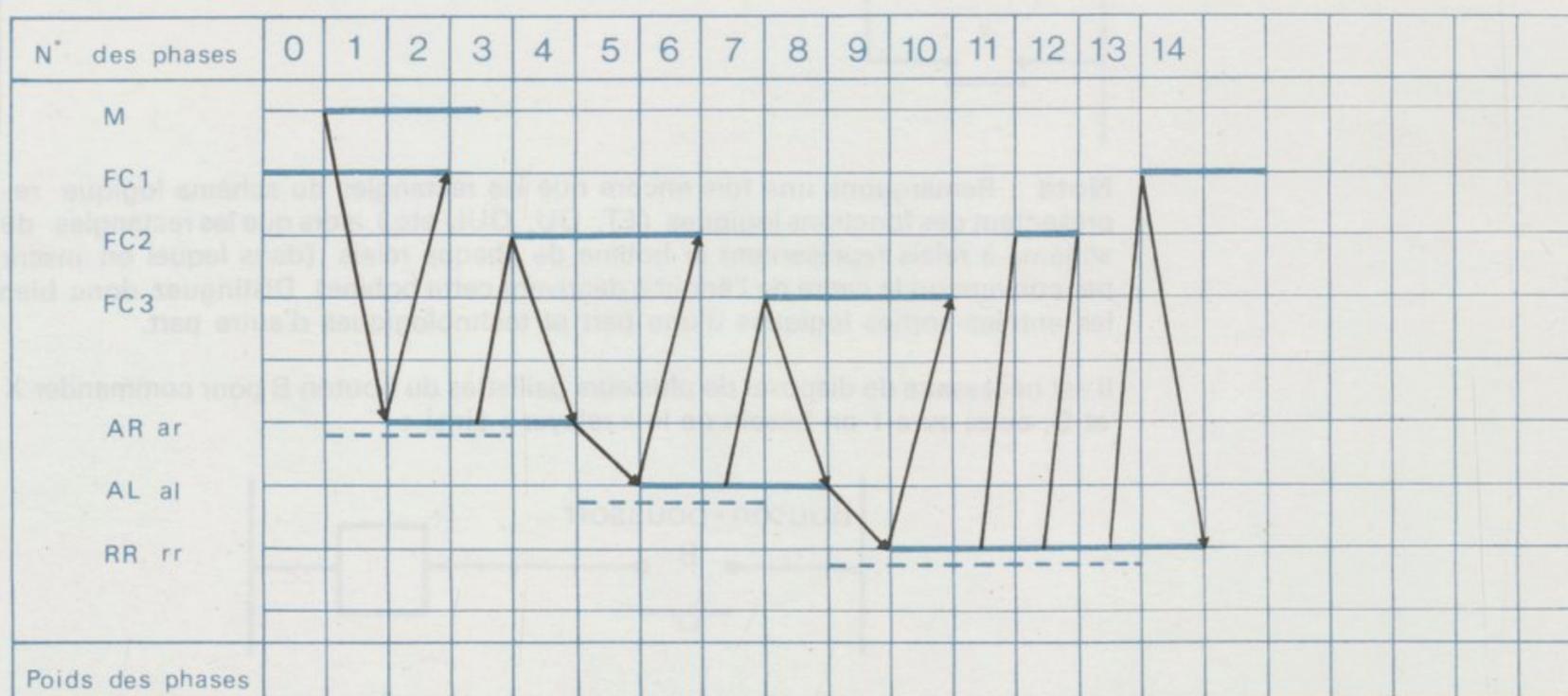
- en cherchant la composition **ET VRAIE** dans chaque phase où l'ordre de sortie est VRAI.
- en reportant ces compositions dans un tableau de Karnaugh pour une éventuelle simplification logique.

Notons que le résultat est sûr, les conditions de sécurité sont bonnes (parfois excessives et c'est pourquoi nous avons montré à l'alinéa 4.4.3 qu'on pouvait éventuellement « simplifier » le schéma correspondant en reprenant à ce niveau la vérification des conditions nécessaires et suffisantes à chaque phase du fonctionnement — ces raisonnements ont été explicités dans le corrigé de cet alinéa). En contrepartie elle peut se révéler laborieuse à appliquer.

6.2

Une autre méthode que nous allons voir maintenant est généralement plus rapide.

Reprenons l'exemple du cycle de perçage :



6.2.1 Examinons ce diagramme. Par convention de tracé, le trait plein en face de ar signifie que l'énoncé ar est VRAI dans les phases 2, 3 et 4.

De même FC2 est VRAI dans les phases 4, 5, 6 et 12.

Ce n'est que dans la phase 4 que ar ET FC2 sont VRAIS ; la composition  $ar \wedge FC2$  peut donc caractériser cette phase. Remarquons qu'il est possible de trouver ce résultat sans écrire d'équation préalable, en « lisant » directement le diagramme : la phase 4 est la seule où il y a un trait plein sur la ligne de ar ET sur la ligne de FC2, donc  $ar \wedge FC2$  est VRAI dans cette phase.

On peut aussi raisonner avec les énoncés négation qui sont VRAIS dans les phases où ne figure pas de trait plein sur la ligne correspondante. Par exemple  $\bar{r}$  est VRAI dans les phases de 0 à 9. Les phases 4, 5, 6 peuvent-elles être caractérisées par la composition  $\bar{FC2} \wedge \bar{r}$  ?

**Règle 1 :** Les énoncés A, B, C, etc. étant VRAIS dans certaines phases, la composition  $A \wedge B \wedge C$ , etc., est VRAIE uniquement dans les phases communes où tous ces énoncés sont VRAIS. Ces phases communes sont celles où il y a simultanément un trait plein sur la ligne de A, ET sur la ligne de B, ET sur la ligne de C, etc.

**Règle 2 :** Quand un, ou plusieurs énoncés sont des énoncés négation la même règle s'applique, les phases communes (où la composition ET est VRAIE) sont alors trouvées sur le diagramme en cherchant celles où il y a un trait plein pour les énoncés affirmation et absence de trait pour les énoncés négation.

*Exercice :*

Etant donné le tableau des phases ci-dessous, tracer les phases où  $\bar{A}$  est VRAI.

Faites de même pour  $B \wedge \bar{A}$ ,  $B \wedge \bar{C}$ ,  $A \wedge B \wedge C$ ,  $\bar{B} \wedge A$ .

N° des phases	0	1	2	3	4	5	6													
A																				
B																				
C																				
$\bar{A}$																				
$B \wedge \bar{A}$																				
$B \wedge \bar{C}$																				
$A \wedge B \wedge C$																				
$\bar{B} \wedge A$																				
Poids des phases																				

(Vérifiez vos résultats sur le corrigé avant de continuer).

6.2.2 Reprenons le diagramme du cycle de perçage.

FC2 est VRAI dans les phases 4, 5, 6, 12; ar est VRAI dans les phases 2, 3, 4 d'où la composition  $FC2 \vee ar$  est VRAIE dans les phases 2, 3, 4, 5, 6, 12.

**Règle 1 :** Les énoncés A, B, C, etc., étant VRAIS dans certaines phases, la composition  $A \vee B \vee C$ , etc., est VRAIE dans toutes les phases où l'un de ces énoncés est VRAI. Elle est donc VRAIE dans toutes les phases où, sur le diagramme, on trouve un trait plein en face d'un de ces énoncés au moins.

**Règle 2 :** Comme précédemment on peut aussi utiliser les énoncés négation et la composition OU d'énoncés affirmation et négation sera VRAIE dans toutes les phases où l'on trouve un, ou plusieurs traits pleins pour les énoncés affirmation OU une, ou plusieurs lignes sans trait pour les énoncés négation.

### 6.2.3. Notion de recouvrement.

Les notions de recouvrement vues à l'alinéa 4.4.4 s'appliquent ici, c'est-à-dire que si l'on commande un organe par la composition OU de plusieurs compositions ET, il faut vérifier qu'il y a recouvrement entre les phases décrites par ces compositions ET (à distinguer évidemment du cas où l'on souhaite des commandes discontinues — par exemple commande d'une certaine vitesse dans des groupes de phase éloignés).

*Exercice :*

a) Les états des énoncés A, B, C étant donnés dans les phases 0 à 6, cherchons directement sur le diagramme les phases où sont VRAIES les compositions  $\bar{A} \wedge C$ ,  $A \wedge B$ .

b) Si un relais X a pour équation  $X = (\bar{A} \wedge C) \vee (A \wedge B)$  vous voyez qu'il apparaît un aléa d'alimentation entre les phases 2 et 3. Tracer alors les phases où  $B \wedge C$  est VRAI.

N° des phases	0	1	2	3	4	5	6												
A		—	—			—	—												
B		—	—	—				—											
C			—	—	—	—													
$\bar{A} \wedge C$																			
$A \wedge B$																			
$B \wedge C$																			
$(\bar{A} \wedge C) \vee (A \wedge B) \vee (B \wedge C)$																			
Poids des phases																			

c) On voit que si l'on donne alors pour équation à X :  $X = (\bar{A} \wedge C) \vee (A \wedge C) \vee (B \wedge C)$  (à tracer sur ce diagramme),

X est toujours VRAI dans les phases 1, 2, 3, 4 (et dans ces phases uniquement) mais n'a plus d'aléa d'alimentation dans le passage des phases 2 à 3 grâce au terme de recouvrement  $B \wedge C$  (voir ensuite le corrigé).

d) Tracer le schéma à relais d'alimentation de X et vérifiez ces propriétés directement sur le schéma à relais.

6.2.4 Nous savons trouver les phases où une composition est VRAIE. Inversement nous devons savoir *quelle* composition est VRAIE dans un ensemble de phases déterminé.

a) En effet le problème pratique se présente ainsi. Reprenons le cycle de perçage (alinéa 6.2), on y voit que AR est VRAI dans les phases 1, 2, 3. Chercher directement sur le diagramme la composition OU de compositions ET qui est VRAIE dans ces phases (et dans ces phases uniquement) c'est chercher l'équation logique de AR.

Pour trouver cette équation logique on parcourt exactement en sens inverse l'exercice vu à propos des notions de recouvrement de l'alinéa 6.2.3. Dans cet exercice X est VRAI dans les phases 1, 2, 3, 4 ; pour trouver son équation logique :

— on décomposera éventuellement cette longueur où X est VRAI en plusieurs segments (chacun de ces segments ayant une forme logique simple comme  $A \wedge B$ ,  $\bar{A} \wedge C$  dans l'exercice),

— l'équation de X sera la composition OU des compositions ET de tous ces segments élémentaires, d'où  $X = (\bar{A} \wedge C) \vee (A \wedge B)$ .

Il y a donc ensuite lieu d'ajouter les éventuels termes de recouvrement comme  $B \wedge C$  dans l'exemple dont nous parlons.

b) La question de fond est donc : comment décomposer le lieu où X est VRAI en segments élémentaires (c'est-à-dire en segments de forme logique simple)? Répondons ici clairement qu'on peut trouver quelques règles simples qui orientent la recherche mais qu'il n'existe pas de règle générale qui donne le résultat à coup sûr.

c) Nous avons repris le diagramme du perçage. Essayons de trouver directement l'équation de AR.

### Equation logique de AR :

L'armement de AR est caractérisé par le fait que l'on appuie sur M (ordre) et que l'on est sur FC1 (condition de démarrage). Reportez sur le diagramme  $M \wedge FC1$ , le segment représentatif couvre les phases 1 et 2; AR est aussi VRAI en phase 3, il nous faut donc un autre terme, vérifiez par tracé sur le diagramme que  $\overline{FC2} \wedge ar$  convient.

Noter que  $M \wedge FC1$  étant VRAI dans les phases 1 et 2,  $\overline{FC2} \wedge ar$  étant VRAI dans les phases 2 et 3, il y a recouvrement de ces deux termes et l'équation  $AR = (M \wedge FC1) \vee (\overline{FC2} \wedge ar)$  donnera un schéma sans risque d'aléa.

L'équation  $AR = (M \wedge FC1) \vee (\overline{FC2} \wedge ar)$  montre que les deux segments trouvés représentent :

$M \wedge FC1$  : ordre d'armement avec ses conditions de sécurité.

$ar \wedge \overline{FC2}$  : auto-maintien avec ses conditions de coupure.

### Exercice :

En vous inspirant de cette remarque trouver sur le diagramme l'équation de AL.

### Equation logique de AL :

Avez-vous trouvé les deux segments :

- armement :  $\overline{ar} \wedge FC2$

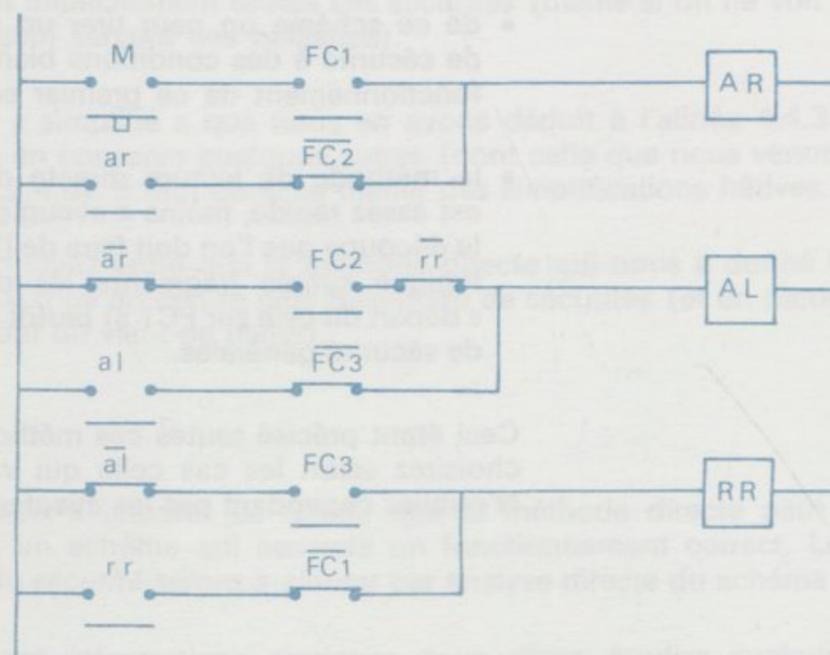
- auto-maintien et désexcitation :  $al \wedge \overline{FC3}$

L'équation  $AL = (\overline{ar} \wedge FC2) \vee (al \wedge \overline{FC3})$  est insuffisante pour les raisons qui ont été expliquées dans le corrigé de l'alinéa 4.4.3, en effet avec une telle équation logique AL se trouverait ré-armé en phase 12 et arrêterait le retour rapide. La lecture directe sur le diagramme des équations logiques montre bien d'ailleurs le problème : vous pouvez vérifier que la composition  $\overline{ar} \wedge FC2$  est VRAIE dans les phases 5, 6 et 12. Pour séparer les phases 5, 6 de la phase 12 il suffit d'utiliser  $\overline{rr}$  puisque  $rr$  est VRAI en phase 12 et FAUX dans les phases 5 et 6. D'où l'équation finale de AL :  $AL = (\overline{ar} \wedge FC2 \wedge \overline{rr}) \vee (al \wedge \overline{FC3})$ .

### Equation logique de RR?

Equation facile à établir avec nos remarques précédentes :  $RR = (\overline{al} \wedge FC3) \vee (rr \wedge \overline{FC1})$

### d) Schémas à relais

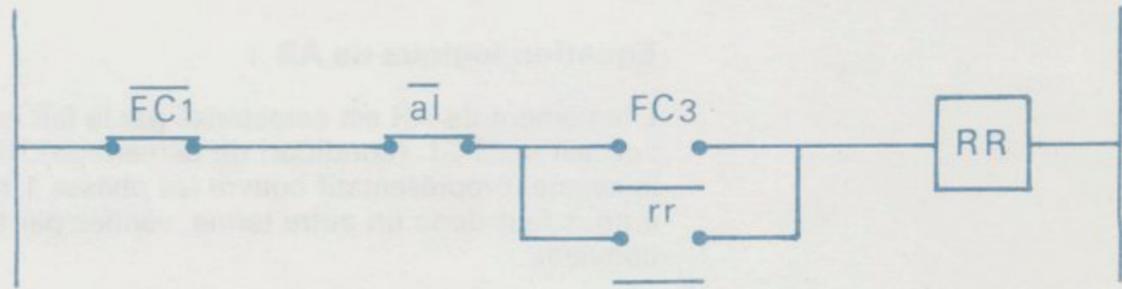


Vérifiez phase par phase que ce schéma assurera un fonctionnement correct de l'automatisme.

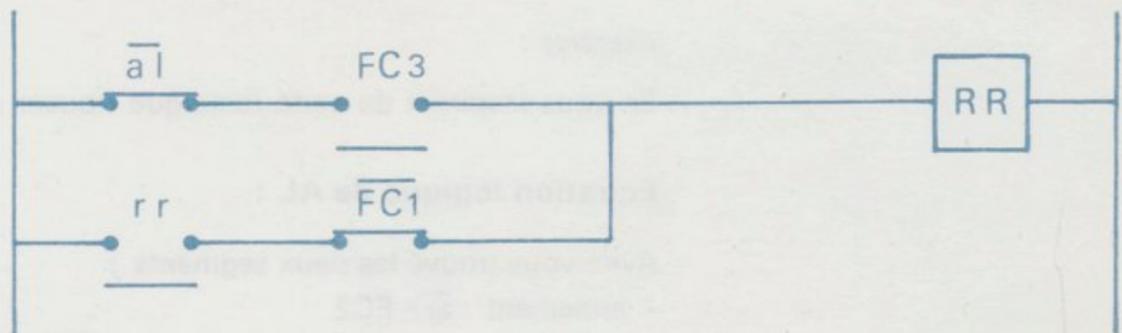
Nous disposons maintenant de 3 schémas pour le perçage (alinéas 4.1 et 4.4.3) !  
Quelle conclusion tirer ?

Tout d'abord que plusieurs schémas sont possibles.

Ensuite si l'on compare au schéma de l'alinéa 4.4.3 où l'on avait par exemple :



on voit que  $\overline{FC1}$  peut apparaître non seulement comme une condition de coupure de l'auto-maintien mais comme une condition générale de sécurité. En effet supposons que la paillette FC3 reste au contact de ses bornes (cas de détérioration du fin de course), dans ce dernier schéma le retour rapide est arrêté par  $\overline{FC1}$ . Avec le schéma de commande :



l'organe mobile va percuter les butées mécaniques arrière.

Vous pourrez nuancer et généraliser ces remarques dans nos prochains exemples, les conclusions d'ensemble sont les suivantes :

- la première méthode que nous avons utilisée pour tirer les équations du diagramme des phases est rigoureuse et sûre. Elle donne le maximum de conditions de sécurité (parfois même des sécurités excessives). Par ailleurs elle est souvent longue à appliquer (alinéa 4.1) et mène à des calculs parfois inextricables quand le nombre d'énoncés d'entrée est élevé (les mises en facteur que nous avons indiquées dans la méthode d'application les allègent cependant).
- de ce schéma on peut tirer un schéma « simplifié » qui réduit les conditions de sécurité à des conditions bien explicitées en examinant phase par phase le fonctionnement de ce premier schéma (alinéa 4.4.3).
- la méthode de lecture directe des compositions logiques sur le diagramme est assez rapide, moins « aveugle » qu'un calcul de nature mathématique mais la découpe que l'on doit faire de l'ordre de commande en segments d'expression logique simple fragmente les conditions de fonctionnement (par exemple « départ du cycle sur FC1 ») plutôt que de faire apparaître de véritables conditions de sécurité générales.

Ceci étant précisé toutes ces méthodes sont utilisées en Bureau d'études et vous choisirez selon les cas celle qui vous semble la plus adaptée à vos objectifs. N'oubliez cependant pas les avantages et inconvénients de chacune.

e) *Conclusion*

De la manière dont nous avons obtenu les équations logiques de AR, AL et RR on peut tirer maintenant quelques conclusions. La commande logique d'une mémoire comprendra généralement :

- t1 - les conditions d'armement
- t2 - un terme d'auto-maintien
- t3 - les conditions d'arrêt et de sécurité générale
- t4 - d'éventuels termes de recouvrement

On peut donc constater que la méthode directe nous a permis de prendre en compte les termes t1, t2, t4. Du terme t3 nous avons pu atteindre les énoncés d'arrêt mais les conditions générales de sécurité doivent être examinées ensuite en détail sur le schéma obtenu.

Reprenez par exemple les schémas de commande de AR, AL, RR trouvés à l'alinéa 4.1. Vous voyez que AL est commandé par la retombée de la paillette  $\bar{a}r$ ; ceci est correct puisque dans le tracé du schéma des phases nous avons imposé cette condition (on s'assure ainsi que le relais de commande de l'avance rapide AR n'est plus alimenté lorsque l'avance lente AL se trouve commandée).

De même RR est commandé par la retombée de AL.

Regardons maintenant le schéma de commande de AR donné dans ce même alinéa : on trouve une paillette  $\bar{r}r$ . Celle-ci peut être comprise de deux façons :

- elle est un terme d'interverrouillage entre AR et RR. A ce titre elle peut éventuellement être supprimée si AR et RR sont suivis de contacteurs de puissance qui sont interverrouillés (voir Chapitre B Alinéa 6.2.4 d)
- elle n'autorise l'alimentation de AR que lorsque RR est désexcité. Ceci est intéressant puisque si l'on appuie sur M pendant la course de retour on ne risque pas ainsi de réarmer la mémoire AR (ce qui peut provoquer un incident de fonctionnement grave suivant la commande mise en place pour les actionneurs).

Par ailleurs dès que l'on ajoute la marche AUTOMATIQUE cette paillette  $\bar{r}r$  évite qu'en fin de retour rapide, AR soit à nouveau commandé dès que FC1 est actionné ( $\bar{r}r$  impose que RR soit désexcité avant que AR puisse être alimenté).

On note aussi dans le cours de ces réflexions — et toujours sur les schémas de l'alinéa 4.1 — que la présence de  $\bar{a}l$  dans la commande AR évite que AR puisse être armé si l'on appuie sur M pendant la course d'avance lente.

Nous détaillons ces remarques pour vous montrer que la première méthode utilisée, rigoureuse dans sa démarche, qui donne un schéma de AR comportant  $\bar{a}l$  et  $\bar{r}r$  nous fournit implicitement toutes ces sécurités (même si on ne voit pas bien tout d'abord à quoi servent ces paillettes).

Le schéma « simplifié » que nous en avons déduit à l'alinéa 4.4.3 n'a plus ces sécurités et en conserve quelques autres (dont celle que nous venons de signaler à l'alinéa 6.2.4.d). Il faut donc se méfier des simplifications hâtives.

Vous remarquerez enfin que la méthode directe qui nous a donné le schéma de l'alinéa 6.2.4 d ne comporte plus beaucoup de sécurités (et en particulier aucune de celles dont on vient de parler).

*En conclusion* il importe de retenir que la méthode directe peut vous fournir rapidement un schéma qui assurera un fonctionnement correct. Les conditions générales de *sécurité* seront à *ajouter* par analyse directe du schéma ainsi obtenu.

Munis de ces informations pratiques nous allons étudier quelques problèmes d'automatismes industriels d'un intérêt général et dont la résolution va nous permettre de préciser les derniers éléments de la pondération des phases que nous nous proposons d'aborder dans ce chapitre.

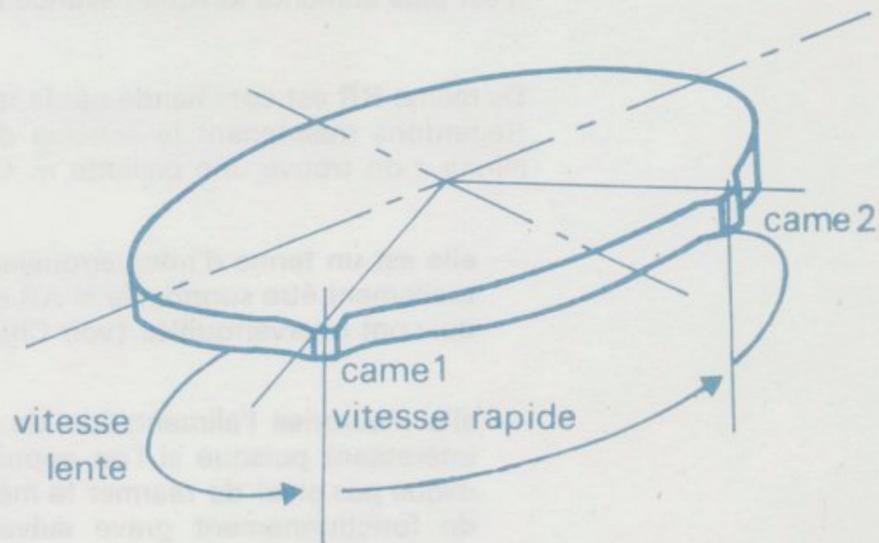
## 7. applications de la pondération des phases

### 7.1 Exemple 1 : mécanisme de rotation à deux vitesses

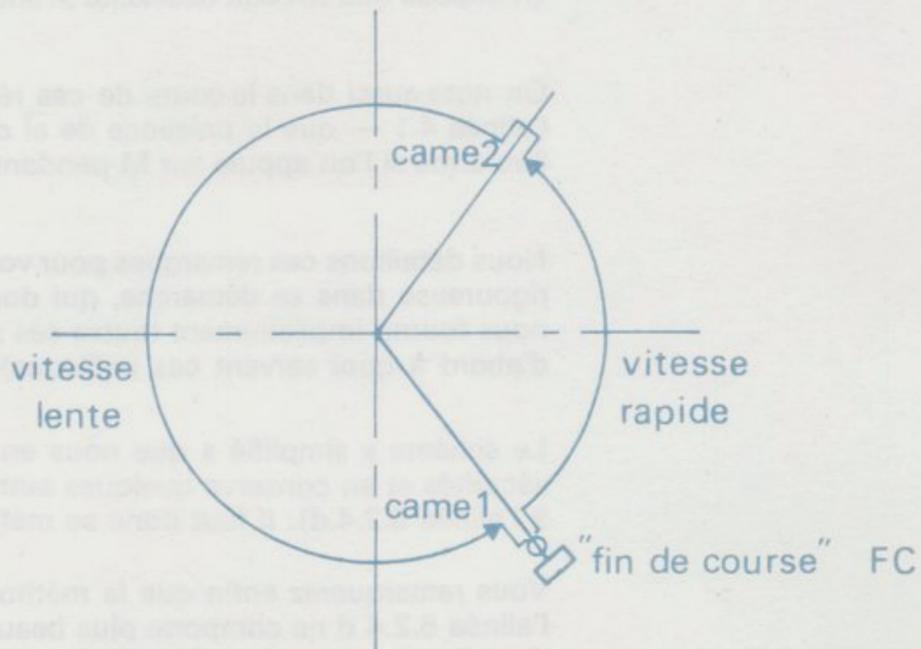
7.1.1 Un problème assez courant (et que l'on rencontre sous des formes diverses) est celui d'une commande de rotation d'un dispositif actionné à l'aide de deux vitesses et n'ayant qu'un fin de course comme capteur.

Un schéma de principe pourra être le suivant :

- un plateau est entraîné en rotation. Son mouvement s'effectue sur un tour, un premier angle est parcouru en vitesse rapide (vitesse d'approche), le reste du tour est parcouru en vitesse lente.
- ces angles sont matérialisés par deux comes sur la périphérie du plateau.



Ces deux comes viennent actionner dans leur rotation un fin de course fixé sur le bâti. En vue de dessus du plateau on a :



- vérifiez que le diagramme des phases se présente ainsi :

AR : l'avance rapide est commandée

AL : l'avance lente est commandée.

N° des phases	0	1	2	3	4	5	6	7	8								
1 M		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----								
2 FC		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----								
4 AR		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----								
8 AL		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----								
Poids des phases	2	3	7	4	6	2	10	8	10								

Comment se « lit » ce cycle ?

*Phase 0 :* La came 1. est sur le fin de course

*Phases 1, 2, 3 :* L'action sur « Marche » fait démarrer l'avance rapide, la came 1 relâche le fin de course.

Remarquez que sur la ligne « Poids des phases », on a tracé une diagonale dans la case de la phase 3 et porté le poids 4 au-dessus de cette diagonale. L'explication de cette disposition est la suivante : de la phase 3 à la dernière phase du cycle, M peut être, ou ne pas être, appuyé ; dans toutes ces phases où M peut avoir l'un ou l'autre de ses deux états on trace une diagonale dans la case des poids et on porte au-dessus de cette diagonale le poids de la phase dans l'hypothèse  $M = 0$  (on peut reporter sous la diagonale le poids de la phase dans l'hypothèse  $M = 1$  — nous ne l'avons pas fait dans cet exemple qui est très simple) (1). Le cas de la phase 2 sera repris plus loin (alinéa 7.1.2-3).

*Phases 4, 5, 6 :* La came 2 vient actionner le fin de course qui coupe l'avance rapide. L'avance lente est alors commandée.

*Phases 7, 8 :* Le plateau continuant de tourner la came revient actionner le fin de course d'où l'arrêt de la vitesse lente et la fin du cycle.

### Remarques

**1** Nous avons parlé de « came 1 » et « came 2 » pour la compréhension du fonctionnement du système mais il est clair que le fin de course n'a aucune « connaissance » de la came qui l'actionne : il est, ou n'est pas, actionné, c'est tout.

**2** Pourquoi ce système à un seul fin de course ?

Ces systèmes sont utilisés pour différentes raisons :

- économie : un seul fin de course, un seul raccordement jusqu'à l'armoire de l'unité d'automatisation,
- contrainte technique : pas de place pour loger d'autres fins de course sur la périphérie du plateau (cas d'un plateau inséré dans un ensemble mécanique compact, etc.).

**3** Suivant un usage très largement répandu nous n'avons pas écrit ar et al en face des lignes indiquant l'état des paillettes de AR et AL. Il y aura lieu de s'en souvenir au moment d'établir les équations logiques de AR et AL.

(1) Au lieu d'une diagonale on trace parfois une horizontale qui coupe en 2 parties égales les cases de « Poids des phases ». Le poids de la phase dans l'hypothèse  $M = 0$  est porté au-dessus de cette horizontale (voir les diagrammes de l'alinéa 7.3).

## 7.1.2 Conception de l'automatisme

### 7.1.2.1 Diagramme des phases initial

On constate que les phases suivantes ont même poids :

0 et 5 : poids 2 (si M non appuyé en phase 5)

1 et 5 : poids 3 (si M appuyé en phase 5)

2 et 4 : poids 7 (si M appuyé en phase 4)

6 et 8 : poids 10.

Y a-t-il des incompatibilités ?

Oui entre 0 et 5 (car AL commandé en 5 et pas en 0)

Oui entre 1 et 5 : pourquoi ?

Oui entre 2 et 4 : pourquoi ?

Oui entre 6 et 8 : pourquoi ?

Conclusion : il faut utiliser un organe discriminateur.

### 7.1.2.2 Le relais discriminateur

Soit X l'énoncé « La bobine du relais discriminateur est alimentée » et x « La paillette à fermeture du relais discriminateur établit le contact entre ses bornes ». Comment utiliser ce relais dans le diagramme des phases initial ? Tout d'abord on lui attribue une ligne sous AL et le poids de l'énoncé x sera donc 16 (c'est x qui a un « poids » et non X car on n'attribue de poids qu'aux « énoncés d'entrée » — Voir Annexe 2).

En quelle phase armer X ? Voyons une première règle :

**Règle 1** : Eviter d'armer le relais discriminateur en phase 0. Pourquoi ? Ceci pour des raisons de sécurité. On s'impose que dans l'armoire de l'unité d'automatisation il n'y ait pas de relais sous tension quand l'équipement est en phase 0.

Ainsi sait-on par exemple qu'au départ du travail, si tous les organes sont à leur phase d'origine (les fins de course peuvent être visualisés par des lampes placées sur le pupitre central, ce qui permet une vérification rapide de cet état), au départ du travail donc aucun relais n'est alimenté. Une intervention dans l'armoire de l'unité d'automatisation pourra alors se faire avec un maximum de sécurité (si elle doit se faire « armoire sous-tension » évidemment, sinon il faut couper l'alimentation de l'armoire).

Notons que dans quelques cas exceptionnels on ne peut appliquer cette règle (cas de conditions de fonctionnement complexes que nous n'aborderons pas dans cette brève étude).

La question devient donc « En quelle phase armer X à partir de la phase 1 ? »

Les phases à discriminer sont :

0 - 5
1 - 5
2 - 4
6 - 8

Il est clair que ce tableau pourrait comporter « 8-6 » au lieu de « 6-8 » ; le but que l'on cherche à atteindre est que, dans chacun de ces couples de phases, l'une des deux phases voit son poids augmenter. Par exemple dans le couple 0-5 (de poids 2) il faut que x (énoncé de poids 16) soit FAUX en phase 0 (règle 1) et VRAI en phase 5.

— la phase 0 gardera le poids 2

— la phase 5 prendra le poids  $2 + 16 = 18$ .

Le cas du couple 6 - 8 est plus embarrassant car aucune règle ne nous précise si x par exemple doit être VRAI en phase 6 et FAUX en phase 8, ou l'inverse.

Une seconde règle cependant nous oriente.

**Règle 2** : Choisir la solution d'alimentation du relais discriminateur qui provoque le nombre minimal d'armements et de désarmements de ce relais.

Cette règle a en fait plusieurs buts parmi lesquels on peut citer :

- simplicité de l'équation logique finale
- facilité de dépannage.

Nous reviendrons sur ce dernier point un peu plus loin.

Appliquons cette règle 2. En phase 0 l'énoncé x doit être FAUX et donc VRAI en phase 5 comme on l'a vu en application de la règle 1 ; le cas du couple 1-5 ne pose plus de problème par contre-coup : x, qui est VRAI en phase 5, sera FAUX en phase 1. Pour les phases 2 - 4 la règle 2 conseillera donc de retenir que x étant FAUX en 1 demeure FAUX en 2 ; par voie de conséquence x sera VRAI en 4. Le même raisonnement pour les phases 6 - 8 conduit au tableau des phases à discriminer suivant :

- phases 0 (x = 0) - 5 (x = 1)  
 1 (x = 0) - 5 (x = 1)  
 2 (x = 0) - 4 (x = 1)  
 6 (x = 1) - 8 (x = 0).

D'où x est FAUX en phases 0, 1, 2 puis armé pour être VRAI en phases 4, 5, 6 et désarmé avant la phase 8.

Cet objectif étant fixé on doit donc armer X en phase 3 (ce qui ne changera pas le poids des phases 0, 1, 2) et le désarmer en phase 7 (afin de ne pas changer le poids de la phase 8).

Le poids des phases 4, 5, 6 se trouvera augmenté de 16.

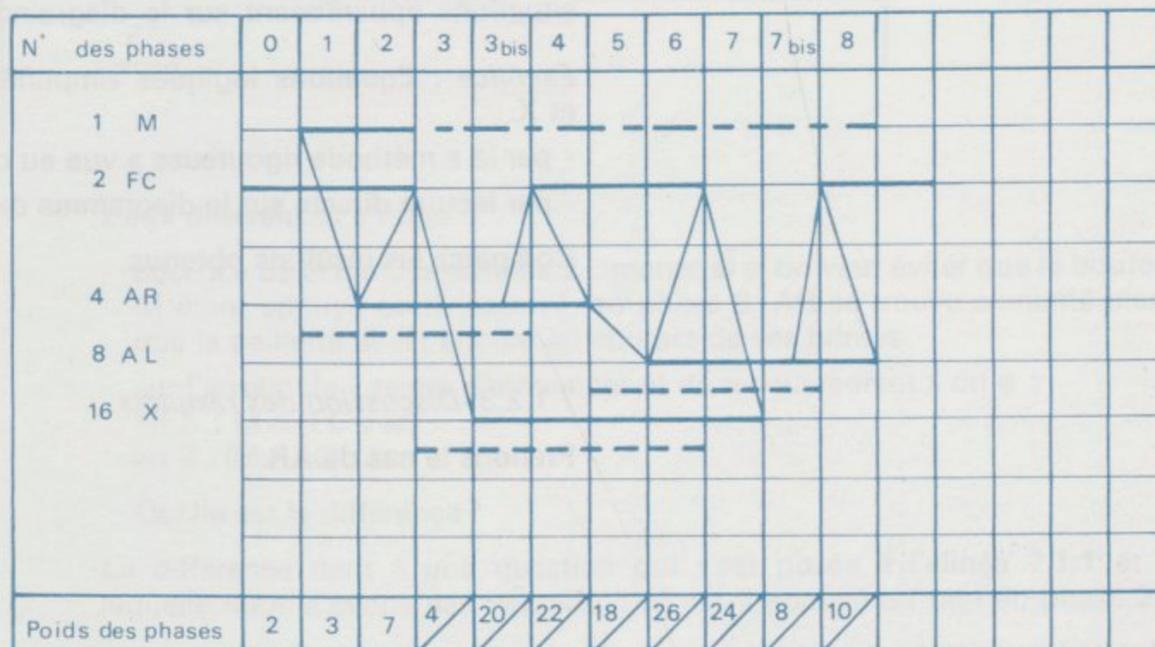
**Nota :** Ce dernier tableau des phases à discriminer comportant la valeur logique de x permet de vérifier que, pour chaque couple de phases à discriminer, x a une valeur logique différente de part et d'autre.

*Exercice :*

Il est important que vous fassiez seul l'exercice suivant :

- reprendre le diagramme initial
- y placer X dans les conditions dont nous venons de parler en ajoutant les phases nécessaires.

**Résultats**



Nous avons numéroté les phases comme dans le diagramme initial afin de vous permettre des comparaisons aisées.

Par rapport au diagramme initial vous remarquerez donc que

- les phases 0, 1, 2 n'ont pas changé de poids (car x = 0)
- la phase 3 est désormais en deux parties :
  - phase 3 où le poids est toujours 4
  - phase 3 bis de poids 4 + 16 où X ayant été alimenté dans la phase précédente l'énoncé x devient VRAI
- les phases 4, 5, 6 ont bien leur poids augmenté de 16
- la phase 7 (à comparer à 3) est en 2 parties
  - phase 7 de poids 8 + 16 = 24 où l'on désactive X
  - phase 7 bis où la paillette x retombe.

Remarquez bien qu'il n'y a eu augmentation du nombre de phases qu'aux moments de l'armement et du désarmement de X. A chacun de ces deux moments la phase correspondante est coupée en deux parties dont l'une conserve le poids initial et l'autre est augmentée de poids (voir dans notre exemple les phases 3 et 7). Supposons que la phase 3 soit à discriminer d'une autre phase (la phase 30 par exemple d'un diagramme qui serait plus long que celui-ci). Nous aurions donc :

phases à discriminer : 3 - 30, poids 4.

Discriminer avec la paillette d'énoncé x c'est ajouter 16 dans l'une des phases (à l'aide de  $x = 1$  en phase 3 par exemple) et rien dans l'autre (avec  $x = 0$  en phase 30). Mais si nous armions X en phase 3 nous faisons apparaître deux phases :

- une phase 3 de poids 4
- une phase 3 bis de poids  $4 + 16 = 20$ .

On voit donc alors qu'il n'est pas possible de discriminer la phase 30 qui aura soit le poids de la phase 3 bis (si on provoque  $x = 1$  en phase 30) soit le poids de la phase 3 (si on provoque  $x = 0$  en phase 30). Or comme ces phases étaient incompatibles avant d'ajouter X, on voit qu'elles le demeurent si on arme X en phase 3.

**Règle 3 :** Les phases retenues pour l'armement et le désarmement des relais discriminateurs ne seront pas des phases à discriminer.

Ajoutons ici un point qui intéresse le tracé du diagramme des phases. En phase 3 la bobine du relais X est alimentée; en phase 3 bis la paillette x est au contact de ses bornes et l'on ne fait apparaître l'action sur FC que dans la phase suivante. Concevez bien que ceci n'est exact que si le temps d'armement du relais X est plus court que le temps de parcours en vitesse rapide (ou plus exactement le temps compris entre l'instant où la came 1 relâche FC et celui où la came 2 actionne FC à nouveau).

Ceci était le cas de notre exemple où le temps d'appel du relais est inférieur à 20 millisecondes ( $20/1000$  de seconde) alors que le temps de parcours en vitesse rapide se chiffre en secondes.

La même analyse doit être appliquée en phase 7 et vous retiendrez qu'une vérification des temps respectifs est toujours nécessaire quand de pareilles situations apparaissent sur le diagramme des phases.

*Exercice :* Equations logiques simplifiées et schéma à relais de AR, AL et X.

- par la « méthode rigoureuse » vue au chapitre B
- par lecture directe sur le diagramme des phases.

Comparez les résultats obtenus.

### 7.1.2.3 Discussion des résultats

Prenons le cas de AR.

Tableau de Karnaugh :

		M		$\bar{M}$	
		FC	$\bar{FC}$	$\bar{FC}$	FC
ar	x		3b	3b	
	$\bar{x}$	2	3	3	
$\bar{a}\bar{r}$	$\bar{x}$	1			
	x				

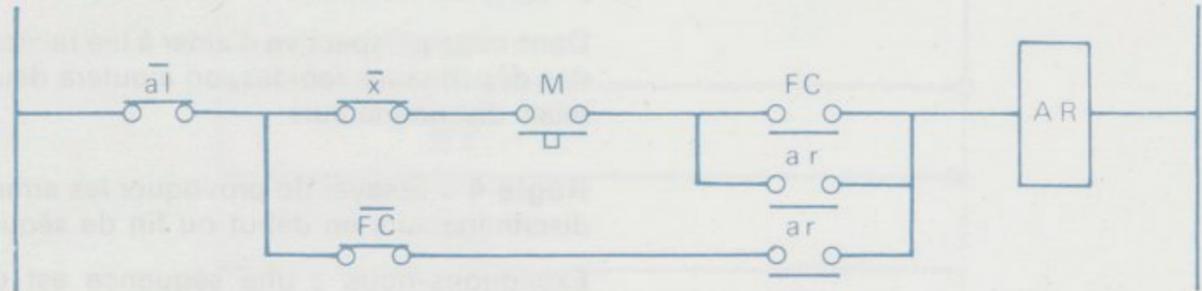
Etablissement de ce tableau : on a porté le numéro de la phase dans la case où sa composition ET est VRAIE (le terme  $\bar{a}\bar{r}$  sera en facteur).

Les numéros 3 et 3b (« 3 bis ») apparaissent deux fois pour tenir compte que M peut être VRAI ou FAUX dans ces phases :

Equation logique simplifiée :

- pour les phases 1-2 :  $\bar{x} \wedge M \wedge FC$
- pour les phases 2-3b :  $\overline{FC} \wedge ar$
- terme de recouvrement :  $\bar{x} \wedge M \wedge ar$

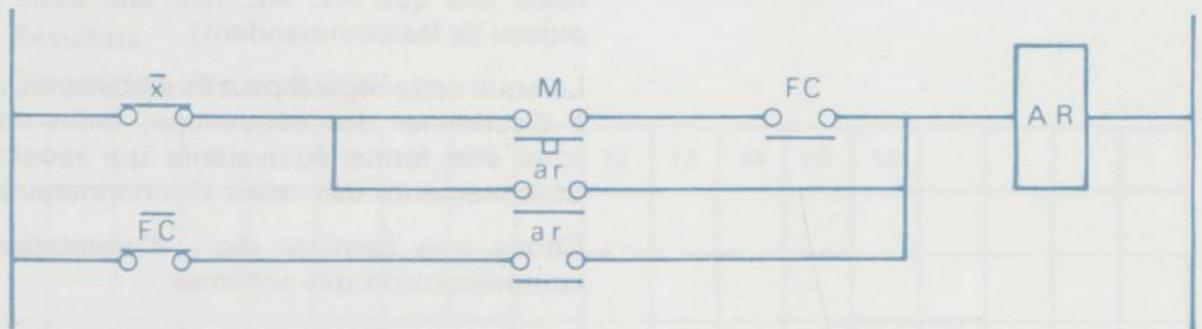
Schéma 1 :  $AR = \bar{a}l \wedge (\bar{x} \wedge M \wedge (FC \vee ar) \vee \overline{FC} \wedge ar)$



La lecture directe sur le diagramme des phases donne :

- terme d'armement :  $M \wedge FC$ ; mais  $M \wedge FC$  est aussi VRAI en phases 4, 5, 6 d'où la composition  $M \wedge FC \wedge \bar{x}$  qui couvre les phases 1 et 2.
- terme d'auto-maintien :  $\overline{FC} \wedge ar$  ( $\overline{FC}$  représentera la coupure en phase 4) qui couvre les phases 3, 3 bis.
- terme de recouvrement :  $ar \wedge \bar{x}$  qui couvre les phases 2 et 3. d'où  $AR = \bar{x} \wedge (M \wedge FC \vee ar) \vee ar \wedge \overline{FC}$

Schéma 2 :



Deux différences à noter :

- absence de  $\bar{a}l$  dans le schéma 2 : mettre  $\bar{a}l$  si on veut éviter que le bouton M étant appuyé ou ré-appuyé, en phase 8, AR se trouve alimenté alors que la paillette al est encore au contact de ses bornes.
- sur l'ensemble « terme d'armement et de recouvrement » on a :  
en 1 :  $M \wedge (FC \vee ar)$   
en 2 :  $(M \wedge FC) \vee ar$

Quelle est la différence ?

La différence tient à une question qui s'est posée à l'alinéa 7.1.1 et à laquelle nous n'avons pas répondu : M est-il appuyé ou non en phase 2 ?

Au moment de l'établissement du diagramme la réponse n'était pas évidente mais elle l'est maintenant. En effet reprenez le schéma 1 et le diagramme des phases avec relais discriminateur : vous pouvez constater que si on relâche M avant que la came 1 ait relâché FC alors AR se désactive (l'actionneur d'avance rapide n'est plus commandé). Le schéma 1, obtenu par la « méthode rigoureuse » a fidèlement traduit notre diagramme qui portait que M est VRAI jusqu'à ce que FC retombe.

Supposez maintenant que M peut être, ou n'être plus, appuyé en phase 2. On doit porter sur le tableau de Karnaugh les compositions  $M \wedge FC \wedge ar \wedge \bar{x}$  et  $\bar{M} \wedge FC \wedge ar \wedge \bar{x}$  pour la phase 2. En reprenant toutes les simplifications avec ce nouveau terme  $\bar{M} \wedge FC \wedge ar \wedge \bar{x}$  on retrouve un schéma semblable au schéma 2 mais ayant  $\bar{a}l$  en facteur comme dans le schéma 1.

Retenez de ce commentaire des résultats que si l'on hésite sur la phase à partir de laquelle il y a doute sur l'état de M, on peut reprendre cet examen, et trancher plus aisément, sur les schémas logiques en analysant les conséquences de telle ou telle hypothèse sur le fonctionnement.

Vous avez donc établi ainsi les schémas de AR, AL et X. L'automatisme va être construit et installé chez un utilisateur. Comment le responsable de l'entretien va-t-il pouvoir aisément mettre en route la machine et ultérieurement la dépanner ?

Pour l'aider il lui faut les *schémas* auxquels vous aurez joint votre *diagramme des phases* définitif. Donnez aux relais, si possible, des noms qui sont des abréviations simples et qui renseignent sur leurs fonctions. On pourra « attribuer » au relais la fonction qu'il commande et repérer le relais par une abréviation de cette fonction. Exemple : le relais qui commande l'actionneur d'avance rapide sera appelé « relais d'avance rapide » et repéré par AR, ou AVR, etc.

Dans cette perspective d'aider à lire facilement les schémas afin de permettre des dépannages rapides, on ajoutera deux règles pour la mise en place des relais discriminatoires.

**Règle 4** : Essayer de provoquer les armements et désarmements des relais discriminatoires en début ou fin de séquence.

Expliquons-nous : une séquence est un mouvement élémentaire de la machine. Par exemple en perçage on aura : séquence d'avance rapide, séquence d'avance lente, séquence de retour rapide.

La séquence correspond donc sur la machine à des événements qui se voient.

La phase au contraire décompose la séquence en états distincts de l'unité d'automatisation ; à une séquence correspond ainsi plusieurs phases. Les phases ne sont pas observables facilement (Exemple : comment voir le temps de réponse d'un relais ?).

L'idée de cette règle 3 est donc de rattacher les états du relais discriminatoire à des états de la machine qui s'observent aisément (on notera qu'ainsi on rapproche le fonctionnement du relais discriminatoire de celui des autres relais tels que AV, AL, RR, etc. dont les états sont liés aux séquences puisqu'ils les commandent).

Lorsque cette règle 3 peut être observée, discriminer des phases revient alors à discriminer des séquences ; enfin vous la trouverez parfois exprimée sous une forme équivalente qui recommande d'éviter les armements et désarmements des relais discriminatoires en cours de séquence.

Citons une dernière règle d'orientation qui aidera ultérieurement à la compréhension des schémas.

**Règle 5** : On cherchera à modifier l'état du relais discriminatoire dès le premier changement de séquence se présentant après la phase à discriminer.

**Nota** : L'ensemble de ces règles appliqué à un cas donné laisse souvent apparaître la possibilité de plusieurs solutions pour armer et désarmer le relais discriminatoire. Il va de soi qu'on choisira la solution qui donne le schéma de commande le plus simple pour ce relais.

### 7.1.3. Conclusion :

Rassemblons en conclusion les règles mises en évidence.

**Règle 1** : Eviter d'armer les relais discriminatoires en phase 0.

**Règle 2** : Choisir la solution d'alimentation du relais discriminatoire qui provoque le nombre minimal d'armements et de désarmements de ce relais.

**Règle 3** : Les phases retenues pour l'armement et le désarmement des relais discriminatoires ne seront pas des phases à discriminer.

**Règle 4** : Essayer de provoquer les armements et désarmements des relais discriminatoires en début ou fin de séquence.

**Règle 5** : On cherchera à modifier l'état du relais discriminatoire dès le premier changement de séquence se présentant après la phase à discriminer.

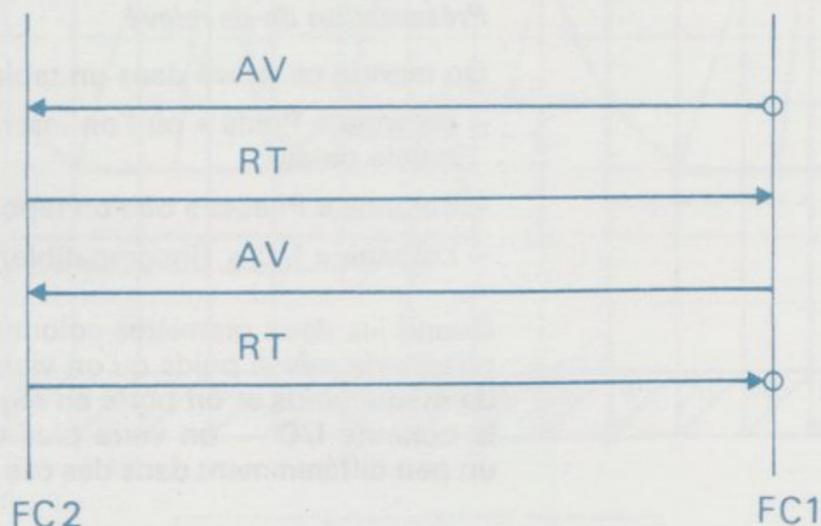
7.2 Exemple 2 :  
mécanisme  
à mouvements répétés

7.2.1 Si l'introduction d'un relais discriminateur résout certains problèmes, elle peut en créer d'autres qu'il faut connaître et que l'on va examiner sur un exemple plus délicat que les précédents.

On rencontre dans certains automatismes, et particulièrement des automatismes de chargement de pièces, le cycle suivant.

Le dispositif est un chariot mobile contrôlé par deux fins de course (FC1 : fin de course arrière, FC2 : fin de course avant) et dispose de deux mouvements (AV : avance, RT : retour).

Le départ étant sur FC1 on doit provoquer deux aller-retour, d'où le cycle des vitesses :



7.2.2 Diagramme des phases initial

Exercice

Faites ce diagramme des phases.

Relevez les phases de même poids, lesquelles sont incompatibles ?

Résultats

Diagramme des phases :

N° des phases	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16					
1 M																						
2 FC1																						
4 FC2																						
8 AV																						
16 RT																						
Poids des phases	2	3	10	8	12	4	20	16	18	2	10	8	12	4	20	16	18					

La recherche des phases incompatibles se pratique ainsi :

- poser un doigt sous le poids de la phase 0 : ce poids est 2
  - parcourir de gauche à droite, et phase par phase, les poids des phases suivantes. On pourra ainsi poser un doigt de la main gauche sous le poids de la phase 0 et pointer avec un crayon tenu dans la main droite les poids des phases de 1 à 16.
  - relever le numéro des autres phases de poids 2.
- poser ensuite le doigt de la main gauche sous le poids de la phase 1 (qui est 3)
  - parcourir de gauche à droite, et phase par phase, le poids des phases suivantes (donc de 2 à 16)
  - relever le numéro des autres phases de poids 3.
- etc.

Vous pratiquez ainsi jusqu'à ce que votre doigt de la main gauche ait atteint la phase 15.

### Présentation de ce relevé

On reporte ce relevé dans un tableau comportant 3 colonnes

- colonne « Poids » où l'on inscrit un poids dès que l'on trouve deux phases de même poids
- colonne « Phases » où l'on reporte toutes les phases ayant ce poids
- colonne « I/C » (Incompatible/Compatible).

Quand les deux premières colonnes sont remplies avec la méthode de relevé des phases de même poids qu'on vient de voir, on reprend chaque groupe de phases de même poids et on porte en regard I (Incompatibles) ou C (Compatibles) dans la colonne I/C — on verra plus loin qu'on peut se servir de cette colonne I/C un peu différemment dans des cas plus complexes.

D'où le tableau dans notre exemple :

Poids	Phases	I/C
2	0- 9	I
10	2-10	C
8	3-11	C
12	4-12	C
4	5-13	C
20	6-14	C
16	7-15	C
18	8-16	C

Ce cas peut donc apparaître simple dans la mesure où il n'y a que deux phases à discriminer (les phases 0 et 9) ; en fait on constate que toutes les phases, sauf la phase 1, ont une phase de même poids et cette situation complique la solution comme on va voir.

### 7.2.3 Solution 1

Pour discriminer les phases 0 et 9 on va placer un relais discriminateur qui sera armé entre 0 et 9 et désarmé ensuite.

#### Exercice

Appelons ce relais discriminateur RD1.

Armer RD1 en phase 3 (par le relâchement de FC1 comme dans l'exemple précédent).

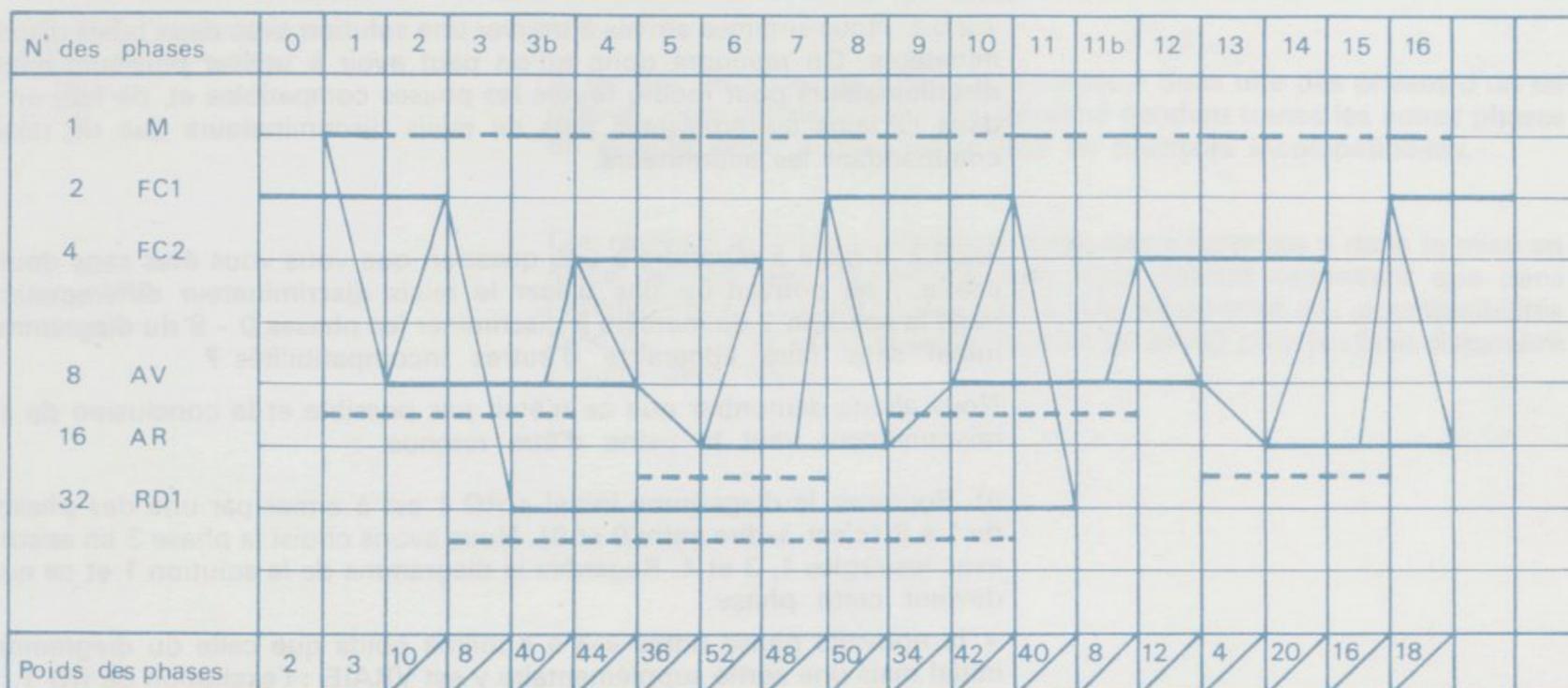
Désarmer RD1 en phase 11 (par le deuxième relâchement de FC1 donc).

Faites le diagramme des phases correspondant (où vous aurez à ajouter les phases « 3b » et « 11b » par rapport au diagramme initial).

Constatez que les phases 0 et 9 ont alors un poids différent (RD1 a pour poids 32).

Refaites un tableau complet de recherche des incompatibilités pour ce « diagramme solution 1 » : constatez que RD1 a fait apparaître de nouvelles incompatibilités.

### Commentaires de la Solution 1



Poids	Phases	I/C
8	3 11 b	I
40	3 b 11	I

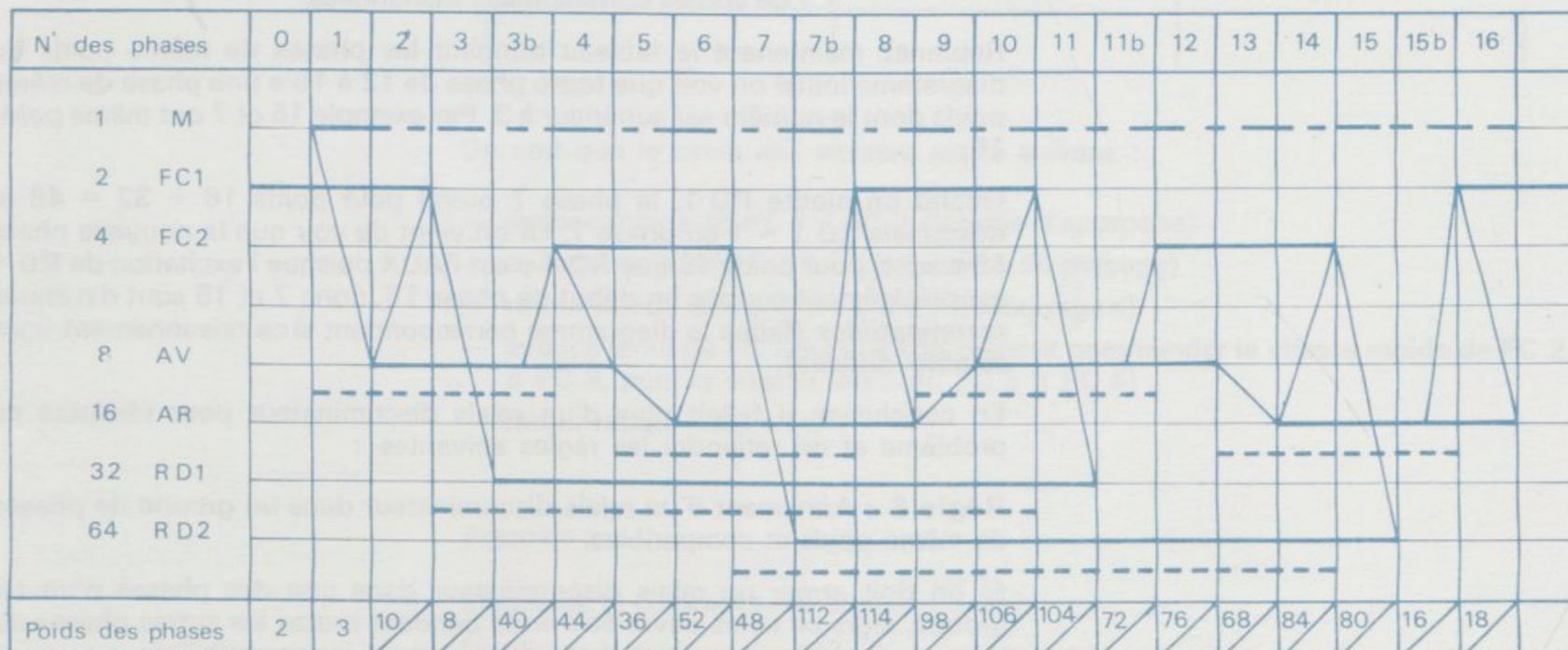
Pour faire disparaître une incompatibilité on en fait apparaître deux ! Cependant les autres phases n'ont plus même poids et on est donc ramené désormais à un diagramme des phases habituel, il suffit d'ajouter un relais discriminateur RD 2 qui sera non excité pendant les phases 3-3 b et excité pendant les phases 11 - 11 b pour obtenir un fonctionnement correct.

### 7.2.4 Solution 2

*Exercice* - A partir du diagramme de la solution 1 ajouter RD 2 que vous armerez en phase 7 (par FC 2 relâché) et désarmerez en phase 15 (par FC 2 à nouveau relâché).

Constatez alors qu'il n'y a plus de phases de même poids (il n'y a donc plus qu'à tirer les équations logiques de AV, AR, RD 1, RD 2 de ce diagramme suivant les méthodes déjà vues).

### Résultats



## 7.2.5 Conclusions

7.2.5.1 Nous sommes arrivés à trouver une solution avec deux relais discriminateurs. On retiendra donc qu'on peut avoir à utiliser plusieurs relais discriminateurs pour rendre toutes les phases compatibles et, de fait, on a dans certains automatismes plus de relais discriminateurs que de relais commandant les actionneurs.

7.2.5.2 Il reste à répondre à une question que vous vous êtes sans doute posée : ne pouvait-on pas placer le relais discriminateur différemment dans la solution 1 de manière à discriminer les phases 0 - 9 du diagramme initial sans faire apparaître d'autres incompatibilités ?

Nous allons démontrer que ce n'était pas possible et la conclusion de ce raisonnement vaut la peine d'être retenue :

a) Reprenez le diagramme initial : RD 1 est à armer par une des phases de 1 à 8 (c'est-à-dire entre 0 et 9). Nous avons choisi la phase 3 en accord avec les règles 1, 3 et 4. Regardez le diagramme de la solution 1 et ce que devient cette phase

- la nouvelle phase notée « 3 » a même poids que celle du diagramme initial mais une sortie supplémentaire y est VRAIE : l'excitation de RD 1.
- la nouvelle phase notée « 3 b » a le poids de la phase 3 augmenté du poids de rd 1 ( $8 + 32 = 40$ ) et les sorties commandées sont identiques à celles de la nouvelle phase 3.

b) Ceci étant, où va-t-on désarmer RD 1 ?

Après la phase 9 pour discriminer 0 et 9. Remarquons que la phase 3 avait dans le diagramme initial une phase de même poids et compatible, la phase 11. Examinons les 3 cas possibles : RD 1 désarmé avant la phase 11, en phase 11, après la phase 11.

**Cas 1** : RD 1 désarmé avant la phase 11

Alors les phases 3 et 11 sont incompatibles car elles ont même poids 8 ; elles avaient les mêmes sorties dans le diagramme initial mais la nouvelle phase 3 a  $RD\ 1 = 1$  en plus (si vous doutez de ce raisonnement faites un « diagramme type solution 1 », en armant RD 1 en 3 et en le désarmant en 10, et regardez ce que nous décrivons ici).

**Cas 2** : RD 1 désarmé dans la phase 11

C'est le cas que nous avons traité, reportez-vous au « diagramme solution 1 ». Les deux incompatibilités qui apparaissent étaient prévisibles avec un raisonnement semblable à ceux des cas 1 et 3.

**Cas 3** : RD 1 désarmé après la phase 11

Alors la phase 11 a même poids que 3 b et est compatible avec 3 b, mais regardons ce qui se passe quand nous désarmons RD 1.

Prenons la phase 15 pour ce désarmement, elle est alors coupée en 2 colonnes

- phase 15 - de poids 16 (poids initial) + 32 = 48  
- de sorties commandées inchangées
- phase 15 b - de poids 16  
- de sorties commandées inchangées.

Reprenez maintenant le tableau donnant les phases de même poids du diagramme initial on voit que toute phase de 12 à 16 a une phase de même poids dont le numéro est supérieur à 3. Par exemple 15 et 7 ont même poids 16.

Quand on ajoute RD 1, la phase 7 prend pour poids  $16 + 32 = 48$  et désormais  $RD\ 1 = 1$  en phase 7. Or on vient de voir que la nouvelle phase 15 a aussi pour poids 48 que RD 1 y est FAUX puisque l'excitation de RD 1 est précisément coupée en début de phase 15, donc 7 et 15 sont devenues *incompatibles* (faites le diagramme correspondant si ce raisonnement vous semble difficile).

En conclusion il fallait plus d'un relais discriminateur pour résoudre ce problème et on retiendra les règles suivantes :

**Règle 6** : Armement d'un relais discriminateur dans un groupe de phases de même poids et compatibles.

Si on doit *armer* un relais discriminateur dans une des phases d'un tel groupe, alors ce relais devra être *armé* pendant toutes les autres phases du groupe sinon il provoquera une, ou plusieurs incompatibilités.

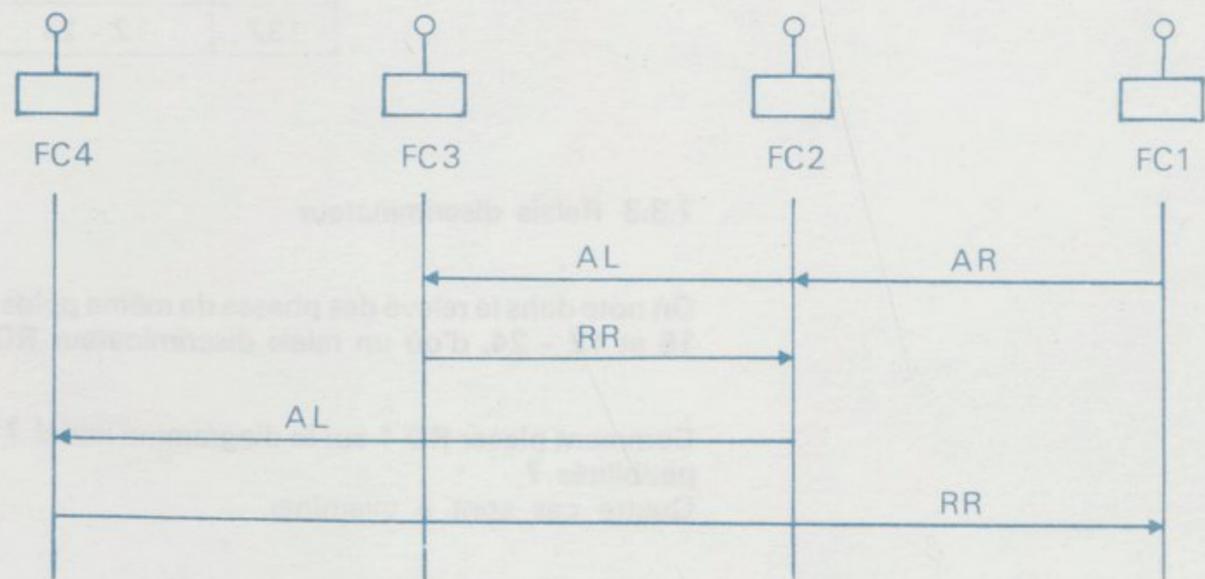
**Règle 7 :** Désarmement d'un relais discriminateur dans un groupe de phases de même poids et compatibles.

Si on doit *désarmer* un relais discriminateur dans une des phases d'un tel groupe, alors ce relais devra être *désarmé* pendant toutes les autres phases du groupe sinon il provoquera une ou plusieurs incompatibilités.

Ces règles 6 et 7 vous aideront à éviter des « surprises » dans la mise en place de vos relais discriminateurs; vous noterez cependant que dans l'exemple que l'on vient de traiter on a accepté de créer des incompatibilités avec RD 1 (ce qui était la seule solution possible) pour les faire disparaître ensuite avec RD 2.

### 7.3 Exemple d'un cycle de perçage avec débouillage

7.3.1 Dans le cas de perçages de grande longueur il est nécessaire de percer jusqu'à une certaine profondeur puis de sortir le foret de la pièce (afin que les copeaux soient éjectés) avant de replonger l'outil pour le perçage à la profondeur finale désirée. On empêche ainsi les copeaux d'être « bourrés » dans le trou en cours de perçage et d'y bloquer le foret - ce qui aurait toute chance de le détériorer. Dans ce cas simple on utilisera ainsi 4 « fins de course » :



On voit que le cycle des vitesses est le suivant :

- avance rapide de FC 1 à FC 2 (vitesse d'approche)
- avance lente de FC 2 à FC 3 (vitesse de perçage)
- retour rapide de FC 3 à FC 2 (« débouillage »)
- avance lente de FC 2 à FC 4 (on pourrait commander la vitesse rapide de FC 2 à FC 3, puis la vitesse lente de FC 3 à FC 4)
- retour rapide jusque FC 1.

*Exercice :*

Etablissez le diagramme des phases initial.

Etablissez le tableau des phases de même poids.

### 7.3.2 Diagramme initial



Poids	Phases	I/C
4	5 - 13	C
68	6 - 14	C
64	7 - 15 - 17	C
72	8 - 16	I
136	10 - 22	C
128	11 - 21 - 23 - 25	C
132	12 - 24	I

### 7.3.3 Relais discriminateur

On note dans le relevé des phases de même poids les incompatibilités des phases 8 - 16 et 12 - 24, d'où un relais discriminateur RD 1 à ajouter.

Comment placer RD 1 sur le diagramme initial ? Va-t-il faire apparaître des incompatibilités ?

Quatre cas sont à examiner.

**Cas 1 :** RD 1 = 1 en 8 et 12 (RD 1 désarmé en 16 et 24). Il faut donc désarmer RD 1 entre 12 et 16, c'est-à-dire en 13, 14 et 15.

- Les phases 12 et 5 ont même poids, si RD 1 est désarmé en 13 il doit être non excité en phase 5 d'après la règle 7. Il nous reste donc les phases 6 et 7 pour armer RD 1 avant 8. Mais d'après la règle 6 si on arme en phase 6 il faut RD 1 = 1 en phase 14 et si on arme en phase 7 il faut RD 1 = 1 en phases 15 - 17 (phases de même poids), ce qui est incompatible avec l'hypothèse du désarmement en 13.
- Reprenez le même raisonnement pour l'hypothèse de désarmement en 14. La règle 7 impose d'armer après 6 (car 14 et 6 ont même poids). La règle 6 impose RD 1 = 1 en 15 et 17 si on arme en 7. Là encore on ne peut éviter des incompatibilités si on se propose de désarmer en 14.
- Désarmement en 14 : montrez que la règle 7 ne donne aucune possibilité d'armement avant 8.

**Conclusion :** RD 1 placé dans le cas 1 (RD 1 = 1 en 8 et 12) fait apparaître des incompatibilités.

**Cas 2** : RD 1 = 1 en 12 et 16 (RD 1 désarmé en 8 et 24). Donc armement à envisager en 9, 10 ou 11.

- Armement en 9 : pas de problème
- Armement en 10 : voyez avec la règle 6 le problème d'avoir RD 1 = 1 en 22 (ce qui implique de désarmer en 23, lequel désarmement impose alors RD 1 = 0 en 11, 21, 25 d'après la règle 7). Ne convient pas.
- Armement en 11 : la règle 6 impose d'être alors armé en 21 - 23 - 25 ce qui ne permet pas RD 1 = 0 en 24.

Retenons l'armement en 9. Où désarmer RD 1 ?

Entre 16 et 24, c'est-à-dire en 17, 18, 19, 20, 21, 22 ou 23.

Vous éliminerez 17, 21, 22, 23 avec la règle 7. Il reste 18, 19, 20.

**Conclusion** : Dans ce cas (RD 1 = 1 en 12 et 16) le relais discriminateur ne provoquera pas d'incompatibilité s'il est armé en 9 et désarmé en 18, 19 ou 20.

Remarquez qu'utiliser la phase 18 amènerait à désarmer AL et AR simultanément, d'où une indécision sur la fin de la phase (quel relais se désexcite le plus vite ?) qu'on évitera quand faire se peut. On pourrait alors désarmer RD 1 en 18 et ordonner les phases en désexcitant ensuite AL par la retombée en RD 1 ; mais ce n'est pas une bonne solution car ceci implique deux conditions pour arrêter AL (FC 4 = 1 et RD 1 = 0) et, pour des raisons de sécurité, les ordres d'arrêt doivent être transmis le plus directement possible du capteur (FC 4 ici) à l'actionneur intéressé (commande de l'avance lente par le relais AL). En 20 on retrouve la même difficulté d'ordonner les phases.

**Exercice** :

Tracer le diagramme des phases correspondant au cas 2, en armant RD 1 en 9 et en le désarmant en 19 (phase de changement de séquence), RR étant alimenté en 20 par la condition RD 1 = 0 (notez alors que si RD 1 tombant « en panne » ses paillettes restent à l'état 1, RR n'est pas commandé ce qui ne provoque aucun dommage). (1)

**Cas 3** : RD 1 = 1 en 16 et 24 (RD 1 désarmé en 8 et 12).

Désarmer en 25 c'est s'imposer RD 1 = 0 en 23 (règle 7), ce qui est contraire au but recherché d'avoir RD 1 = 1 en 24.

Il faut désarmer en 26 si on veut respecter la règle 1.

Où armer ? Entre 12 et 16.

- en 13 : la règle 6 impose RD 1 = 1 en 5. Supposons qu'on ait armé RD 1 en 3, on a bien RD 1 = 1 en 5 et il reste les phases 6, 7 pour désarmer avant 8.
  - désarmer en 6, c'est s'imposer RD 1 = 0 en 14 (règle 7) ce qui est contraire à cette hypothèse d'armer RD 1 en 13
  - désarmer en 7 : même raisonnement, ne convient pas.
- en 14 : raisonner comme en 13, ne convient pas.
- en 15 : ne convient pas. Pourquoi ?

**Conclusion** : RD 1 placé dans le cas 3 fait apparaître des incompatibilités.

**Cas 4** : RD 1 = 1 en 24 et 8.

Remarquez que pour avoir RD 1 = 1 en 24 on peut armer RD 1 en 18, 19 ou 20 et désarmer en 26.

Montrez alors que pour avoir RD 1 = 1 en 8, on peut armer RD 1 en 1, 2, 3 ou 4 et on ne peut désarmer qu'en 9.

**Exercice** :

Tracez le diagramme des phases correspondant au cas 4, avec

- RD 1 armé en 3, désarmé en 9 (RR n'étant excité qu'avec RD 1 revenu à 0)
- RD 1 armé en 19 (RR n'étant excité qu'avec RD 1 à 1) et désarmé en 26.

Vérifiez qu'il n'y a plus de phases incompatibles. (Corrigé en fin de cet alinéa).

(1) corrigé à la fin de cet alinéa

### 7.3.4 Conclusion

a) Le problème que nous venons de traiter est un automatisme présentant des difficultés certaines. Vous voyez que les quelques règles que nous avons mises en place — dont certaines sont des conseils d'orientation et d'autres de véritables théorèmes (règles 3, 6 et 7) — permettent d'analyser *toutes* les solutions possibles. Les raisonnements présentés vous ont peut-être semblé difficiles à suivre parfois, essayez de les refaire sans l'aide de ces feuilles; vous verrez qu'avec un peu de temps ils s'assimilent bien car ils sont très répétitifs dans leur structure.

En conclusion le problème est soluble avec un seul relais discriminateur qu'on peut armer plusieurs fois en cours de cycle si nécessaire (cas 4). Quand plusieurs solutions sont possibles comme ici, on pourra choisir celle qui donne le circuit de commande de RD 1 le plus simple ou celle qui provoque le nombre minimal d'armements-désarmements (généralement ces deux critères se recoupent).

b) Il est assez évident qu'une solution à deux relais discriminateurs est possible. Si l'on s'impose d'armer et de désarmer ces relais sur des changements d'état des capteurs uniquement (facilité d'observation pour le dépannage) vous avez maintenant les moyens pour démontrer que toute solution à un seul relais discriminateur laisse des incompatibilités.

En raisonnant comme dans l'exemple précédent (alinéa 7.2) on peut armer un premier relais RD 1 en 7 (par la retombée de FC 2) et le désarmer en 15 (par sa seconde retombée de FC 2). Faites le diagramme : voyez que les incompatibilités du diagramme initial ont disparu mais qu'il en est apparu d'autres dans les groupes de phases 7 - 15 b - 17 et 7 b - 15.

Un second relais discriminateur (RD 2) armé en phase 3 (par la retombée de FC 1) et désarmé en phase 15 (par la retombée de FC 2) résout le problème. Faites le diagramme avec RD 1, RD 2 pour exercice, vérifiez qu'il n'y a plus d'incompatibilités (corrigé en fin de cet alinéa).

c) *Exercice* :

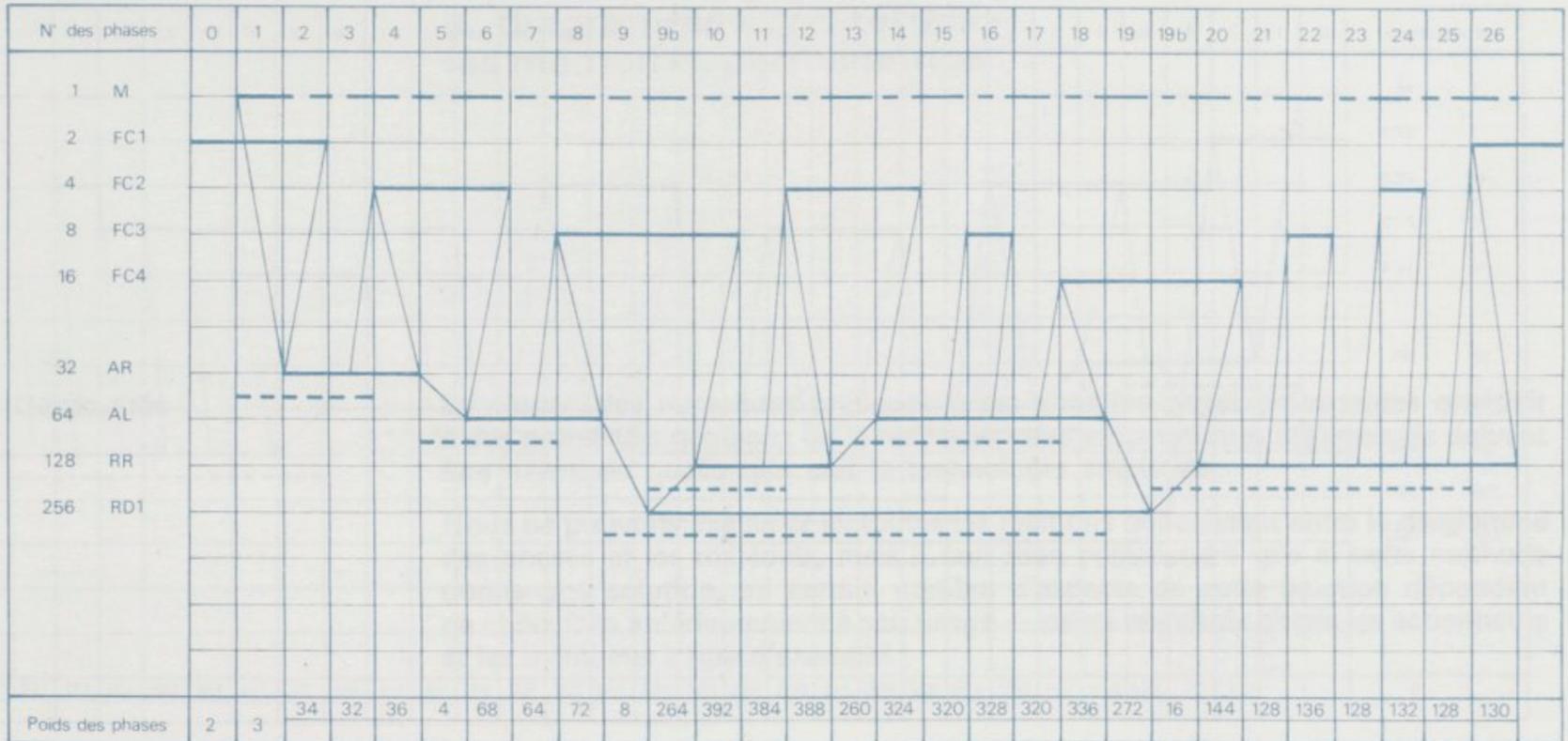
Établir les équations logiques du système dans ces trois diagrammes (cas 2, cas 4 et ci-avant). Comparer les résultats obtenus.

d) Vous voici maintenant avec de bonnes connaissances de base sur le diagramme des phases; vous pouvez considérer que lorsqu'un automatisme industriel de type courant vous est présenté sous cette forme vous avez les moyens de le résoudre bien.

Il nous reste à voir une question importante : comment formuler le problème posé dans les termes du diagramme des phases ?

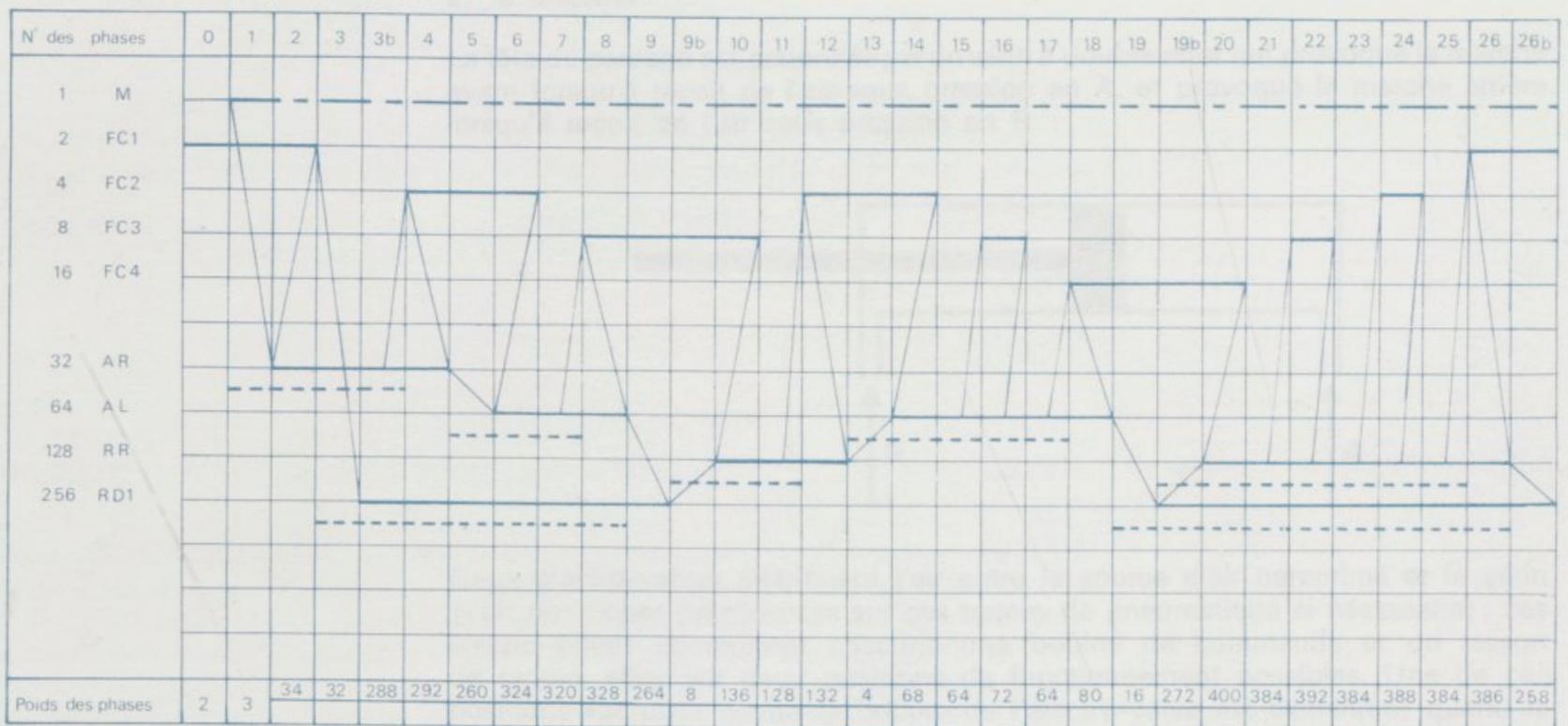
Chacun de nos exemples a répondu à cette question puisque nous sommes généralement partis d'une description de fonctionnement pour établir le diagramme des phases, mais nous allons préciser un peu plus cet aspect en abordant

- les incidences des choix technologiques sur le diagramme
- la décomposition d'un problème complexe en automatismes plus simples qui pourront être plus aisément étudiés sur le diagramme



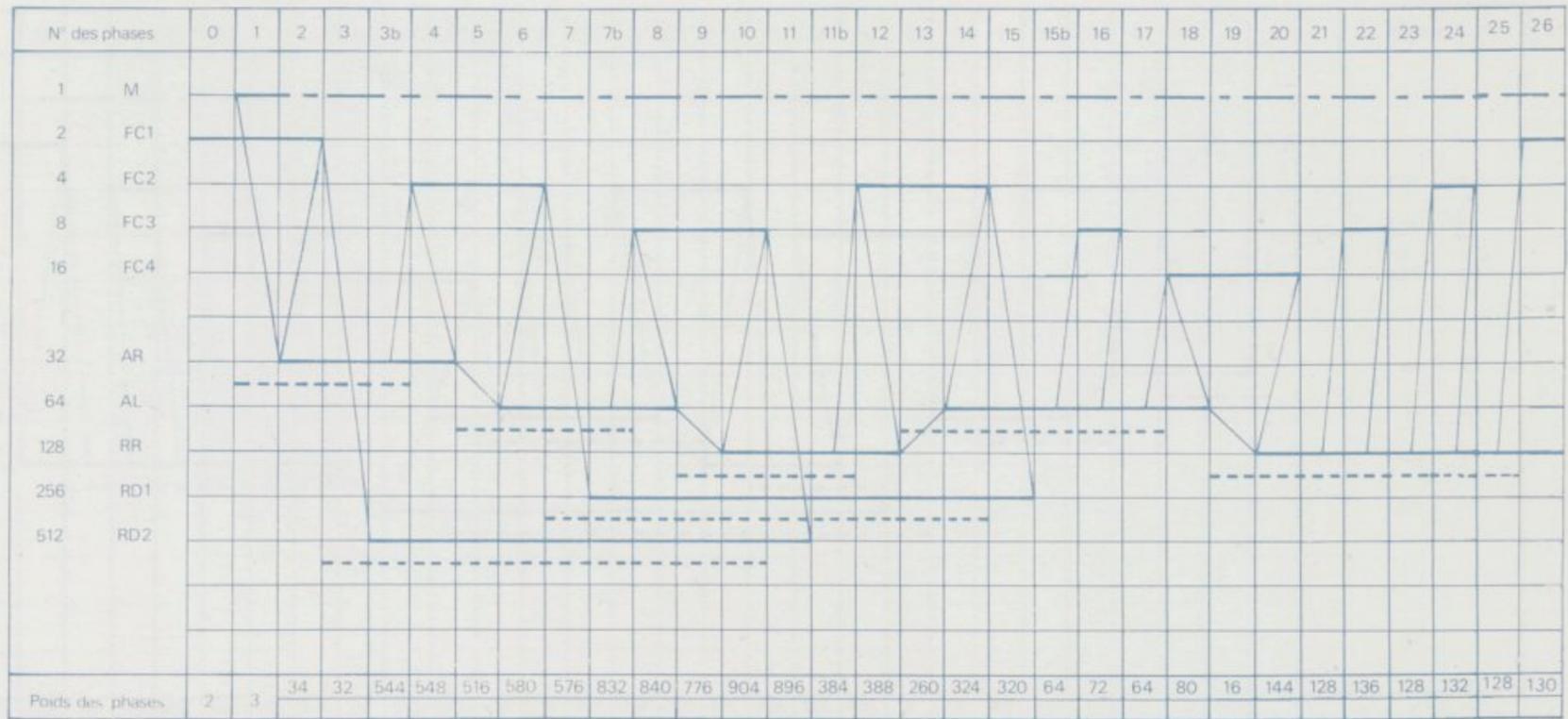
**Cas 2 : RD 1 armé pendant les phases 12 et 16**

Poids	Phases	I/C
320	15 - 17	C
128	21 - 23 - 25	C



**Cas 4 : RD 1 armé pendant les phases 8 et 24.**

Poids	Phases	I/C
64	15 - 17	C
384	21 - 23 - 25	C



Exemple de solution à deux relais discriminateurs.

Poids	Phases	I/C
64	15b - 17	C
128	21 - 23 - 25	C

## 8. diagramme et matériels - les mémoires permanentes

### 8.1 Généralités

La plupart des remarques pratiques faites dans les pages précédentes ont trait à des problèmes généraux de la réalisation des automatismes logiques, ils doivent être examinés quelle que soit la technologie employée.

Nous ne pouvons examiner ici toutes les relations qui existent entre le diagramme des phases et les matériels, mais il faut bien comprendre que si cette méthode donne une solution, un certain nombre d'aspects de cette solution dépendent de choix faits antérieurement à son usage — parmi ces choix citons les actionneurs et les mémoires à titre d'exemple.

### 8.2 Diagramme et actionneurs

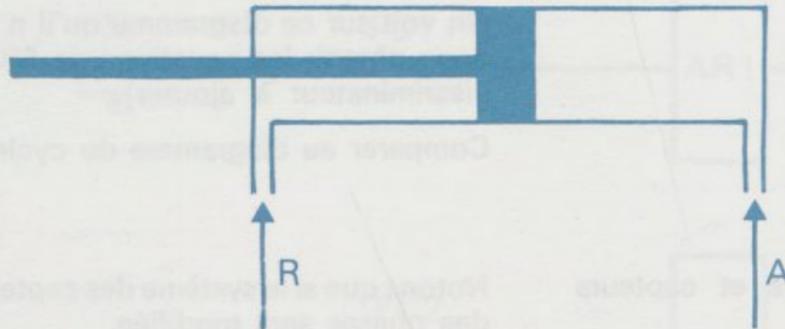
Les actionneurs influent effectivement sur le diagramme car leurs modes de commande dépendent de leur nature et ces ordres de commande font précisément partie des informations qu'élabore l'unité d'automatisation.

Pour un système de capteurs et un cycle de vitesse donnés (Ex. : le cycle de perçage déjà vu), quelle que soit la technologie la partie supérieure du diagramme des phases est pratiquement inchangée; c'est la partie inférieure qui, liée aux spécifications des actionneurs, dépendra de leur choix.

Voyons brièvement ceci sur l'exemple d'un cycle de perçage à commande pneumatique.

#### a) le matériel

La tête de perçage est actionnée par un vérin à double effet qui provoque la marche avant lorsqu'il reçoit de l'air sous pression en A, et provoque la marche arrière lorsqu'il reçoit de l'air sous pression en R :



Deux électro-valves distribuent l'air entre la source d'air comprimé et le vérin (voir nos fiches précédentes sur ces termes de pneumatique si nécessaire); ces électro-valves comportent chacune une bobine de commande et un ressort de rappel, elles ont deux positions de fonctionnement possibles. Une de ces positions est prise quand la bobine de l'électro-valve est alimentée; quand la bobine n'est plus alimentée le ressort de rappel ramène les électro-valves dans leur position d'origine.

Les bobines électro-valves ont les énoncés binaires suivants :

EP : « La bobine de l'électro-valve de petit débit est alimentée »

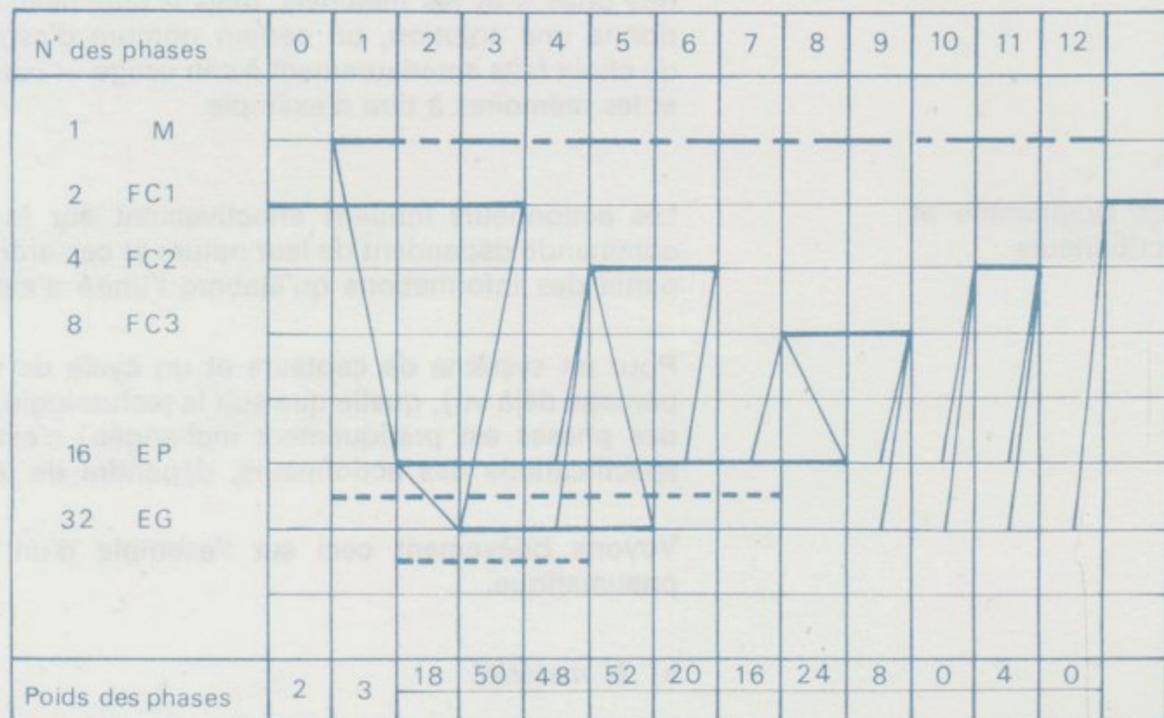
EG : « La bobine de l'électro-valve de grand débit est alimentée ».

Le pneumaticien a réalisé un circuit d'alimentation du vérin tel que :

- EP = 1 ET EG = 1 provoque l'avance rapide (débits d'air des deux électro-valves simultanément vers l'entrée A du vérin)
- EP = 1 ET EG = 0 provoque l'avance lente (seul le petit débit continue d'alimenter le vérin en A)
- EP = 0 ET EG = 0 provoque le retour rapide (sous l'action de leurs ressorts de rappel les deux électro-valves prennent une position telle que leurs débits conjoints sont envoyés cette fois vers l'entrée R du vérin).

b) Le diagramme des phases se présentera ainsi :

- phases 1 - 2 : on commande des électro-valves dans l'ordre EP - EG (afin d'éviter un à-coup de pression dans les tuyauteries d'air)
- phase 4 : avance rapide
- phases 5 - 6 : le passage sur FC 2 coupe EG
- phase 7 : course d'avance lente
- phase 8 : le passage sur FC 3 coupe EP
- phase 9 : EP = 0, EG = 0 le système est alors tel que le vérin reçoit de l'air en R et provoque le retour
- phases 10 - 11 - 12 : ce retour s'effectue, la came de la tête mobile revient actionner FC 1. Grâce à un dispositif pneumatique extérieur à cet automatisme le mouvement de retour est amorti en fin de course. Le fait d'avoir EP = 0, EG = 0 d'après la phase 12 (nouvelle phase d'origine) montre que le vérin maintient la tête de perçage sous pression, vers l'arrière, sur une butée mécanique.



Sur ce diagramme EP représente en fait l'excitation d'une mémoire à relais dont c'est une paillette à fermeture qui permettra la mise sous tension électrique de la bobine de l'électro-valve correspondante. Il en va de même pour EG.

On voit sur ce diagramme qu'il n'y a pas de phases incompatibles ; vous pouvez donc obtenir les équations de EP et EG sans problème particulier (pas de relais discriminatoire à ajouter).

Comparer au diagramme du cycle de perçage déjà vu.

### 8.3 Diagramme et capteurs

Notons que si le système des capteurs est changé la partie supérieure du diagramme des phases sera modifiée.

Pour un cycle de perçage identique à ceux que nous avons vus prenons l'exemple d'un système américain qui n'utilise qu'un fin de course sur le bâti de la machine. La tête de perçage porte des cames qui viennent actionner ce fin de course, celui-ci est ainsi actionné en fin d'avance rapide puis en fin d'avance lente, etc. A chacune de ces actions il provoque l'alimentation d'un moteur électrique spécial qui tourne d'un angle donné à chacune de ces excitations et entraîne des cames qui actionnent des contacts.

Le diagramme des phases est utilisable identiquement mais se présente très différemment.

**Nota** : ce système a des avantages que nous n'avons pas à examiner ici, mais présente le défaut d'être sensible aux « rebondissements de contact ».

En effet un contact de fin de course ou de relais qui vient au contact de ses bornes peut rebondir sur celles-ci plusieurs fois pendant un très court instant. Le contact entre les bornes étant ainsi alternativement ouvert ou fermé tout se passe pour l'extérieur comme si le contact était actionné plusieurs fois.

Dans l'exemple que nous citons ici le moteur électrique spécial est un moteur à faible temps de réponse, ses mouvements de rotation vont suivre les rebonds du fin de course qui le commande... ce qui ôte toute fiabilité à l'automatisme (car ces rebonds sont irréguliers).

## 8.4 Mémoires permanentes

### 8.4.1 Pourquoi ces mémoires ?

Un point extrêmement important de l'exploitation d'une installation automatique est celui de sa remise en route après tout arrêt (volontaire ou fortuit) et en particulier après une panne de courant.

Nous avons déjà signalé cette question en temps utile et indiqué comment on pouvait, à l'aide de la marche MANU, ramener la machine en position d'origine et relancer alors le travail en AUTO. Cette procédure est longue pour les installations complexes, donc onéreuse ; aussi souhaite-t-on que la machine ait conservé la « mémoire » de sa position et puisse continuer son travail grâce à un simple appui sur MARCHE après toute panne de courant.

Les mémoires à paillettes d'auto-maintien se désarment dès que le courant est coupé. Quelles autres solutions avons-nous à notre disposition pour résoudre ce problème ?

### 8.4.2 Accumulateurs

Signalons pour mémoire les automatismes par relais à faible consommation d'énergie et à courant continu qu'on alimente parfois par accumulateurs-tampons (accumulateurs placés entre le secteur et l'automatisme).

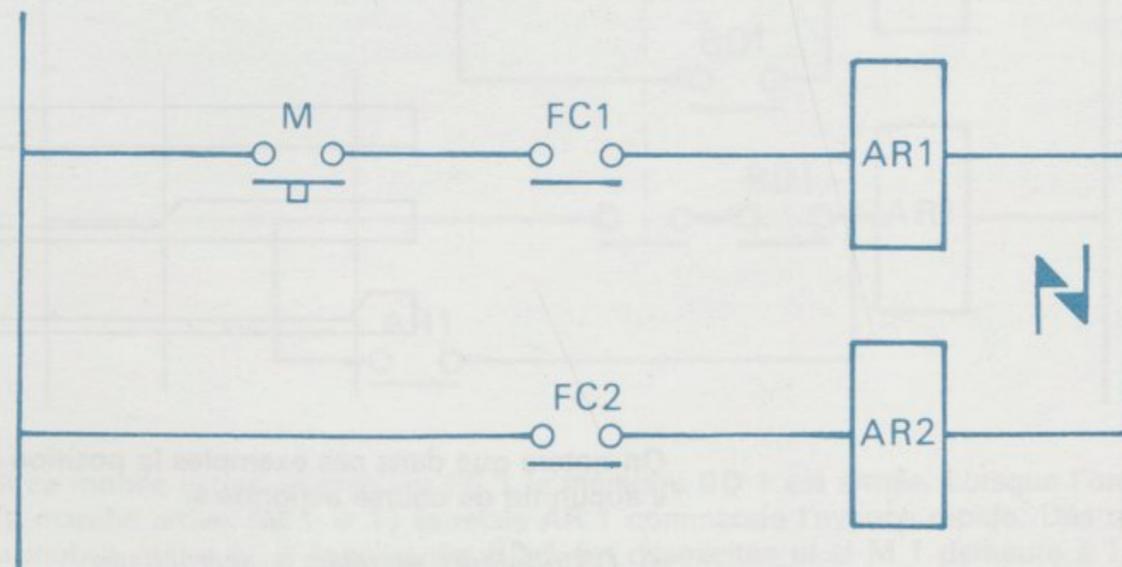
### 8.4.3 Relais à accrochage mécanique

Ces relais constituent la solution industrielle la plus répandue et sont réalisés selon différents principes.

L'un de ces principes est le suivant : le relais a deux bobines (B 1 et B 2) ; si B 1 est alimentée les paillettes à fermeture viennent au contact de leurs bornes, si on cesse d'alimenter B 1 le relais reste dans cet état grâce à un système d'encliquetage mécanique ; si B 2 est alors alimentée les paillettes sont ramenées à l'état 0 et y demeurent quand l'alimentation de B 2 cesse.

Il n'existe pas actuellement de symbole normalisé pour ce relais. On pourra le représenter par ses deux bobines B 1, B 2, en ajoutant un signe symbolisant la présence d'un verrouillage mécanique.

Exemple de représentation :



Tout ce que nous avons vu du diagramme des phases s'applique à ce système ; mais des termes de commande vus précédemment pour une mémoire à auto-maintien — armement, auto-maintien, coupure et terme éventuel de recouvrement) il ne reste qu'à trouver l'équation logique du terme d'armement pour commander la première bobine et trouver l'équation logique du terme de coupure pour commander la seconde — ce qui est généralement très simple.

Ainsi dans l'exemple de représentation que nous venons de donner peut-on lancer une avance rapide de perçage avec les paillettes de AR 1. Ces paillettes retomberont quand AR 2 sera commandé, c'est-à-dire à l'arrivée sur FC 2.

On peut réaliser des cycles entiers avec des relais à accrochage. Cependant pour différentes raisons pratiques, et en particulier le fait que les relais à accrochage mécanique ont une fiabilité plus faible que les relais simples, on peut vouloir en limiter le nombre et les associer à différents dispositifs que l'on va voir.

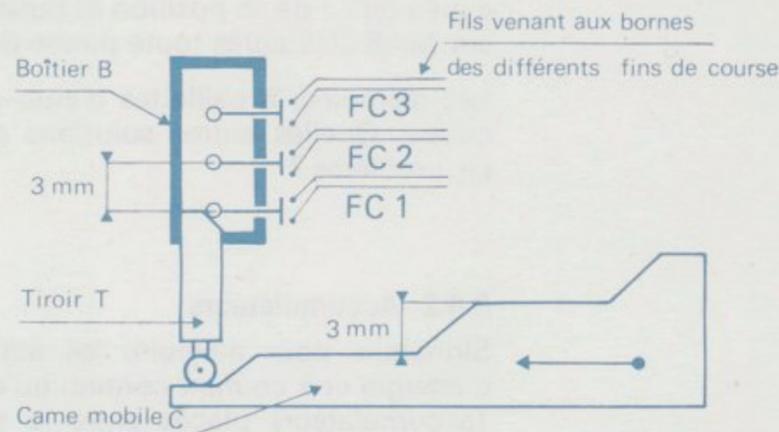
**Nota :** Il existe aussi des relais à accrochage magnétique, c'est-à-dire utilisant les propriétés des aimants permanents, etc.

#### 8.4.4 Les distributeurs et les cames

##### a) Exemple 1 :

Le dispositif est constitué d'un boîtier B comprenant des fins de course espacés d'une distance fixe (3 mm par exemple). Ces fins de course sont actionnés par un tiroir mobile. Le boîtier B est généralement fixé sur le bâti de la machine.

L'organe mobile entraînera dans ses mouvements une came mobile C ; celle-ci est constituée de paliers dont la hauteur sera 3 mm, dans cet exemple.



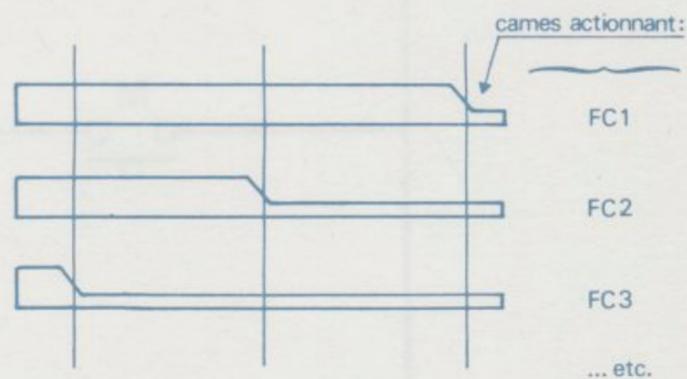
Lorsque l'organe mobile avance il entraîne la came qui, dans la position de notre schéma, actionnera successivement les différents fins de course. Les longueurs de came dépendront des courses de l'organe mobile considéré (mais tous les distributeurs sont identiques).

On voit qu'ainsi, quel que soit l'endroit où se produise une panne de courant, l'état des différents fins de course renseigne exactement sur la position de l'organe mobile dès le retour de la tension électrique.

**Nota :** La came peut être constituée de différentes pièces réglables (facilité d'usinage mais risque de dérèglement) ou usinée d'un seul bloc (usinage précis nécessaire, pas de risque de dérèglement si ce n'est une translation de l'ensemble des courses de l'organe mobile).

##### b) Exemple 2 :

On trouve aussi des dispositifs comportant autant de cames que de fins de course, fixées côte à côte sur l'organe mobile :



On notera que dans ces exemples la position arrière peut être considérée comme « aucun fin de course actionné ».

##### c) Distributeurs et relais à accrochage

Il est clair que ces systèmes permettent de connaître la position de l'organe mobile à tout moment et en particulier après une panne de courant mais ils n'indiquent pas quel était le sens du mouvement en cours (avant ou arrière?).

Pour fixer ce dernier point on pourra utiliser un relais à accrochage dont la bobine B 1 pourra être accrochée à l'aide de AR  $\wedge$  FC1 (démarrage de l'avance rapide) ; B 2 sera excitée par le fin de course donnant la fin de l'avance travail. Les paillettes à fermeture de ce relais seront donc au contact de leurs bornes pendant les courses d'avance et retombées pendant les courses de retour (attention aux cycles ayant plusieurs allers et retours — perçage avec déburrage, etc. — bien remettre ce relais en bonne position à toute inversion de marche).

Après panne de courant l'utilisateur appuiera sur Marche pour réarmer la mémoire de marche qui doit être à auto-maintien pour des raisons de sécurité (pas de démarrage accidentel à la remise sous tension). L'automatisme, à l'aide de la position des fins de course actionnés par les distributeurs et des relais à accrochage (de sens de marche), devra pouvoir continuer le travail à l'endroit où il avait été interrompu — et sans autre intervention manuelle.

## 9. automatismes "modulaires"

9.1

Des automatismes industriels tels que ceux d'une machine-transfert sont complexes, formés parfois de centaines d'organes binaires. Si on regarde cependant de plus près les fonctionnements demandés on constate que la machine est formée d'organes mobiles dont les cycles de travail sont voisins, sinon identiques (semblables à ceux que nous avons vus dans les paragraphes précédents).

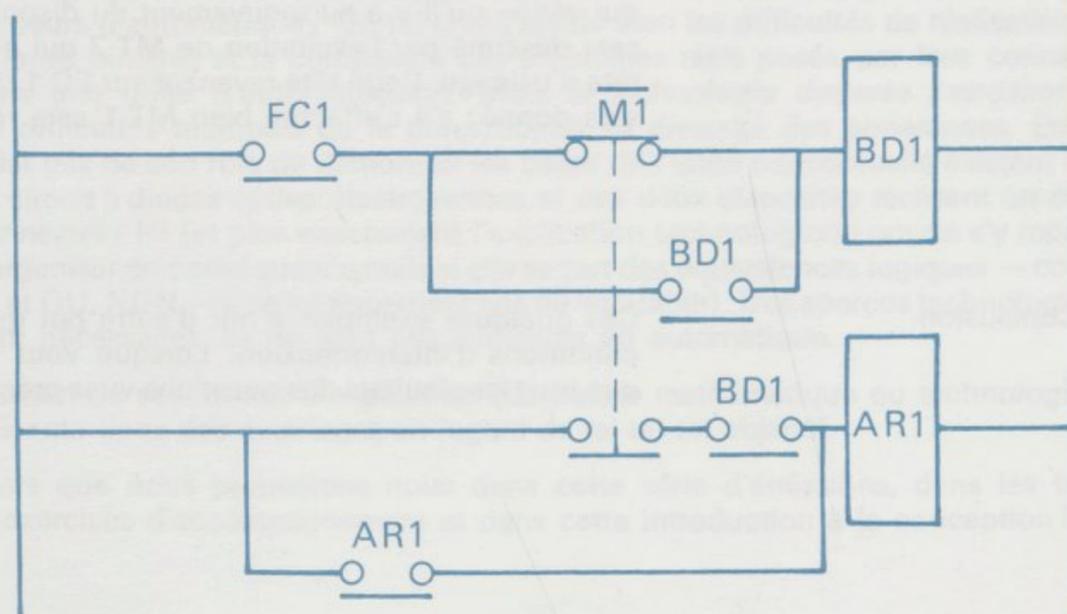
D'où l'idée de découper l'automatisme en parties distinctes (parfois appelées « cycles élémentaires » ou « modules ») correspondant aux différents organes de la machine et liées entre elles par des conditions de démarrage, d'arrêt et de sécurité.

9.2

On trouve dans ces connexions de modules des problèmes spécifiques que nous ne pouvons aborder dans cette brève étude mais qui sont d'un niveau de réflexion identique aux questions vues ci-avant.

A titre d'exemple citons le problème de ne pas relancer un cycle élémentaire (cas d'un taraudage ou d'un alésage) si l'ordre de marche n'est pas retombé.

Pour l'organe mobile 1 on aura :



Si ce mobile est en attente sur FC 1 la mémoire BD 1 est armée. Lorsque l'ordre de marche arrive ( $M 1 = 1$ ) le relais AR 1 commande l'avance rapide. Dès que le mobile quitte FC 1 la mémoire BD 1 est désexcitée et si M 1 demeure à 1 le mobile n'entamera pas un deuxième cycle mais s'arrêtera sur FC 1 en fin de course retour.

9.3

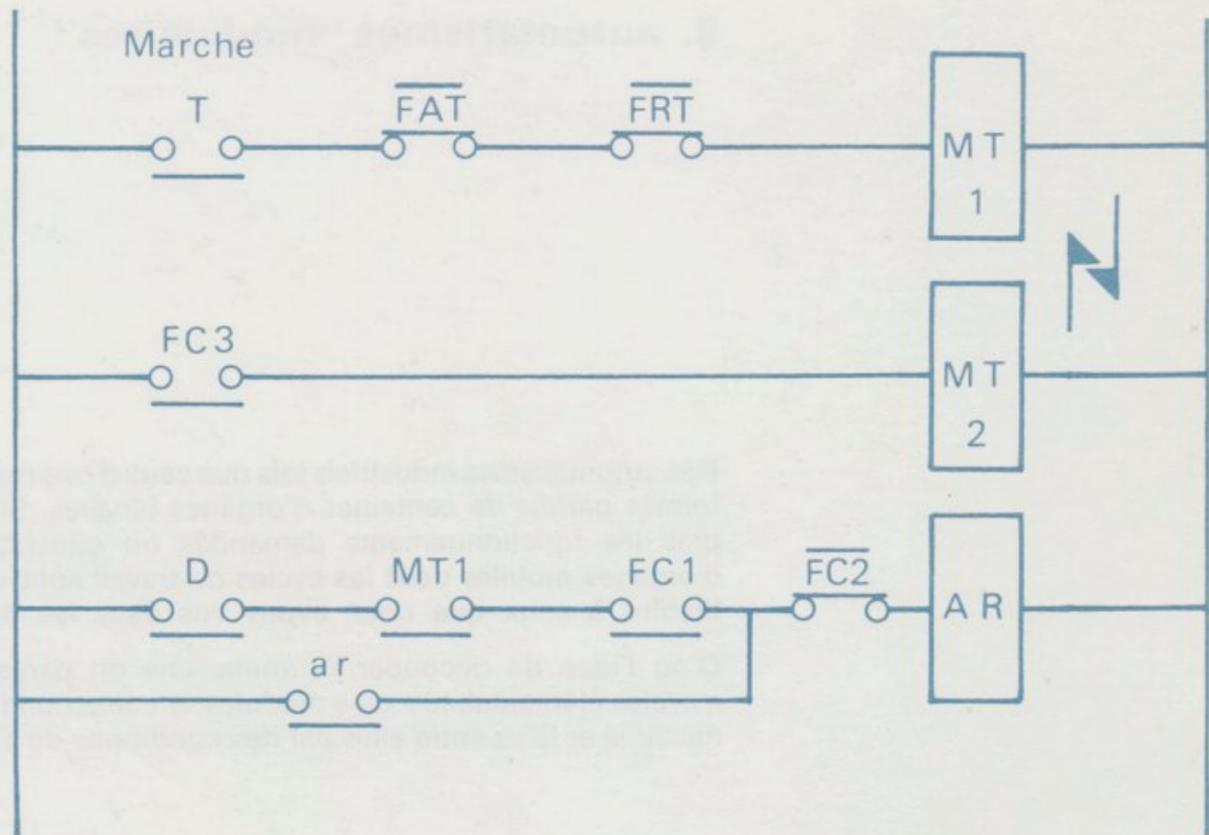
A titre de dernier exemple sur ces connexions, citons un dispositif semblable avec relais à accrochage.

Dans le cas de machines à manutention automatique des pièces, les têtes d'usinage effectuent leur travail, reculent en position arrière. Le mouvement de transfert automatique des pièces est alors commandé. On peut s'imposer que les têtes d'usinage ne repartent pas si ce mouvement de transfert n'a pas eu lieu. Différents schémas de « non-répétition » sont possibles, dont celui-ci :

MT : mouvement de transfert

FAT : fin d'avance transfert (fin de course)

FRT : fin de retour transfert (fin de course)

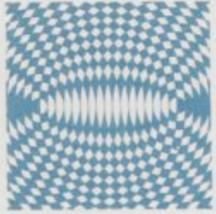


Quand l'ordre de marche T (Marche transfert) arrive, la bobine MT 1 ne sera accrochée que si le dispositif de transfert effectue un mouvement, c'est-à-dire relâche son fin de course avant (FAT) ou arrière (FRT).

Ensuite, quand l'ordre de démarrage (D) des têtes d'usinage prend l'état 1, l'avance rapide ne sera commandée (AR = 1) que si MT 1 a bien été armé — ce qui vérifie qu'il y a eu mouvement du dispositif d'avance. Le relais à accrochage sera désarmé par l'excitation de MT 2 qui aura lieu en fin de course avant de la tête d'usinage. Cette tête revenant sur FC 1 un autre ordre de mouvement transfert sera donné; s'il s'effectue bien MT 1 sera réarmé, etc.

#### 9.4 Conclusion

Ces quelques exemples n'ont d'autre but que de vous signaler ce problème des conditions d'interconnexion. Lorsque vous aurez à examiner de tels cas sachez que tous les résultats des questions vues précédemment s'appliquent à ce domaine.



### 1. logique, mathématique et technologie

1.1

Il existe bien des manières de présenter un cours d'automatique et en particulier un cours sur les automatismes logiques.

La mathématique moderne permet une présentation brillante, à peu près exhaustive, de la théorie et se révèle nécessaire pour y faire de la recherche. En contrepartie nous avons pu nous rendre compte à l'expérience de l'enseignement, de la formation professionnelle et de la pratique des automatismes industriels que cette mathématique ne se rattache pas facilement aux descriptions de fonctionnement des machines, qu'elle laisse croire à l'existence de « remèdes miracle » — les formules ! — qui dispensent ultérieurement de réfléchir sur les aspects technologiques de toute application.

1.2

La bonne solution est-elle donc de faire un cours de technologie en lieu et place du cours d'automatique ? Un tel cours révèle bien les difficultés de réalisation des organes binaires et la complexité des problèmes réels posés par leur connexion dans une unité d'automatisation. Mais la technologie disperse l'attention sur les difficultés multiples de la construction, la diversité des apparences. Enfin il n'est pas de son rôle de démontrer les bases de l'unité conceptuelle existant entre un circuit à diodes et des électrovannes si ces deux dispositifs réalisent un même connecteur NI (et plus exactement l'explication technologique pourra s'y reporter, s'organiser en conséquence, mais si elle se sert des équivalences logiques — comme NI et OU, NON — il ne lui appartient pas de les établir). Des aperçus technologiques sont nécessaires, ils ne sont pas suffisants en automatique.

Chacun de ces modes d'exposition (de nature mathématique ou technologique) présente donc des avantages en regard de tel ou tel objectif.

Alors que nous proposons-nous dans cette série d'émissions, dans les textes et exercices d'accompagnement et dans cette introduction à la conception ?

1.3

Eh bien, tout d'abord intéresser un public composé pour l'essentiel :

- de professionnels et techniciens désirant soit « se reconverter », soit acquérir des notions de base suffisantes pour comprendre les apports de l'automatique dans leur spécialité,
- d'élèves de l'enseignement secondaire cherchant des exemples d'application et des compléments sur les liaisons entre la logique et la technologie, ou la logique et la mathématique booléenne,
- d'adultes qui, par curiosité, ou goût de culture générale technique cherchent des informations d'ensemble suffisamment précises sur l'automatique industrielle et significatives des problèmes abordés.

Nous souhaitons enfin, en particulier, que la progression des difficultés exposées, la gamme des exercices retenus, etc. puissent être utiles à la formation des adultes (domaine où nous avons eu particulièrement l'occasion de tester les méthodes évoquées ci-dessus et dont l'importance ne fera que croître dans les années à venir).

Une part importante de ce public ne disposait d'aucune connaissance de la mathématique moderne. A la place d'un cours théorique traditionnel nous avons préféré une introduction aux problèmes les plus fréquents de l'automatique industrielle — introduction dont la méthode d'exposition restait à définir.

1.4

Notre choix d'une méthode pouvait tenir compte d'un certain nombre d'expériences pédagogiques dont nous avons eu l'occasion de contrôler les résultats en cours d'enseignement, 3 mois et 6 mois après la fin du programme — ce qui nous avait permis de préciser un peu plus finement la rapidité d'acquisition et le « potentiel de mémorisation » (facilité de retenir une notion plus longtemps, ou de la retrouver seul aisément) d'ensembles de connaissances d'automatismes et de vérifier leur efficacité d'application à des problèmes concrets.

Constatons ici que les résultats d'un enseignement de type mathématique (postulats dont on déduit des théorèmes que l'on applique ensuite à des exercices) furent peu encourageants. Indépendamment de l'arbitraire de cette méthode cartésienne, qui reprend l'histoire des propriétés connues « à l'envers » (et l'histoire a son importance en technique), on a pu constater que pour qu'un auditeur en bénéficie véritablement il faut qu'il ait reçu préalablement un enseignement au moins équivalent à celui de Seconde ou de Première. Nos résultats inégaux dans cette pédagogie étaient donc le symptôme d'une difficulté de fond.

A travers ces questions nous avons pu voir le manque de portée d'un tel mode d'exposition dans des propos introductifs, la difficulté de rattacher simplement la théorie à la description habituelle des fonctionnements des machines, mais nous retenons la valeur d'un langage défini sans ambiguïté ni redondance.

Quant à un cours de nature technologique, dont on sait toute l'importance pour l'exercice d'une profession déterminée, nous nous étions proposés d'en prendre des chapitres épars pour permettre des exercices d'application mais plus profondément, et par le rapprochement de chapitres généralement assez éloignés les uns des autres, nous voulions dégager les similitudes qui apparentaient divers dispositifs. Il s'agissait de faire apparaître les concepts en partant d'une observation attentive de matériels les plus divers — ainsi en a-t-il été de la sonnette de porte comparée au relais à paillettes à fermeture, et qui permettaient d'appeler ultérieurement « opérateur OUI » deux transistors en série (deux NON consécutifs équivalent à un OUI), ou un bouton-poussoir en pneumatique, etc.

1.5

Voici donc tous les éléments cités et que nous avons assemblés dans notre mode d'exposition.

Partant de cas concrets, technologiques, nous avons voulu d'une part dégager les idées générales (opérateurs, composition, etc.) et leurs limites (temps de réponse, aléas, etc.).

Comment parcourir ce chemin de l'exemple à l'idée ?

Par le moyen le plus immédiat : celui du langage, le langage ordinaire qui reste au contact des descriptions habituelles mais suffisamment précis, suffisamment « purifié » pour devenir un outil efficace.

Cette mise en forme de langage est bien ancienne et l'on sait que la recherche, l'exploration de cette cohérence de l'expression c'est précisément une part de la logique formelle.

L'intérêt était que nous quittions peu le langage et le bon sens ordinaires sur lesquels nous pouvions prendre un plein appui. Les résultats pédagogiques alors enregistrés ont montré combien ces notions semblaient « naturelles » à l'auditeur et les difficultés du retour de l'idée générale à l'exemple d'application se trouvaient fortement amoindries si ce n'est supprimées.

Signalons ici que cette épuration du langage a été faite dans le sens de l'évolution mathématiques modernes, ainsi espérons-nous que ceux qui passeront de cette présentation logique à des ouvrages mathématiques d'un niveau voisin trouveront d'eux-mêmes les correspondances d'expression.

## 2. faisons le point

### 2.1

Si vous abordez l'automatique pour la première fois, il est nécessaire que vous relisiez l'ensemble de ces textes plusieurs fois et sachez que vous les aurez assimilés quand, les ouvrant à n'importe quelle page, vous pourrez y reprendre votre lecture sans effort.

### 2.2 Quel est le point de vos connaissances ?

Tout d'abord vous avez parcouru les connaissances de base des automatismes logiques et surtout vous avez vu que, quelle que soit la spécialité concernée, ce qu'il faut distinguer d'abord c'est la *fonction logique* des éléments. Vous disposez du vocabulaire nécessaire pour exprimer vos questions, éventuellement de méthodes pour retrouver vous-mêmes ces fonctions logiques.

Il faut ici signaler deux problèmes importants du monde industriel.

#### 2.2.1 L'évolution des techniques

Les techniques évoluent et évolueront de plus en plus rapidement. Je me souviens de cet ouvrier qualifié qui conclut, un jour que nous parlions de ces questions : « Comment voulez-vous que je m'y retrouve ? Je monte des machines dans des Expositions de machines-outils et chaque année les matériels sont différents ! »

Exact et bien noté.

Mais ce qu'il fallait dire — et que vous comprendrez maintenant — c'est que ce sont les technologies qui changent et non les fonctions logiques. Prenons le cas d'un opérateur NON en électronique industrielle : de l'opérateur NON à lampe, puis transistorisé, puis réalisé en circuits hybrides, en circuits intégrés, le temps de commutation (temps nécessaire pour changer d'état logique) est passé de la milliseconde (1/1 000 de seconde) à l'ordre de la nanoseconde (1/1 000 000 de seconde) en 15 ans environ. C'est par dizaines que l'on pourrait trouver des réalisations de ces matériels par les différents constructeurs ; mais l'apparence technologique trompe, il ne s'agit que d'une seule et même fonction logique, l'opérateur NON.

Quand on a compris cela on voit bien que l'évolution technique peut être mieux suivie, mieux transmise qu'elle ne l'est.

En un mot, former, enseigner, « recycler » c'est d'abord faire comprendre ces notions fondamentales d'un domaine. Et comme c'est dans tous les nouveaux matériels qu'il faudra distinguer les fonctions logiques, c'est à partir d'exemples concrets qu'il faut apprendre à raisonner et à dépasser le cas particulier pour retrouver le général.

La construction de cet ouvrage a été orientée pour vous aider dans cette voie.

#### 2.2.2 Spécialisation et communication

La spécialisation est un fait du monde moderne dont il faut utiliser les avantages et essayer de pallier les défauts. Qui n'a jamais vu de ces installations automatiques en panne où l'hydraulicien concluait son tour d'horizon d'un « Ce n'est pas l'hydraulique qui est en panne, c'est la mécanique qui a du « dur » ! », et le mécanicien « Ce n'est pas la mécanique, c'est l'électricité qui... etc... ? Le tout, empressons-nous de le dire, avec beaucoup de bonne foi, parfois.

Et le plus regrettable était encore que lorsque ces différents spécialistes avaient à faire la synthèse de leurs observations (parce que la machine s'obstinait à rester en panne) on voyait immédiatement l'extrême difficulté qu'ils avaient à se comprendre : ils n'avaient aucun langage commun.

Ajoutons que cette difficulté de compréhension était encore plus grande quand la maîtrise responsable de l'exploitation des installations voulait connaître les termes de ces discussions dont la conclusion la concernait directement.

On a pu voir combien le langage de la logique est simple pour expliquer les automatismes logiques et leurs défaillances ; et ce langage de base, vous devez maintenant le connaître.

### 2.3 Limites de ces connaissances

Ce sont les limites de tout texte introductif.

Si vous appliquez les automatismes et que vous avez une spécialité, approfondissez vos connaissances dans cette technologie et les technologies voisines en vous imposant de raisonner rigoureusement avec les notions que nous avons vues — ce dernier point est essentiel.

Si vous concevez des automatismes il vous faut maintenant étudier d'autres méthodes de conception, en plus des technologies.

Vous avez pu voir dans le cours de notre approche du diagramme des phases toutes les questions qu'il fallait se poser; ces questions (aléas, temps de réponse, régimes transitoires, sécurités, reprises de cycle après panne, etc...) doivent être posées quelle que soit la méthode — il importe de connaître avec précision les conditions de fonctionnement que la méthode étudiée peut prendre en compte, de même qu'il faut connaître les spécifications qu'elle ne peut traiter. Si vous concevez c'est pour réaliser des installations qui fonctionnent, apprenez à juger toute méthode à la valeur du résultat.

## 3. conclusion

### 3.1

Quand un ouvrage est terminé on ne peut que constater l'étendue de ce qui demeure à traiter.

Il me reste à souhaiter que vous ayez pris goût, sinon trouvé de l'intérêt, à ces confrontations constantes des problèmes de toute réalisation automatique et des possibilités bien définies de la théorie, à ces dosages constants de calculs rigoureux et de bon sens expérimental.

### 3.2

Aujourd'hui le calculateur fait son apparition dans la conduite des machines, la surveillance de fonctionnement, la gestion dite en « temps réel » des ateliers. L'introduction de tels moyens prendra du temps mais elle se fera et apportera des solutions économiques dans tous les cas complexes.

Lorsque le calculateur remplace un automatisme il reproduit en fait dans ses « programmes » les traitements logiques qui apparaissent sur les schémas logiques. Il étend donc les possibilités de ces applications grâce à sa rapidité, il n'en supprime pas les réflexions fondamentales que nous avons dû aborder.

Mais le calculateur apporte (comme la commande numérique) une seconde et importante notion : celle d'un système numérique, le système binaire (l'Annexe II donne quelques indications sur ce système fort simple au demeurant). Pour y voir clair il est nécessaire d'avoir bien vu la signification des 0,1 (FAUX, VRAI) de la logique afin de bien les distinguer des 0,1 (zéro, un) du numérique, il est nécessaire de bien comprendre les opérations logiques afin de bien les distinguer des opérations numériques (telles que l'addition, la multiplication, etc.).

Le calculateur apparaît à cet égard comme un dispositif de synthèse qui utilise ces deux notions (logique et numérique) — et parfois les « mélange » pour assurer le plus adroitement possible tel ou tel fonctionnement.

Nous espérons en conclusion que les quelques pages qui précèdent vous auront aidé, indépendamment de leur apport pratique, à comprendre les définitions et les opérations logiques nécessaires aux automatismes — lesquels pourront désormais vous apparaître à bien des égards comme un cas particulier des « machines à traiter de l'information ».

J. DAUMAL

## corrigé du chapitre B

### Paragraphe 2.2 Tableau des phases

#### Phase 0

- L'énoncé M est FAUX, c'est-à-dire que le bouton Marche n'est pas appuyé.
- L'énoncé FC 1 est VRAI, c'est-à-dire que le mobile actionne le fin de course arrière.
- L'énoncé FC 2 est FAUX, c'est-à-dire que le fin de course avant n'est pas actionné.
- AV est FAUX, le relais de commande du moteur d'avance n'est pas excité.
- av est FAUX, une paillette à fermeture de ce relais n'est pas au contact de ses bornes.
- etc...

#### Phase 1

- $M = 1$ , le bouton est appuyé, ce qui assure l'alimentation de la bobine du relais d'avance ( $AV = 1$ ).
- On note dans cette phase  $av = 0$ , c'est-à-dire que la paillette à fermeture du relais d'avance est attirée par la bobine puisque  $AV = 1$  mais elle n'a pas encore parcouru la course au bout de laquelle elle établit le contact entre ses bornes (si cette explication vous semble un peu obscure il est nécessaire que vous reparcouriez les fiches qui se rapportent au relais électromagnétique).

#### Phase 2

- Au bout d'un certain temps, généralement court, la paillette à fermeture attirée par l'alimentation de la bobine du relais d'avance vient établir le contact entre ses bornes.

Cette phase commence à la réalisation de cet « événement », le moteur d'avance est alors commandé (le mobile se met en mouvement sous l'action du moteur)

#### Phase 3

- $FC 1 = 0$ , l'énoncé FC 1 est FAUX, c'est-à-dire que le mobile étant mis en mouvement quitte le fin de course arrière.

Cette phase décrit à proprement parler la séquence qui apparaît à l'opérateur : l'organe mobile parcourt la distance à effectuer vers l'avant.

**Nota :** On remarque qu'un certain nombre de faits se sont produits dans l'automatisme avant que n'apparaisse cette phase qui est l'exécution d'un des mouvements effectivement désirés.

Le tableau des phases apparaît bien ainsi comme la description de chaque état distinct de l'automatisme et non comme la simple succession des *mouvements* (les séquences).

#### Phase 4

- ... etc...

## corrigé du chapitre B

Paragraphe 2.3  
Tableau des phases  
(graphique)

a) On sait que dans la colonne de gauche sont reportés les différents énoncés binaires à considérer, ou plus exactement leurs codes d'énoncé (M, FC 1, FC 2, AV, av, ... etc).

b) Les phases sont ensuite comptées par colonnes successives de gauche à droite et numérotées soit de 0 à n, soit de 1 à n. Noter la phase de départ 0 ou 1 est sans importance pour la suite de l'étude; le chiffre 0 (zéro) peut présenter l'intérêt de rappeler qu'il s'agit de la phase d'origine 0 (lettre « O») qui est ainsi repérée.

Il y a passage d'une phase à la suivante quand *un* des énoncés binaires change d'état logique.

c) Dans la colonne de gauche il est souhaitable de répartir ainsi les énoncés binaires :

— en tête *les ordres de commande* qui intéressent l'automatisme étudié. Dans notre exemple c'est M; il pourrait y avoir plusieurs boutons de commande de marches différentes M 1, M 2, M 3... etc., les énoncés binaires correspondants occuperaient les premières lignes du tableau dans l'ordre qu'on jugera le plus pratique compte tenu du problème traité.

On verra plus loin des automatismes qui se commandent « en cascade », c'est-à-dire différents automatismes A 1, A 2, A 3... etc qui commandent des opérations successives. Dans ce cas le démarrage de A 2 sera commandé par une paillette de A 1 qui indiquera que A 1 a terminé sa tâche. Cette paillette, qui a un rôle de commande pour A 2 sera dans ces premières lignes du tableau des phases d'étude de A 2. Un exemple concret vous précisera ce point plus loin.

— Sous les ordres de commande on dispose ensuite les énoncés des différents *capteurs* (ici FC 1, FC 2).

— La dernière rubrique est celle des *organes commandant les actionneurs*.

En conclusion on distingue 3 rubriques d'énoncés binaires que l'on disposera dans cet ordre. A l'intérieur de chacune des rubriques il n'y a pas de règle pour ordonner la famille d'énoncés retenue.

d) Si les règles énoncées ci-dessus sont respectées on peut vérifier dans tout tableau des phases :

— que de la rubrique des ordres de commande partent des flèches vers les énoncés d'actionneurs. Aucune flèche n'y remonte.

— que de la rubrique des capteurs partent des flèches vers les énoncés d'actionneurs et que d'autres flèches remontent des actionneurs vers les capteurs. (En effet on a vu dans les exemples traités qu'un changement d'état de capteur peut arrêter un actionneur et/ou en commander un autre. De même qu'un actionneur déplaçant un organe mobile vient, par celui-ci, agir à un moment donné sur le capteur de contrôle correspondant :

— que pour une paillette d'actionneur commandée (par exemple av ici) on doit trouver :

- une flèche de commande en tête (examiner la phase 1 pour av)
- un départ de trait en cours d'exécution qui indique le capteur actionné; dans notre exemple de av, c'est en phase 3 le trait oblique indiquant que FC 2 est actionné. (On verra dans d'autres automatismes que plusieurs capteurs pouvant être actionnés au cours d'un déplacement donné on peut trouver plusieurs de ces traits obliques partant du trait de commande d'un actionneur)
- une flèche d'arrêt de la commande (examiner la phase 4 en fin de laquelle av revient à 0).

En conclusion lorsque l'on traite des tableaux des phases ayant de nombreux énoncés, de nombreuses phases, une bonne précaution pratique en fin de travail consistera à vérifier que ces règles ont été respectées. C'est un moyen rapide pour déceler une première gamme d'erreurs.

## corrigé du chapitre B

Paragraphe 6  
Schéma de câblage  
électromagnétique

1. Reprenons succinctement l'analyse logique d'un « contact fin de course ».

1.1 Cet organe, dans son principe, comprend un axe porteur d'une paillette. Cet axe peut être actionné de l'extérieur du boîtier, un ressort le ramène dans sa position d'origine quand l'action extérieure a cessé.

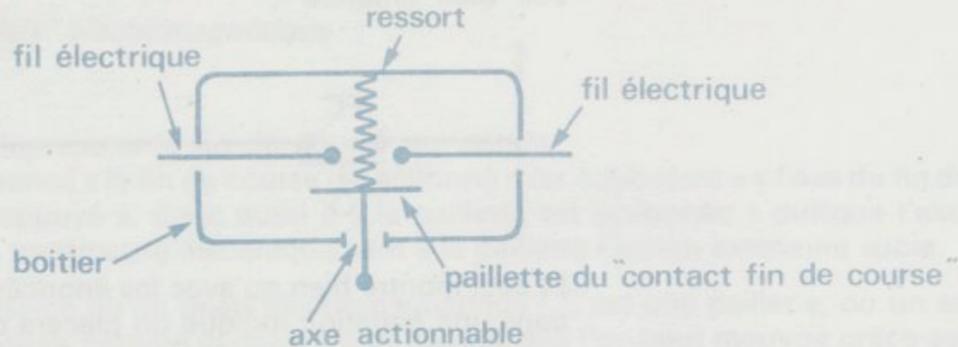
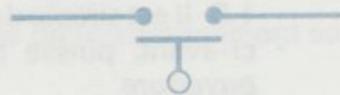


Schéma de principe d'un « fin de course » ayant un contact à fermeture

Sur le schéma de l'automatisme on trace le symbole suivant :



1.2 Description logique :

Prenons pour énoncés :

- « le fin de course est actionné » : FC
- « la paillette à fermeture établit le contact entre ses bornes » : PF.

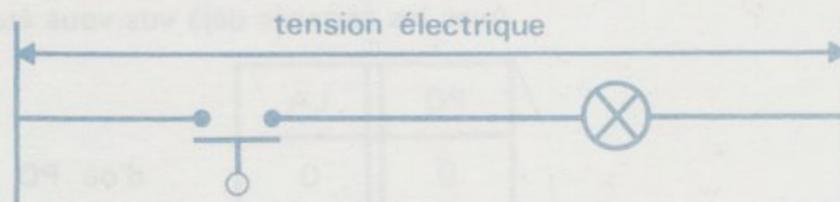
Etablissez la table de vérité :

FC	PF
0	0
1	1

d'où  $PF = FC$

1.3 Utilisation :

Employons une lampe pour avertir que le fin de course est actionné. On aura le schéma



Ajoutons l'énoncé « la lampe est allumée » : LA.

Vous retrouverez aisément que le fonctionnement de ce dispositif peut être logiquement décrit par  $PF = FC$  pour le fin de course, puis par :

PF	LA
0	0
1	1

$LA = PF$

pour ce qui concerne la commande d'allumage de la lampe.

On a donc :  $FC = PF = LA$

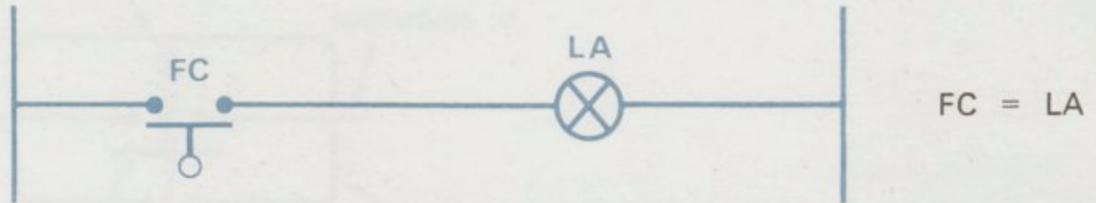
Expression d'où nous prendrons  $LA = FC$  pour l'instant.

## corrigé du chapitre B

1.4 Il y a deux façons de considérer cette brève étude

- Le schéma d'automatisme est proposé et on en tire l'équation logique  $LA = FC$ , comme nous venons de le faire.
- Nous sommes en train de concevoir l'automatisme (ce que l'on fait quand on utilise le tableau des phases par exemple) et l'on obtient l'équation logique  $LA = FC$ .

Quel est le schéma électromagnétique correspondant? Celui que l'on vient de voir bien entendu :



Et ceci montre bien qu'avec les énoncés vus précédemment, quand on trouve FC, dans une équation logique on placera dans le schéma électromagnétique correspondant une *paillette à fermeture* du fin de course considéré, comme ci-dessus.

1.5 Il est simple de concevoir que l'axe de fin de course, dont on a parlé à l'alinéa 1.1 ci-avant, puisse porter non pas une paillette à fermeture mais une *paillette à ouverture*.

Son symbole serait alors le suivant dans les schémas :



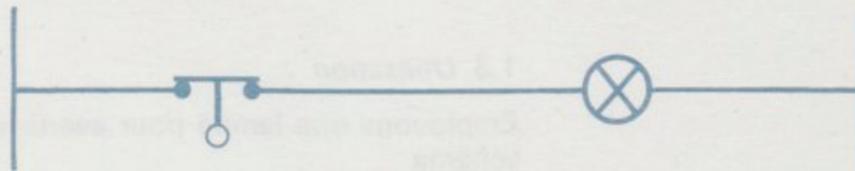
Soit PO l'énoncé « la paillette à ouverture établit le contact entre ses bornes ».

Retrouvez la table de vérité de description de fonctionnement :

FC	PO
0	1
1	0

d'où  $PO = \overline{FC}$

Proposons-nous cette fois le schéma :



Avec les énoncés déjà vus vous établirez d'abord :

PO	LA
0	0
1	1

d'où  $PO = LA$

Et en comparant  $PO = \overline{FC}$  et  $PO = LA$  on déduira :  $LA = \overline{FC}$

Comme dans la brève étude précédente on remarque donc :

- qu'à partir du schéma de l'automatisme on a trouvé l'équation  $LA = \overline{FC}$  (exercice que l'on sait faire depuis longtemps)
- que lorsque l'on trouve  $\overline{FC}$  dans une équation logique dont on veut déduire un schéma électromagnétique il y a lieu de tracer le fin de course employant une paillette à ouverture (sous réserve d'avoir utilisé les mêmes énoncés binaires, ou équivalents, que ci-dessus bien entendu).

## corrigé du chapitre B

### 1.6 Relais électromagnétique :

#### 1.6.1 Reprenons le fin de course un instant.

L'énoncé « le fin de course est actionné » est équivalent à « l'axe du fin de course est appuyé », donc aussi à « la paillette est actionnée » puisque l'axe ne fait que transmettre mécaniquement à la paillette l'action extérieure subie.

Or qu'est-ce qu'un relais électromagnétique ? C'est une paillette, ou un ensemble de paillettes, comme dans un fin de course, que l'on peut mouvoir grâce aux forces d'aimantation qu'exerce la bobine quand elle est alimentée.

L'action de l'axe du fin de course sur les paillettes est remplacée ici par l'action électromagnétique (aimantation) de la bobine sur des paillettes semblables.

On voit ainsi que les principes de fonctionnement sont fort voisins et on remarque donc que :

à l'énoncé « le fin de course est actionné » correspond pour le relais l'énoncé « la bobine est alimentée ».

#### 1.6.2 Toute l'analyse sur le fin de course est ainsi immédiatement transposable aux relais, l'énoncé décrivant la bobine prenant la place de l'énoncé décrivant l'action sur le fin de course (FC).

Refaites vous-mêmes cette analyse.

Quant à nous nous passerons immédiatement aux conclusions qui sont celles-ci :

- les *énoncés affirmation* d'une équation logique impliquent d'utiliser les *paillettes à fermeture* des fins de course ou relais correspondants du schéma de câblage.
- les *énoncés négation* de l'équation logique impliquent dans ces mêmes schémas d'utiliser les *paillettes à ouverture* des fins de course ou relais concernés.

# corrigé du chapitre 8

## 1.2.1. Définitions

1.2.1.1. Définition de la dérivée d'un vecteur  
Soit  $\vec{v}$  un vecteur d'un espace vectoriel  $E$  et  $t$  un réel. La dérivée de  $\vec{v}$  par rapport à  $t$  est le vecteur  $\vec{v}'$  défini par :

$$\vec{v}' = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\vec{v}(t+h) - \vec{v}(t)}{h}$$

1.2.1.2. Définition de la dérivée d'un produit scalaire  
Soit  $\vec{u}$  et  $\vec{v}$  deux vecteurs d'un espace vectoriel  $E$  et  $t$  un réel. La dérivée du produit scalaire  $\langle \vec{u}, \vec{v} \rangle$  par rapport à  $t$  est :

$$\frac{d}{dt} \langle \vec{u}, \vec{v} \rangle = \langle \vec{u}', \vec{v} \rangle + \langle \vec{u}, \vec{v}' \rangle$$

1.2.1.3. Définition de la dérivée d'un produit vectoriel  
Soit  $\vec{u}$  et  $\vec{v}$  deux vecteurs d'un espace vectoriel  $E$  et  $t$  un réel. La dérivée du produit vectoriel  $\vec{u} \wedge \vec{v}$  par rapport à  $t$  est :

1.2.2. Propriétés de la dérivée  
1.2.2.1. Linéarité  
La dérivée est une application linéaire :

$$(\alpha \vec{u} + \beta \vec{v})' = \alpha \vec{u}' + \beta \vec{v}'$$

1.2.2.2. Règle de dérivation des fonctions composées  
Soit  $\vec{v}$  un vecteur d'un espace vectoriel  $E$  et  $f$  une fonction réelle d'un réel dans un réel. La dérivée de  $f(\vec{v})$  par rapport à  $t$  est :

$$\frac{d}{dt} f(\vec{v}) = f'(\vec{v}) \cdot \vec{v}'$$

# corrigé du chapitre C

## 1. Corrigé alinéa 2.1

M : l'ordre de marche est envoyé  
FC1 : le fin de course arrière est actionné  
FC2 : le fin de course intermédiaire est actionné  
FC3 : le fin de course avant est actionné  
AL : la bobine du relais commandant le moteur d'avance lente est excitée  
AR : la bobine du relais commandant le moteur d'avance rapide est excitée  
RR : la bobine du relais commandant le moteur de retour rapide est excitée.

## 2. Corrigé alinéa 4.4.3

Description de fonctionnement du schéma donné à cet alinéa :

*Avance rapide* - commandée par M (à condition d'être sur FC 1)  
- auto-maintien par ar  
- désexcitation quand FC2 est actionné

*Avance lente* - commandée par la retombée de la paillette notée  $\bar{a}r$  et autorisée par FC 2 actionné  
- auto-maintien par al  
- désexcitation quand FC 3 est actionné

\* **Attention** : On retrouve jusqu'ici dans la commande de AL toutes les fonctions et paillettes équivalentes à celles citées dans la commande de AR, mais quel est le rôle de  $\bar{r}r$  dans le schéma de AL ?

*Retour rapide* - commandé par la retombée de la paillette notée  $\bar{a}l$  et autorisée par FC 3 actionné  
- auto-maintien par rr  
- désexcitation quand FC 1 est actionné.

\* **Nota** : Pendant le retour rapide l'organe mobile actionne FC 2 au passage (phase 12 sur le diagramme) le rôle de la paillette  $\bar{r}r$  dans AL est que AL ne se trouve pas ré-armée à cet endroit — ce qui couperait RR par  $\bar{a}l$  et remettrait le mobile en avance lente.

*Conclusion* :

Le schéma proposé est acceptable mais on voit qu'on a pu enlever certaines paillettes du schéma trouvé à l'alinéa 4.1 et qu'on a dû en conserver d'autres. Cette simplification s'effectue sans autre critère de choix que d'examiner directement sur le schéma chaque phase de fonctionnement et en ne retenant que les matériels nécessaires.

Soyez prudents, exigeants dans vos raisonnements, quand vous vous engagez dans cette étape du travail, l'expérience montre qu'on y commet souvent des bêtises.

# corrigé du chapitre C

## 3. Corrigé Paragraphe 6

### 3.1 Corrigé alinéa 6.2.1

N° des phases	0	1	2	3	4	5	6	7										
A		—	—				—	—										
B			—	—	—			—										
C					—	—	—	—										
$\bar{A}$	—			—	—	—												
$B \wedge \bar{A}$				—	—													
$B \wedge \bar{C}$			—	—														
$A \wedge B \wedge C$								—										
$\bar{B} \wedge A$		—						—										

$\bar{A}$  est VRAI quand A est FAUX.

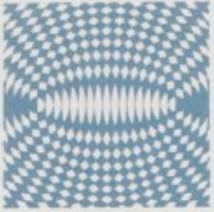
$B \wedge \bar{A}$  est VRAI dans les phases où l'on trouve un trait pour B ET un trait pour  $\bar{A}$  (phases 3 et 4).

$B \wedge \bar{C}$  : appliquer la 2<sup>e</sup> partie de la règle du 6.4.1, c'est-à-dire que  $B \wedge \bar{C}$  est VRAI dans les phases où l'on trouve un trait pour B et pas de trait pour C (phases où B est VRAI ET C est FAUX, donc où  $\bar{C}$  est VRAI),

etc...

### 3.2 Correction alinéa 6.2.3

N° des phases	0	1	2	3	4	5	6											
A		—	—			—	—											
B	—	—	—	—			—											
C			—	—	—	—												
$\bar{A} \wedge C$				—	—													
$A \wedge B$		—	—															
$B \wedge C$			—	—														
$(A \wedge C) \vee (A \wedge B) \vee (B \wedge C)$		—	—	—	—	—	—											



# organes binaires à reporter dans le tableau des phases

annexe **1**

## 1. exposé du problème

On a vu au chapitre B que le tableau des phases comportait les ordres de commande (M), les informations des capteurs (FC 1, FC 2) et les organes de commande des actionneurs (AV, AR).

Deux questions sont parfois posées sur cette rubrique de commande des actionneurs :

- quel est le dernier organe à prendre en compte quand on a une chaîne de dispositifs en sortie pour commander les actionneurs ?
- pourquoi prend-on en compte le temps de réponse d'un relais tel que AV ou AR alors que le moteur commandé (et particulièrement si c'est un gros moteur) a des temps de réponse beaucoup plus importants qui n'apparaissent pas sur le tableau ?

Nous allons examiner ces points en approfondissant un peu l'automatisme étudié au chapitre B.

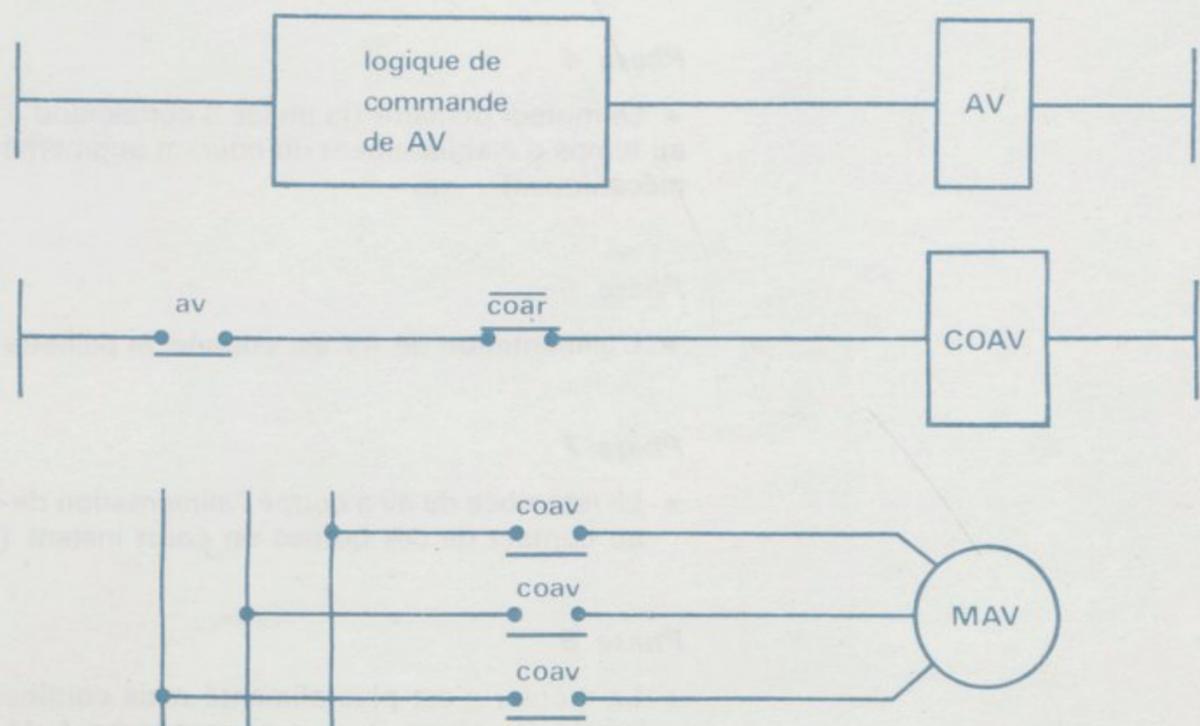
## 2. exemple d'automatisme

2.1

Reprenons donc l'automatisme évoqué au paragraphe 6 du chapitre B, qui comprend :

- les relais AV, AR dans l'unité d'automatisation
- le contacteur COAV commandé par AV (entendons par « contacteur » un gros relais susceptible d'amener ou de couper le courant sur un moteur électrique)
- le contacteur COAR commandé par AR
- le moteur d'avance MAV
- le moteur de retour MAR.

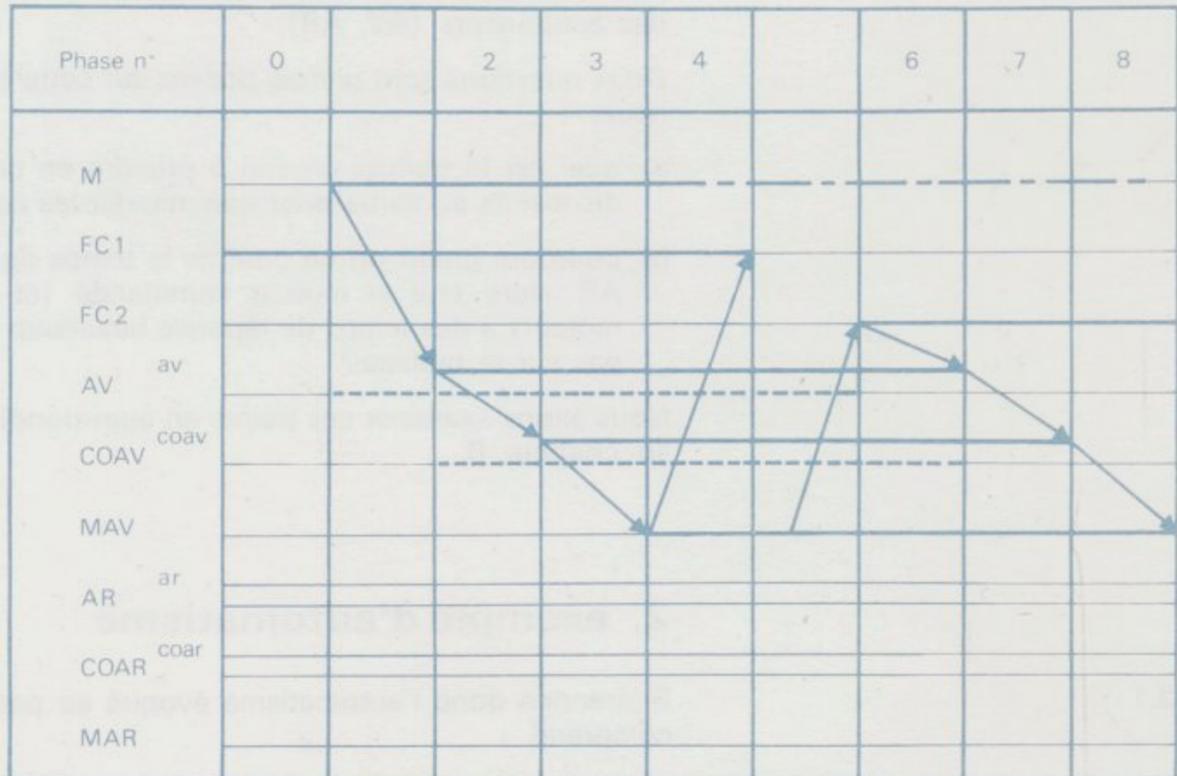
Schéma de puissance envisagé



MAV : énoncé « Le moteur est en mouvement ».

2.2

Le diagramme des phases commence ainsi :



*Phase 2*

- La paillette à fermeture de AV alimente la bobine du contacteur COAV.

*Phase 3*

- Après un certain temps (qui définit la durée de la phase 2) la paillette coav de COAV monte. La tension est alors appliquée au moteur.

*Phase 4*

- Le moteur démarre (la phase 3 correspond à son temps de réponse, c'est-à-dire au temps d'établissement du courant augmenté du temps mis à vaincre les inerties mécaniques)... etc.

*Phase 6*

- L'alimentation de AV est coupée, la paillette av retombe un court temps après.

*Phase 7*

- La retombée de av a coupé l'alimentation de COAV, la paillette coav reste encore au contact de ses bornes un court instant (donc MAV est toujours alimenté).

*Phase 8*

- Le moteur n'est plus alimenté mais continue un moment son mouvement par inertie (la phase 8 peut correspondre à un temps de freinage du moteur par exemple).

### 2.3 Commentaire

Le tableau des phases peut tenir compte de tous les temps de réponse.

Par convention toutes les phases ont une largeur égale sur le tableau, donc ces différents temps de réponse apparaissent effectivement avec une valeur égale sur le tableau des phases.

Nous reviendrons sur ces deux points en conclusion.

### 2.4 Equation logique

2.4.1 D'après l'étage de puissance prévu on aura :  $MAV = coav$

Et pour l'alimentation de COAV

$COAV = av$  (alimentation à laquelle on ajoute en série  $\overline{coar}$  à titre d'inter-verrouillage de *sécurité* avec la commande de MAR, soit  $COAV = av \wedge \overline{coar}$ ).

2.4.2 On est ainsi ramené à chercher l'équation logique de AV.

Cette équation s'établira à partir :

- des ordres de commande (M)
- des informations des capteurs (FC 1, FC 2)
- d'une paillette de AV (bouclage de la mémoire) et éventuellement d'une paillette de AR.

Cette remarque étant faite, on constate que AV est alimenté de la phase 1 à la phase 5, d'où l'équation canonique :

$$AV = (M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge \overline{av} \wedge \overline{ar}) \vee (M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}) \\ \vee (M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}) \vee (M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}) \\ \vee (M \wedge \overline{FC 1} \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}).$$

On voit que les phases 2, 3, 4 sont identiques en ce qui concerne les énoncés binaires à prendre en compte pour l'équation logique qui nous intéresse.

$$AV = (M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge \overline{av} \wedge \overline{ar}) \vee (M \wedge FC 1 \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}) \\ \vee (M \wedge \overline{FC 1} \wedge \overline{FC 2} \wedge av \wedge \overline{ar}).$$

On est ramené à l'équation proposée au chapitre B (fin de l'alinéa 3.3.1) où nous n'avons pas tenu compte de COAV et MAV — ce qui justifie les principes d'étude appliqués alors.

2.4.3. En ajoutant les remarques faites sur la position de M (alinéa 3.3.2) on obtiendrait la même équation que celle établie en fin de paragraphe 4.

## 2.5 Résultats

### 2.5.1 Ce résultat est-il surprenant ?

En fait non. L'équation logique de AV fournit les ordres d'inscription de la mémoire : ceux-ci demeurent inchangés que l'on considère ou non les organes qui seront commandés par cette mémoire.

2.5.2 Puis la mémoire est auto-maintenue pendant des phases où les dispositifs de sortie se trouvent commandés en chaîne (on dit aussi « en cascade »). Le fait d'avoir introduit ces dispositifs dans le tableau des phases multiplie d'autant ces phases où les conditions d'auto-maintien demeurent identiques — ce n'est en effet qu'au démarrage effectif de l'actionneur qu'un énoncé de capteur sera modifié (FC 1 dans notre exemple).

Dans le cadre précis de nos exemples vous pouvez voir que ce qui était la phase 2 dans le tableau des phases du chapitre B (voir alinéa 2.3.4) a été ici développé en 3 phases (phases 2, 3 et 4) identiques quant à l'état de M, FC 1, FC 2, av, ar. Cette modification ne change donc rien à l'équation de AV qui n'utilise que ces énoncés.

2.5.3 Enfin l'équation logique de AV fournit l'ordre de désarmement de cette mémoire et une remarque importante est à faire en ce qui concerne les conséquences de cette commande.

On voit bien sur le diagramme des phases commencé à l'alinéa 2.2 de cette Annexe comment, après avoir coupé l'alimentation de AV, COAV est alimenté encore un certain temps puis le moteur tourne encore par inertie pendant la phase 8.

En fait, et nous ne l'avons pas tracé, dès la phase 7 la retombée de av alimente AR. La paillette ar montera un court temps après et l'on remarque que la mise en route du mouvement de retour se fait parallèlement et sans lien avec le processus d'arrêt de l'avance (il suffit de refaire sur ce tableau des phases une étude identique pour le démarrage de MAR).

En d'autres termes on a bien mis en ordre les événements de l'unité d'automatisation (alinéa 2.3.3 chap. B) mais pas ceux de la chaîne des dispositifs de sortie (COAV, MAV d'une part et COAR, MAR d'autre part). Il faut examiner de très près la technologie des actionneurs et la cinématique de commande pour vérifier si on n'a pas à craindre un incident.

Ce point a déjà été abordé au chapitre B (alinéa 9.2) et le diagramme de cette Annexe permet de préciser que le temps de temporisation nécessaire pour la commande de AR doit être supérieur aux temps des phases 7 et 8.

On notera cependant en conclusion que si l'utilisation d'une temporisation résout le problème des temps de réponse, elle est cependant une solution peu élégante, sinon dangereuse. En effet les événements d'arrêt de MAV et de démarrage de MAR ne sont pas ordonnés de manière rigoureuse, la temporisation déclenchera le démarrage de MAR, après que av retombe, au bout d'un temps mal précisé (probablement calculé trop long par sécurité, et s'il est réglé trop court on risquera un incident — de même que si la temporisation se dérègle au bout de quelques mois).

### 3. conclusion

Notre conclusion sera de tenter de répondre clairement aux deux questions de l' « exposé du problème ».

3.1

Quel est le dernier organe de commande des actionneurs à prendre en compte dans le tableau des phases ?

En ce qui concerne les équations logiques à établir on voit que dans notre exemple c'est AV et AR.

D'une manière plus générale c'est le dernier organe dont on utilisera des informations dans l'unité d'automatisation (ici c'est AV et AR dont on utilise des paillettes dans la commande de AV et AR).

Quand il y a doute on retiendra qu'il n'y a aucun risque à ajouter un des organes de la chaîne de commande (le nombre de phases se trouve augmenté) ; ici en cas de doute on aurait ajouté COAV et COAR qui n'auraient rien modifié à l'équation logique obtenue.

Retenons qu'il n'y a pas de problème au démarrage du premier actionneur mais que le tableau des phases ainsi construit nécessite un examen supplémentaire après déduction des équations logiques pour vérifier si, dans les enchaînements de mouvements, les temps de réponse des différents actionneurs ne sont pas susceptibles de créer des incidents de matériels.

3.2

La réponse à la question des temps de réponse se déduit de tout ce qui précède.

Le tableau des phases peut prendre en compte les temps de réponse de tous les organes qu'on y reporte (et l'on reporte normalement les organes qui intéressent les équations logiques). Le choix se fait donc en vue des équations logiques à établir et non pas en fonction de l'importance du temps de réponse lui-même.

On notera enfin que chaque phase ayant pour but de permettre de déduire une composition logique, il était inutile de donner des largeurs différentes à ces phases — d'où cette convention que l'on a énoncé dès le début et qui se conçoit ensuite aisément.

Il est évident que la solution est de trouver un moyen de résoudre les problèmes  
de la vie quotidienne.

Il est évident que la solution est de trouver un moyen de résoudre les problèmes  
de la vie quotidienne.

Il est évident que la solution est de trouver un moyen de résoudre les problèmes  
de la vie quotidienne.

Il est évident que la solution est de trouver un moyen de résoudre les problèmes  
de la vie quotidienne.

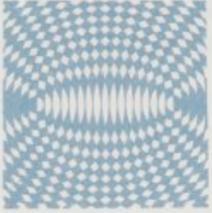
Il est évident que la solution est de trouver un moyen de résoudre les problèmes  
de la vie quotidienne.

Il est évident que la solution est de trouver un moyen de résoudre les problèmes  
de la vie quotidienne.

Il est évident que la solution est de trouver un moyen de résoudre les problèmes  
de la vie quotidienne.

Il est évident que la solution est de trouver un moyen de résoudre les problèmes  
de la vie quotidienne.

Il est évident que la solution est de trouver un moyen de résoudre les problèmes  
de la vie quotidienne.



### 1. generalites

1.1

Comme nous l'avons indique dans le cours de l'etude du diagramme des phases, il y a correspondance entre les representations logique et graphique du fonctionnement de l'automatisme.

a) Tableau de verite des phases (ou diagramme logique des phases) :

A	M	X	x	Phase
0	0	0	0	0
0	1	1	0	1
0	1	1	1	2
0	0	1	1	3
1	0	0	1	4
1	0	0	0	5
0	0	0	0	

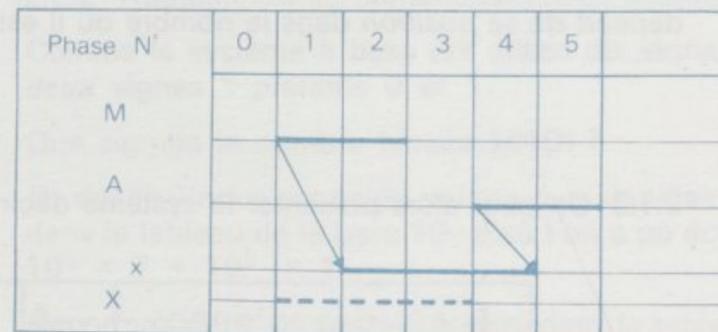
M = « le bouton Marche est appuye »

A = « le bouton Arrêt est appuye »

X = « la bobine du relais est alimentee » (information d'entree de la memoire)

x = « la paillette a fermeture du relais est au contact de ses bornes » (information de sortie de la memoire).

b) Tableau graphique des phases (ou diagramme graphique des phases).



Exercice :

Retrouver dans chaque phase du diagramme graphique l'écriture du diagramme logique.

1.2

D'une maniere generale dans tout diagramme on classera les enonces logiques en :

- « enonces d'entree » de l'automatisme (informations du pupitre de commande, des capteurs, auto-maintiens, etc.)
- et « enonces de sortie » (commande des actionneurs, des visualisations, etc.).

Ainsi dans cet exemple de memoire a-t-on :

- enonces d'entree : M, A, x
- enonces de sortie : X.

1.3

On a vu que dans toute table de verite les signes 0 et 1 signifient FAUX et VRAI. Mais ces signes peuvent etre ainsi consideres comme des chiffres dans le cas particulier qui va nous preoccuper et ceci amene a utiliser les proprietes du systeme numerique binaire que nous allons rapidement revoir.

## 2. le système numérique binaire

### 2.1 Rappel sur le système décimal

2.1.1 Le système décimal est un système numérique à base 10. Il comporte dix signes : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Tout nombre est rapporté à la base de la manière suivante :

le nombre 71 signifie :  $10 \times 7 + 1$   
le nombre 971 signifie :  $100 \times 9 + 10 \times 7 + 1$   
le nombre 1971 signifie :  $1000 \times 1 + 100 \times 9 + 10 \times 7 + 1$

2.1.2 Rappelons-nous ce qu'est la « puissance » d'un nombre ; par définition nombre quelconque (10 par exemple) multiplié 3 fois par lui-même, soit  $10 \times 10 \times 10$ , pourra s'écrire  $10^3$  (qui se lit « dix puissance trois ») : d'où  $10 \times 10 \times 10 = 10^3$ . De même aura-t-on  $4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 = 4^6$  (« quatre puissance six ») puisque 4 est multiplié 6 fois par lui-même ; et l'on voit ainsi que la notation en puissance d'un nombre se présente d'abord comme une écriture plus maniable (car il est plus aisé d'écrire  $10^7$  que  $10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$ ).

Par convention enfin on pose que tout nombre à la puissance zéro est égal à 1, soit en particulier  $10^0 = 1$  (on aurait de même  $2^0 = 1$ , etc.).

On peut dès lors préciser que 1971 signifie en fait :  
 $10^3 \times 1 + 10^2 \times 9 + 10^1 \times 7 + 10^0 \times 1 = 1971$

(écriture où l'on voit apparaître  $10^1 = 10$ , car « dix puissance 1 » signifie à la lettre « dix multiplié une fois par lui-même », soit 10).

**Nota :** On peut remarquer que le signe 1 n'a de signification que si l'on connaît exactement sa position puisque dans 1971 :

- le « un » à droite (c'est-à-dire le « un » entre parenthèses dans 197(1)) signifie  $10^0 \times 1 = 1$
- le « un » à gauche (c'est-à-dire le « un » entre parenthèses dans (1)971) signifie  $10^3 \times 1 = 1000$ .

Cette remarque est générale, la valeur de chaque signe 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dépend de sa position dans le nombre où il est utilisé.

2.1.3 On peut alors présenter le système décimal avec le tableau suivant :

Poids des colonnes	$10^4$	$10^3$	$10^2$	$10^1$	$10^0$
		1	9	7	1
	1	0	3	5	8

Ce tableau est formé de colonnes, auxquelles on affecte un « poids » ; ce poids est constitué par des puissances croissantes de dix de droite à gauche — la colonne de droite étant celle des unités, soit  $10^0 = 1$ .

Tout nombre décimal entier s'inscrit dans ce tableau en le « calant » vers la droite. On a ainsi écrit, à titre d'exemple, 1971 et 10.358 et le tableau permet de voir immédiatement le poids de chacun des chiffres de ces deux nombres.

On remarque aussi dans l'exemple de 10.358 que la colonne  $10^3$  n'est pas utilisée pour en constituer la valeur, on met donc un zéro. Ce zéro pourrait être remplacé par un tiret (on écrirait 1-.358), il sert en fait à fixer la position du 1 qui est alors attaché à une colonne de poids  $10^4$ .

Toutes ces remarques vous semblent certainement évidentes, elles valent par l'application que nous allons en faire au système binaire.

2.2 Application au système binaire

2.2.1 Ce système a pour base deux. Ses colonnes sont donc constituées ainsi :

$2 \times 2 \times 2 \times 2$	$2 \times 2 \times 2$	$2 \times 2$	2	1

En effet dans le système décimal on a pu voir que le « poids » d'une colonne s'établissait en progressant de droite à gauche, et en multipliant le poids de la colonne précédente par la base qui était 10.

Ici, de même, on part de la colonne de droite qui est toujours celle des unités, et on multiplie par la base qui est deux pour obtenir le poids de la deuxième colonne, etc.

Ce tableau se présentera ainsi avec l'écriture des puissances :

$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$

En remarquant que :  $2^0 = 1$   
 $2^1 = 2$   
 $2^2 = 4$   
 $2^3 = 8$   
 $2^4 = 16$  etc.

On voit que le poids des colonnes est le suivant :

Poids des colonnes	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
	16	8	4	2	1

2.2.2 Traduction d'un nombre binaire en décimal

Comme le système à base dix utilise dix signes, le système à base deux utilise deux signes : prenons 0 et 1.

Que signifie le nombre binaire 10101 ?

En décimal nous avons pu voir ce que signifiait exactement 1971 en le reportant dans le tableau de la base 10 ; d'où l'on a pu écrire  $1971 = 10^3 \times 1 + 10^2 \times 9 + 10^1 \times 7 + 10^0 \times 1$

Reportons donc ce nombre binaire dans le tableau de la base deux :

Poids	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
	16	8	4	2	1
	1	0	1	0	1

$$\begin{aligned} \text{d'où } 10101 &= 2^4 \times 1 + 2^3 \times 0 + 2^2 \times 1 + 2^1 \times 0 + 2^0 \times 1 \\ &= 16 + 0 + 4 + 0 + 1 \\ &= 21 \end{aligned}$$

Pour indiquer les bases où sont écrits les nombres que l'on examine on notera  $10101 (2) = 21 (10)$

c'est-à-dire : « le nombre 10101 écrit en base 2 est égal au nombre 21 écrit en base 10 ».

A l'aide d'un tableau de ce type vous savez donc désormais traduire en décimal n'importe quel nombre binaire.

### 2.2.3 Traduction d'un nombre décimal en binaire

Supposons que nous avons devant nous des pièces. Si nous voulons les compter en décimal nous ferons d'abord des tas de 10 pièces (base 10), puis des rangées de 10 tas, etc. ; si nous obtenons le nombre 971 c'est que nous avons pu rassembler 9 rangées de 100, 7 tas de 10, et qu'il reste 1 pièce.

En d'autres termes dénombrer les pièces c'est chercher la plus grande puissance de 10 qui y est contenue (ici  $10^2$ ), puis compter le nombre de fois où cette valeur est utilisée (ici 9 fois puisqu'on trouve  $9 \times 10^2$  pièces dans ce premier compte), et ainsi de suite pour le reste des pièces.

Pour compter les pièces en base 2 nous appliquerons le même principe. Supposons que l'on ait quinze pièces à compter en base deux ; on reprend le tableau cité à l'alinéa 2.2.2 ci-avant.

Quelle est la plus grande puissance de 2 contenue dans 15 ?

C'est  $2^3$  car  $2^3 = 8$ . D'où  $15 = 2^3 \times 1 + \text{reste} = 2^3 \times 1 + 7$

De même  $7 = 4 + \text{reste} = 2^2 \times 1 + 3$

Donc  $15 = 2^3 \times 1 + 2^2 \times 1 + 3$   
 $= 2^3 \times 1 + 2^2 \times 1 + 2^1 \times 1 + 2^0 \times 1$

Soit  $15_{(10)} = 1\ 1\ 1\ 1_{(2)}$

Autre exemple : traduisez  $27_{(10)}$  en binaire :

$27 = 16 + 8 + 2 + 1$  (on ne fait apparaître que les puissances de deux)

Soit  $27 = 2^4 \times 1 + 2^3 \times 1 + 2^2 \times 0 + 2^1 \times 1 + 2^0 \times 1$

$27_{(10)} = 1\ 1\ 0\ 1\ 1_{(2)}$

### 2.2.4 Conclusion

A un nombre décimal correspond un nombre binaire et réciproquement.

## 3. application du diagramme des phases

### 3.1 Exercice

Nous allons reprendre le tableau du 2.2.2, y placer des nombres binaires et indiquer à gauche la valeur décimale de ces nombres.

Nombre décimal équivalent	Nombre binaire		
	$2^2$	$2^1$	$2^0$
	4	2	1
0	0	0	0
1	0	0	1
5	1	0	1
4	1	0	0
6	1	1	0
2	0	1	0

3.2 Application  
au diagramme des phases

Reprenez le diagramme des phases logique présenté dans les « Généralités » à l'alinéa 1.1 a)

Plaçons les colonnes ainsi :

x	A	M

Portons les différentes phases de la mémoire :

x	A	M	Phase
0	0	0	0
0	0	1	1
1	0	1	2
1	0	0	3
1	1	0	4
0	1	0	5

Ce tableau de vérité se présente comme la liste des nombres binaires dont on a cherché les équivalents décimaux dans l'exercice précédent. En conséquence :

- si l'on donne aux colonnes M, A, x respectivement les poids 1, 2, 4.
- si l'on attribue aux 0, 1 signifiant FAUX, VRAI un sens numérique

Chaque ligne représente un nombre binaire dont l'équivalent décimal peut être inscrit à gauche.

Cet équivalent décimal sera le *poids de la phase* - il a été calculé dans l'exercice du 3.1, on obtient :

	Poids des énoncés →			N° des phases
	4	2	1	
	x	A	M	
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
5	1	0	1	2
4	1	0	0	3
6	1	1	0	4
2	0	1	0	5

↑  
Poids des phases

Comme on sait que le diagramme des phases vu au 1.1.b - est équivalent à ce tableau toutes les conclusions applicables à l'un sont applicables à l'autre. En particulier :

a) on voit que lorsque l'on affecte les valeurs 1, 2, 4, 8, etc. aux énoncés d'entrée on leur affecte en fait les valeurs  $2^0$ ,  $2^1$ ,  $2^2$ ,  $2^3$ , etc., c'est-à-dire qu'on les rattache au système binaire.

b) dans les calculs dits de « pondération des phases » les valeurs 0, 1 (FAUX, VRAI) sont en fait considérées comme des chiffres et fournissent les *deux* signes numériques dont a besoin toute numération en binaire.

**Nota :** ce que nous avons appelé « configuration logique des entrées » dans le début de notre introduction aux automatismes logiques (et qui était l'ensemble des valeurs logiques des énoncés dans une phase) devient ici un nombre binaire. Par exemple la phase n° 2 que l'on représentait par la configuration logique V, F, V (M = VRAI, A = FAUX, x = VRAI) sera ici représentée par le nombre binaire 101 (M = 1, A = 0, x = 1).

c) on conçoit bien maintenant qu'il fallait calculer comme suit pour trouver le « poids d'une phase » :

- multiplier par 1 le poids de l'énoncé examiné s'il est VRAI dans la phase correspondante
- multiplier par 0 ce poids si l'énoncé est FAUX
- faire le total des pondérations ainsi obtenues pour tous les énoncés dans la phase dont on calcule le « poids ».

En effet tout ceci n'est que le mode opératoire utilisé à l'alinéa 2.2.2 de cette annexe pour traduire un nombre binaire en décimal.

d) à *un* état des entrées (on dirait en logique « à *une* configuration logique des entrées ») correspond *un* nombre binaire, et à ce nombre binaire correspond *un* nombre décimal, le « poids » de la phase.

En résumé :

- deux phases de poids différents ont donc des configurations logiques d'entrée différentes
- deux phases de même poids ont des configurations logiques d'entrée identiques.

#### 4. conclusion

La méthode retenue permet de repérer les phases ayant des configurations d'entrée identiques. On a vu dans le cours de l'exposé sur le diagramme des phases tout le parti qu'on pouvait ensuite tirer de cette information et en particulier la nécessité d'une analyse des risques d'*incompatibilité* des données dans ces phases (incompatibilités qui menaient à tracer des schémas logiques n'ayant aucune chance de bien fonctionner).

La pondération des phases permet donc un diagnostic. Les « organes discriminateurs » sont le remède le plus général à appliquer quand une incohérence des données est détectée.

<b>émission 7</b>	<b>théorème de de Morgan</b>	
	fiches d'évaluation	135
	réponses	140
<b>émission 8</b>	<b>porte automatique</b>	
	fiches d'évaluation	147
	fiches d'apprentissage	153
	réponses	156
<b>émission 9</b>	<b>automatismes et électronique</b>	
	fiches d'évaluation	167
	fiches d'apprentissage	173
	réponses	175
	<b>introduction à la conception</b>	183
<b>chapitre A</b>	objectifs et méthode	185
<b>chapitre B</b>	comment poser un problème avec le diagramme des phases ?	189
<b>chapitre C</b>	exemples de méthodes d'analyse	207
<b>chapitre D</b>	conclusion générale	259
	corrigé du chapitre B	263
	corrigé du chapitre C	269
	annexe 1	271
	annexe 2	277

Le directeur de la publication : J. Raynaud - Dépôt légal 1<sup>er</sup> trimestre 1972 - Priméca, 88 Av. de Villiers, Paris 17<sup>e</sup>.