



“

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

“

Syllabus de la séance J3

Automatisation Industrielle – Niveau 1

3.Programmation d'un Automate Programmable Industriel (J3)

3.1.Passage du GRAFCET aux équations logiques

3.2.les bases d'un code LD (LADDER Diagram)

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

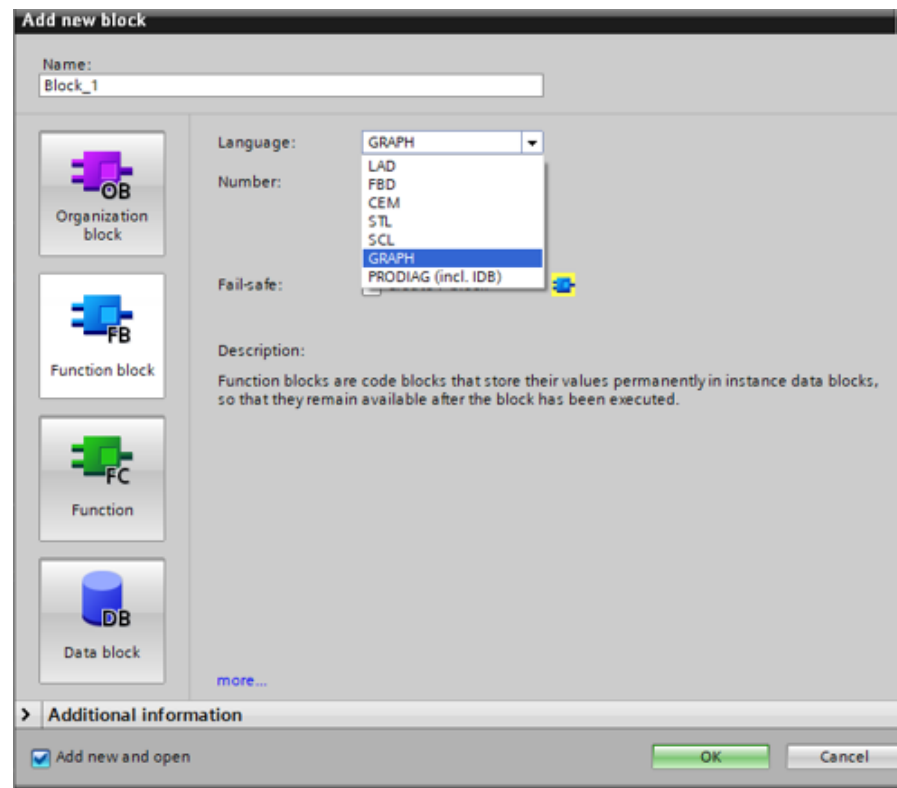
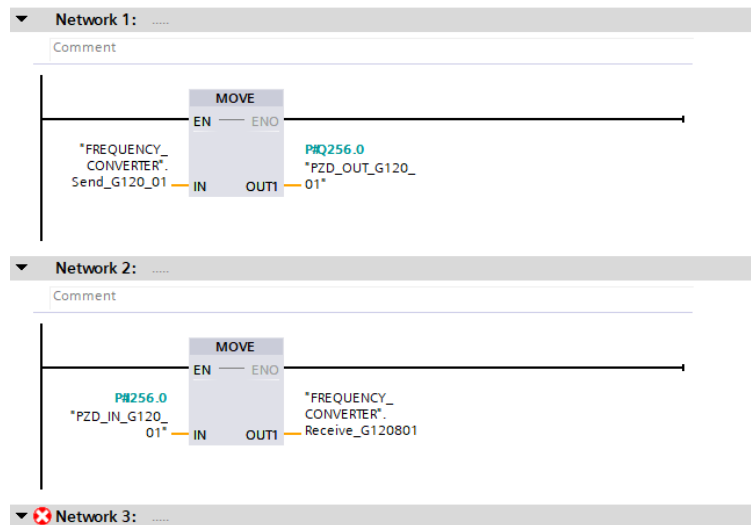
Introduction

Malheureusement, ce ne sont pas tous les automates qui se programment en GRAFCET directement. Mais, généralement ils peuvent être programmés en « diagramme échelle » (ou LADDER). Il faut donc pouvoir transformer le GRAFCET qui est la meilleure approche qui existe pour traiter les systèmes séquentiels en « diagramme échelle » qui est le langage le plus utilisé par les automates.

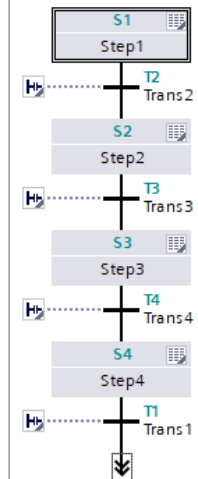
3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Introduction



Comment



3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Introduction

Soit le grafcet simple suivant :

A chaque étape i est associée une variable X_i :

$X_i=1$ si l'étape i est **active**

$X_i=0$ si l'étape i est **inactive**

La réceptivité R_i a pour valeur :

$R_i=0$ si la réceptivité est **fausse**

$R_i=1$ si la réceptivité est **vraie**

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Problématique

Soit le grafcet simple suivant :

A chaque étape i est associée une variable X_i :

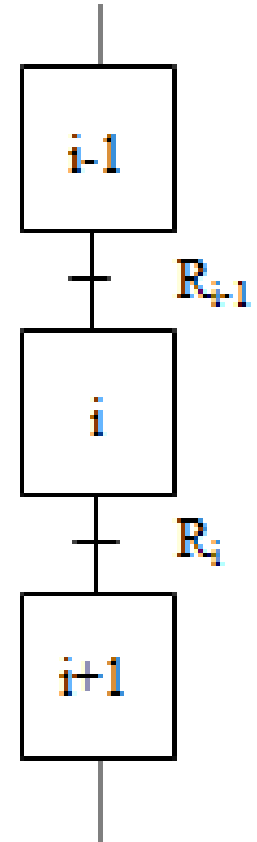
$X_i=1$ si l'étape i est **active**

$X_i=0$ si l'étape i est **inactive**

La réceptivité R_i a pour valeur :

$R_i=0$ si la réceptivité est **fausse**

$R_i=1$ si la réceptivité est **vraie**



Le **but** est de déterminer les variables qui interviennent dans l'activité de l'étape i : $X_i=f(?)$

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

- D'après *la règle 2* du grafcet, la **C**ondition d'**A**ctivation de l'étape i donne :
 - $\text{CAX}_i = X_{i-1} R_{i-1}$
- D'après *la règle 3* du grafcet, la **C**ondition de **D**ésactivation de l'étape i donne :
 - $\text{CDXi} = X_i R_i = X_{i+1}$
- Si la **CA** et la **CD** de l'étape i sont fausses, l'étape i reste dans son état (effet mémoire). L'état de **Xi** à l'instant $t + \delta t$ dépend de l'état précédent de **Xi** à l'instant t .

On peut alors écrire la **table de vérité de l'étape i** : X_i

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

$X_i(t)$	CAX_i	CDX_i	$X_i(t+\delta t)$	Remarque
0	0	0	0	L'étape reste inactive (effet mémoire)
0	0	1	0	L'étape reste inactive
0	1	0	1	Activation de l'étape
0	1	1	1	Activation ET désactivation = Activation
1	0	0	1	L'étape reste active (effet mémoire)
1	0	1	0	Désactivation de l'étape
<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>L'étape reste active</u>
1	1	1	1	Activation ET désactivation = Activation

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

$X_i(t)$	CAX_i	CDX_i	$X_i(t+\delta t)$	Remarque
0	0	0	0	L'étape reste inactive (effet mémoire)
0	0	1	0	L'étape reste inactive
0	1	0	1	Activation de l'étape
0	1	1	1	Activation ET désactivation = Activation
1	0	0	1	L'étape reste active (effet mémoire)
1	0	1	0	Désactivation de l'étape
<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>L'étape reste active</u>
1	1	1	1	Activation ET désactivation = Activation

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

$X_i(t)$	CAX_i	CDX_i	$X_i(t+\delta t)$	Remarque
0	0	0	0	L'étape reste inactive (effet mémoire)
0	0	1	0	L'étape reste inactive
0	1	0	1	Activation de l'étape
0	1	1	1	Activation ET désactivation = Activation
1	0	0	1	L'étape reste active (effet mémoire)
1	0	1	0	Désactivation de l'étape
<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>L'étape reste active</u>
1	1	1	1	Activation ET désactivation = Activation

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

• D'après **la règle 2** du grafcet, la **C**ondition d'**A**ctivation de l'étape i donne :

$$\bullet \text{CAX}_i = X_{i-1} R_{i-1}$$

• D'après **la règle 3** du grafcet, la **C**ondition de **D**ésactivation de l'étape i donne :

$$\bullet \text{CDX}_i = X_i R_i = X_{i+1}$$

• Si la **CA** et la **CD** de l'étape i sont fausses, l'étape i reste dans son état (effet mémoire). L'état de **X_i** à l'instant **$t + \delta t$** dépend de l'état précédent de **X_i** à l'instant **t** .

On peut alors écrire la **table de vérité de l'étape i** : X_i

$X_i(t)$	CAX $_i$	CDX $_i$	$X_i(t+\delta t)$	Remarque
0	0	0	0	L'étape reste inactive (effet mémoire)
0	0	1	0	L'étape reste inactive
0	1	0	1	Activation de l'étape
0	1	1	1	Activation ET désactivation = Activation
1	0	0	1	L'étape reste active (effet mémoire)
1	0	1	0	Désactivation de l'étape
1	1	0	1	L'étape reste active
1	1	1	1	Activation ET désactivation = Activation

Tableau de Karnaugh associé :



3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Tableau de Karnaugh associé :



CAXi . CDXi					
Xi		00	01	11	10
		0	0	1	1
0	0	0	0	1	1
1	1	1	0	1	1

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Tableau de Karnaugh associé :



$CAX_i . CDX_i$ X_i	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	1	0	1	1



L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{CD} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{CD} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{CD} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{C}D\overline{X}_i \cdot X_i$$

OU

$$X_i = X_{i-1}R_{i-1} + \overline{X}_{i+1} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Afin de respecter les règles d'évolution du GRAFCET, chaque étape peut être matérialisée par une mémoire du type marche prioritaire possédant une structure de la forme :

$$X = \text{Encl} + \overline{\text{RAZ}} \cdot X$$

Les termes d'enclenchement et de remise à zéro sont définis de la manière suivante :

ETAPE X

Encl : Etat logique de l'Etape(s) précédente(s).
Réceptivité

RAZ : Etat logique de l'Etape(s) suivante(s)

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{C}DX_i \cdot X_i$$

OU

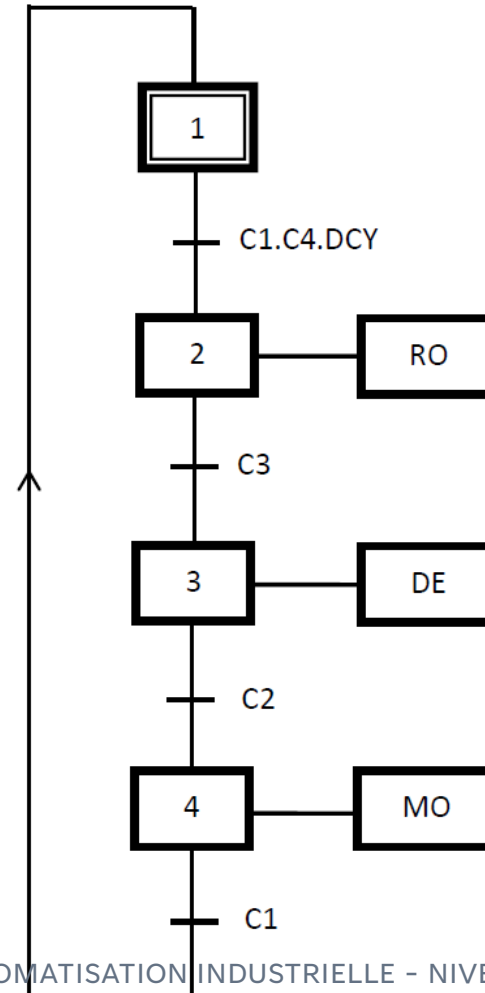
$$X_i = X_{i-1}R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Exemple

Soit le GRAFCET suivant :



3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

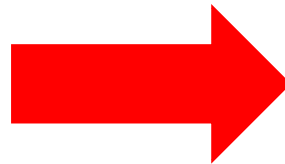
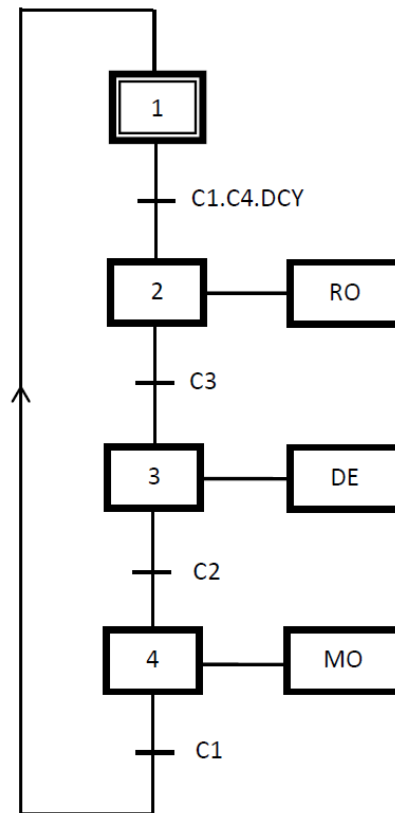
$$X_i = CAX_i + \overline{C} \overline{D} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental



ETAPE X1	ENC : X4.C1
	RAZ : X2
	EQU : $X4.C1 + /X2.X1$
ETAPE X2	ENC : X1.C1.C4.DCY
	RAZ : X3
	EQU : $X1.C1.C4.DCY + /X3.X2$
ETAPE X3	ENC : X2.C3
	RAZ : X4
	EQU : $X2.C3 + /X4.X3$
ETAPE X4	ENC : X3.C2
	RAZ : X1
	EQU : $X3.C2 + /X1.X4$

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

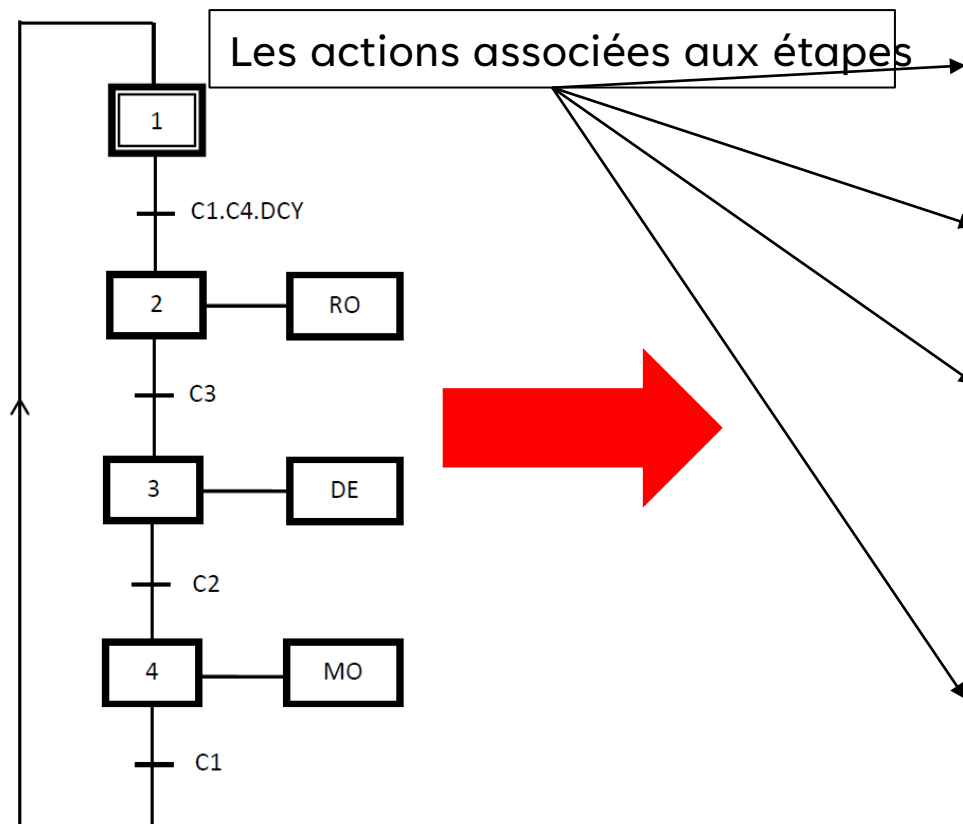
$$X_i = CAX_i + \overline{C} \overline{D} \overline{X}_i \cdot X_i$$

OU

$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X}_{i+1} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental



-	ETAPE X1	ENC : X4.C1
		RAZ : X2
		EQU : $X4.C1 + /X2.X1$
RO	ETAPE X2	ENC : X1.C1.C4.DCY
		RAZ : X3
		EQU : $X1.C1.C4.DCY + /X3.X2$
DE	ETAPE X3	ENC : X2.C3
		RAZ : X4
		EQU : $X2.C3 + /X4.X3$
MO	ETAPE X4	ENC : X3.C2
		RAZ : X1
		EQU : $X3.C2 + /X1.X4$

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{C} \overline{D} \overline{X}_i \cdot X_i$$

OU

$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X}_{i+1} \cdot X_i$$

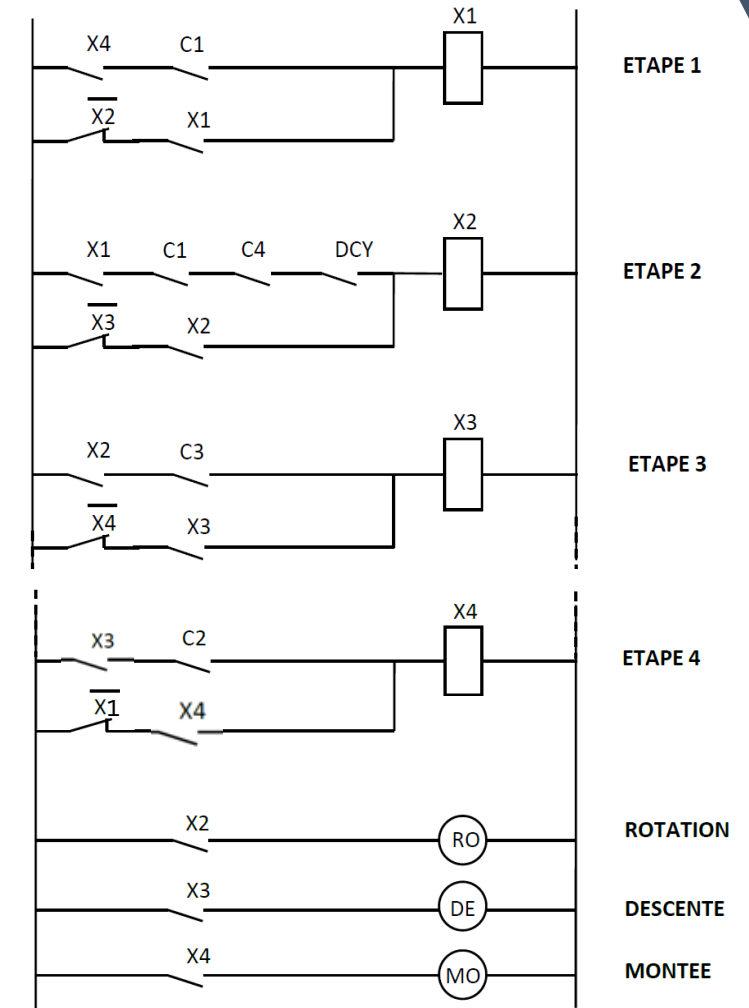
3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Exemple

Les équations des mémoires étape déterminée précédemment nous donnent le schéma de câblage électrique suivant :

	ETAPE X1	ENC : X4.C1
		RAZ : X2
		EQU : X4.C1 + /X2.X1
RO	ETAPE X2	ENC : X1.C1.C4.DCY
		RAZ : X3
		EQU : X1.C1.C4.DCY + /X3.X2
DE	ETAPE X3	ENC : X2.C3
		RAZ : X4
		EQU : X2.C3 + /X4.X3
MO	ETAPE X4	ENC : X3.C2
		RAZ : X1
		EQU : X3.C2 + /X1.X4



3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{C} \overline{D} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

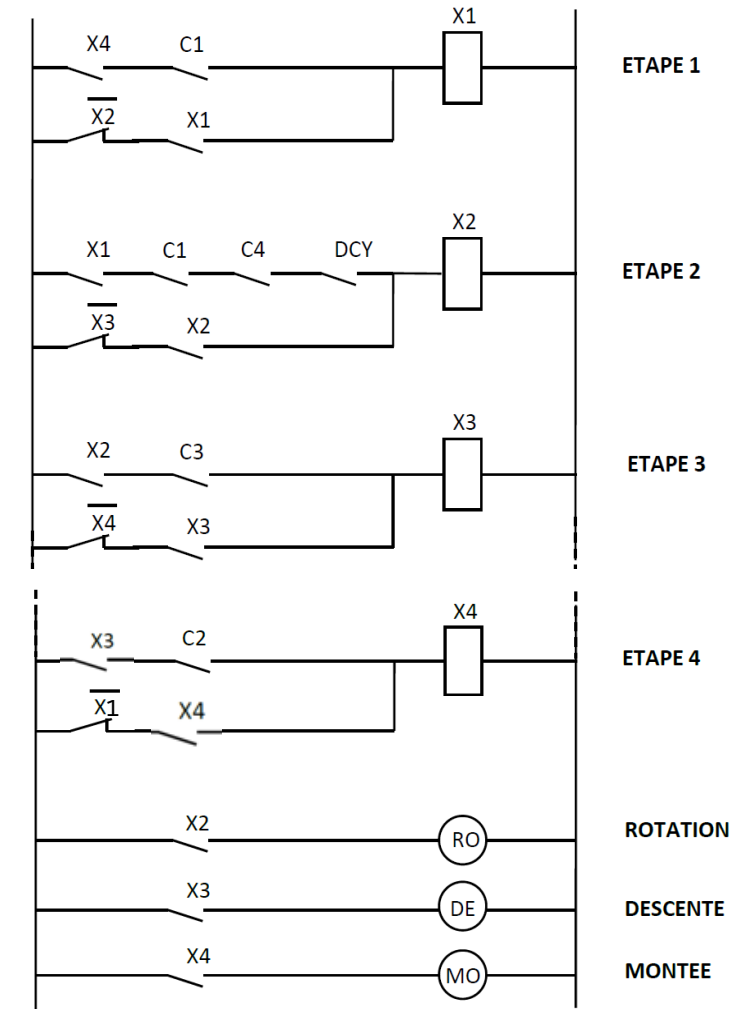
3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Exemple

Pour établir la commande de chaque sortie, il suffit de considérer la ou les étapes durant lesquelles la sortie doit être enclenchée. Ainsi :

- La sortie RO a lieu durant l'ETAPE 2 d'où $RO = X2$
- La sortie DE a lieu durant l'ETAPE 3 d'où $DE = X3$
- La sortie MO a lieu durant l'ETAPE 4 d'où $MO = X4$



3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{CD} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

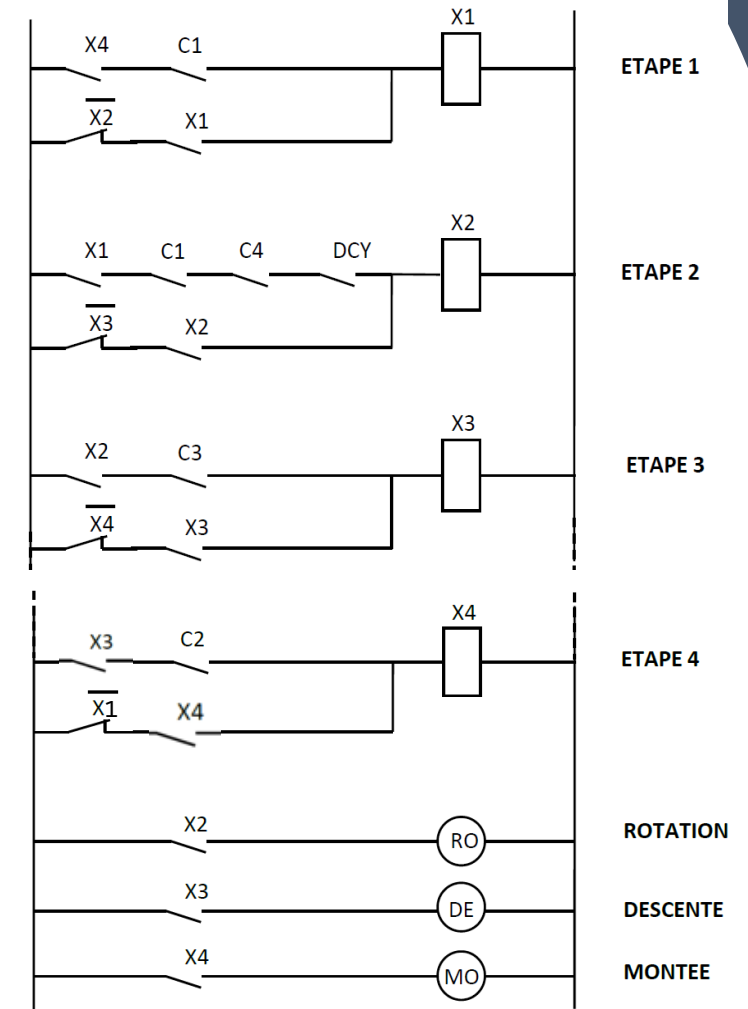
3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Exemple

Pour établir la commande de chaque sortie, il suffit de considérer la ou les étapes durant lesquelles la sortie doit être enclenchée. Ainsi :

- La sortie RO a lieu durant l'ETAPE 2 d'où $RO = X2$
- La sortie DE a lieu durant l'ETAPE 3 d'où $DE = X3$
- La sortie MO a lieu durant l'ETAPE 4 d'où $MO = X4$



3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{C} \overline{D} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

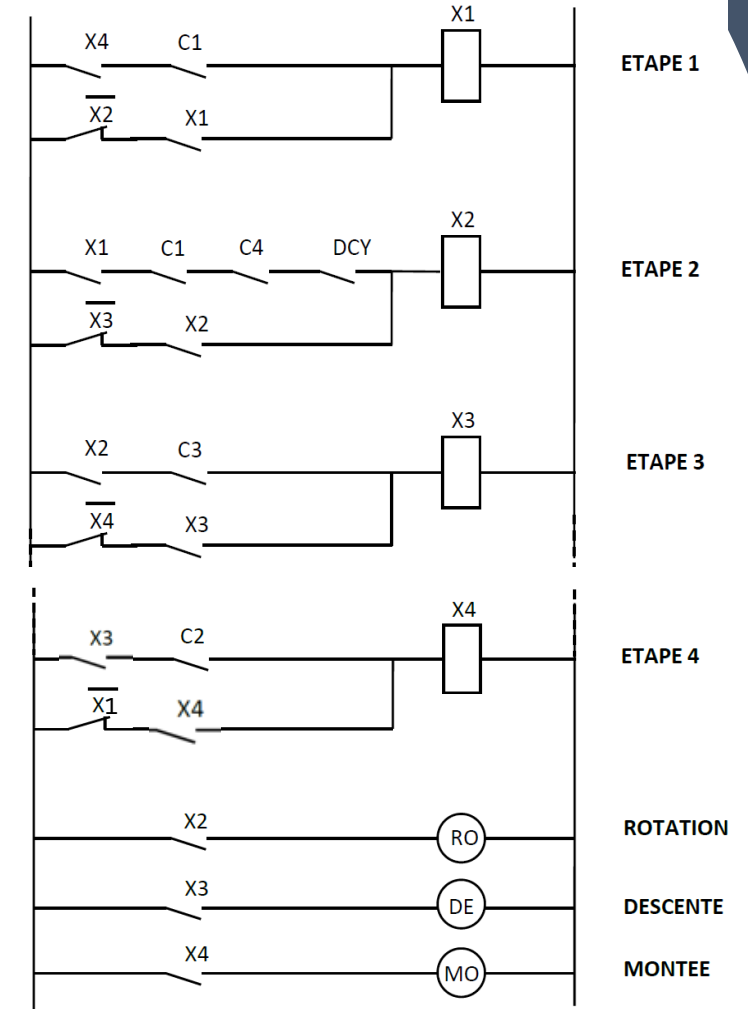
$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Initialisation de la séquence

Nous remarquons sur le schéma précédent qu'à la mise sous tension, toutes les mémoires se trouvant ici à l'état repos, aucune évolution n'est possible. Il est donc impératif d'initialiser la séquence en venant enclencher la mémoire X1 matérialisant l'étape initiale de notre GRAFCET. Ceci est obtenu : Par **deux méthodes**



3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{C} \overline{D} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

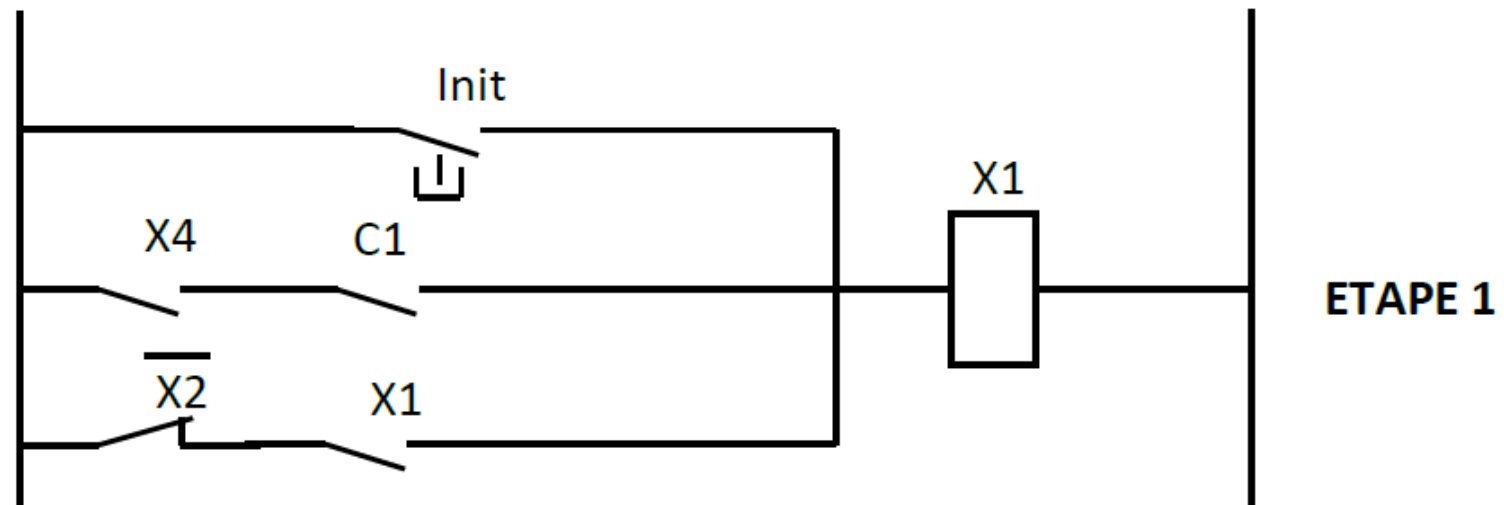
$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Initialisation de la séquence

1. Soit en utilisant un contact d'initialisation ou un contact de passage commandé lors de la mise sous tension de l'automatisme, comme le montre le schéma suivant :



3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{CD} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

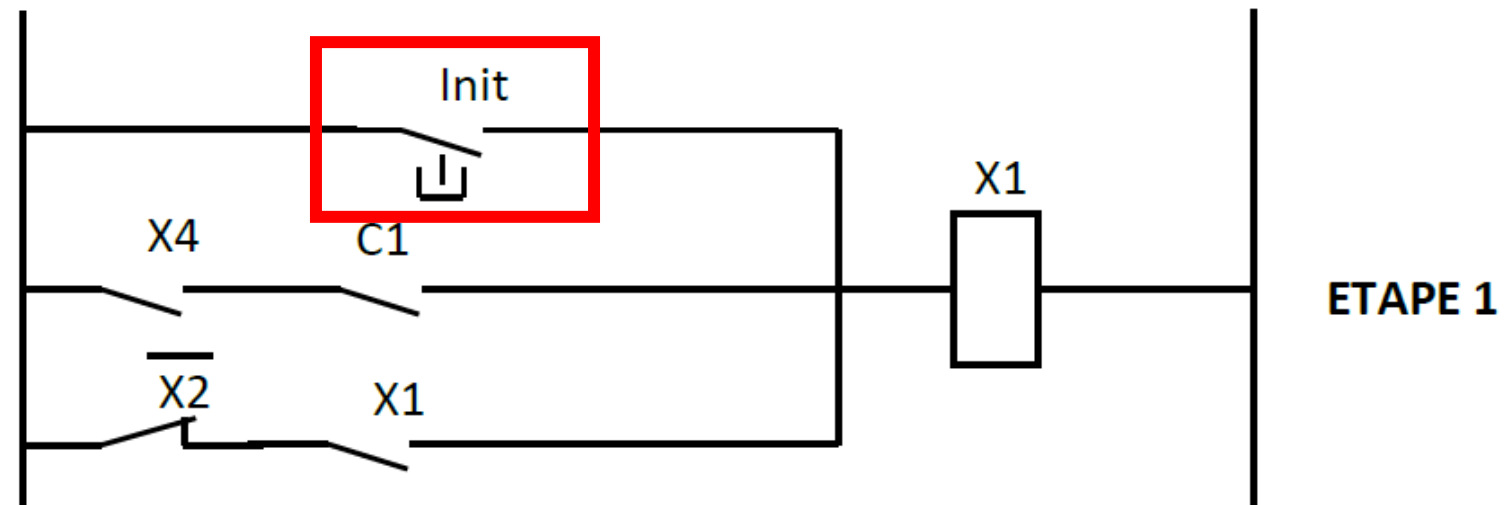
$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Initialisation de la séquence

1. Soit en utilisant un contact d'initialisation ou un contact de passage commandé lors de la mise sous tension de l'automatisme, comme le montre le schéma suivant :



3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{C} \overline{D} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

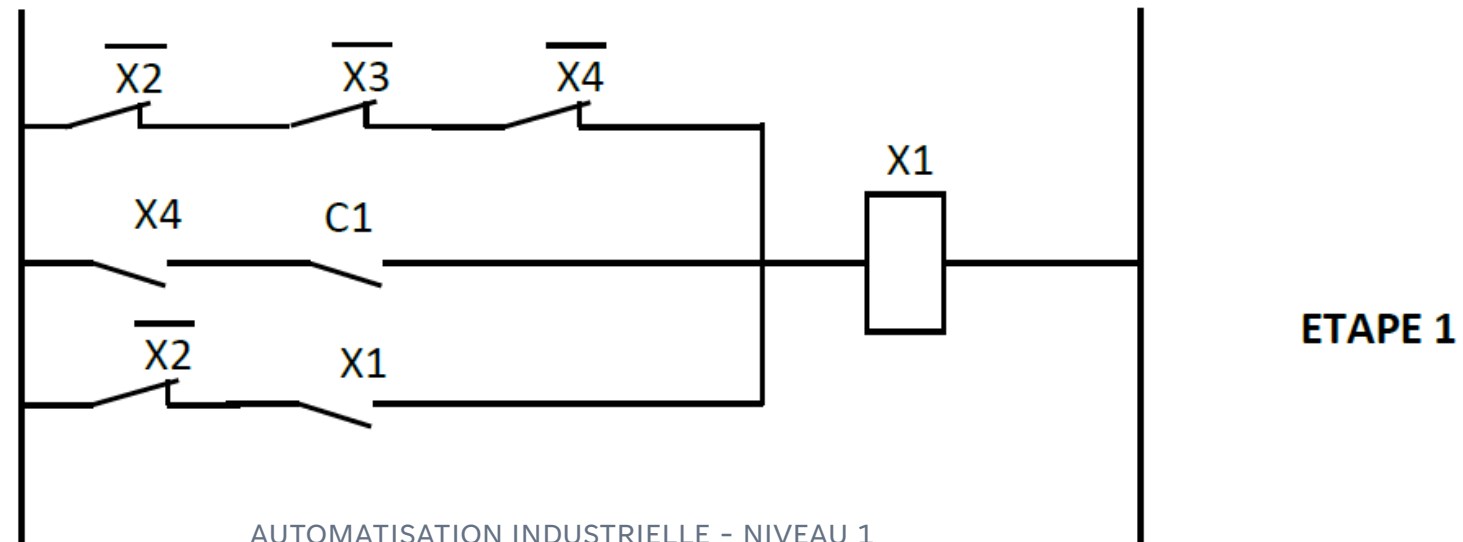
$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Initialisation de la séquence

2. Soit en testant l'état repos de toutes les mémoires d'étape suivantes, pour venir alors systématiquement enclencher la mémoire $X1$, comme le montre le schéma suivant :



3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{C} \overline{D} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

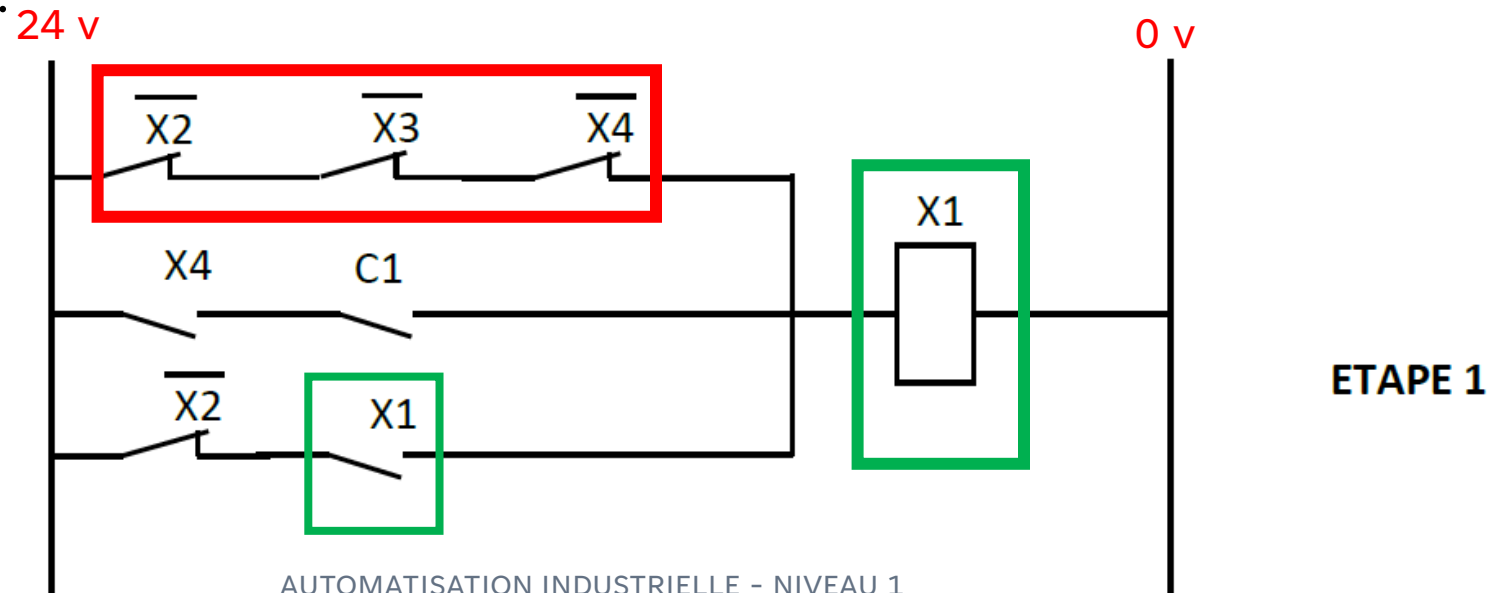
$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Initialisation de la séquence

2. Soit en testant l'état repos de toutes les mémoires d'étape suivantes, pour venir alors systématiquement enclencher la mémoire $X1$, comme le montre le schéma suivant :



3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{CDX_i} \cdot X_i$$

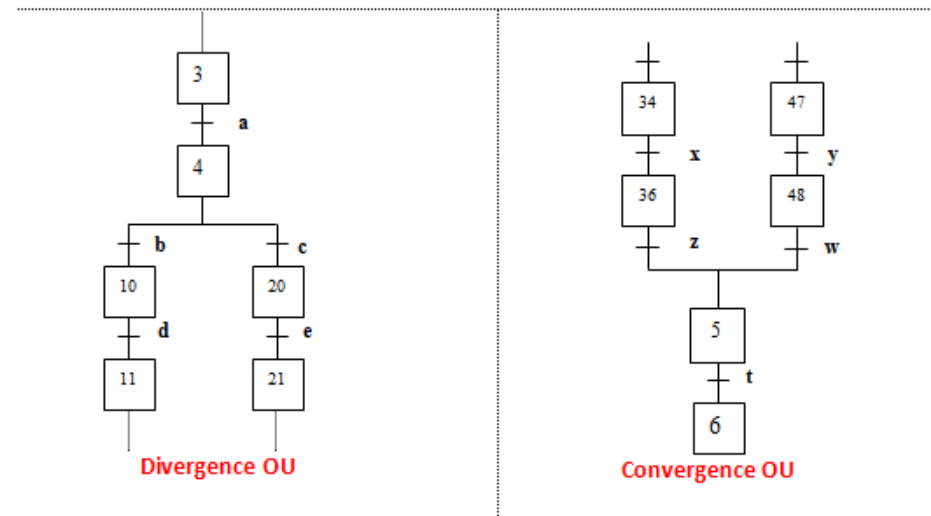
OU

$$X_i = X_{i-1}R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Sélection de sequence - Evolution en OU



Etape	CAXi	CDXi
4	$X_{3.a}$	$X_{10} + X_{20}$
10	$X_{4.b}$	X_{11}
20	$X_{4.c}$	X_{21}

Etape	CAXi	CDXi
36	$X_{34} \cdot X$	X_5
48	$X_{47} \cdot Y$	X_5
5	$X_{36} \cdot Z + X_{48} \cdot W$	X_6

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{CDX_i} \cdot X_i$$

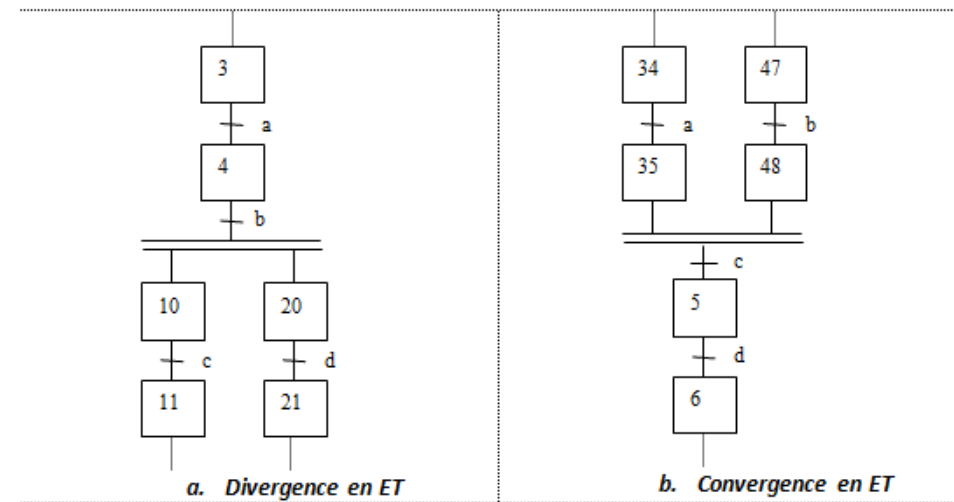
OU

$$X_i = X_{i-1}R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Séquences simultanées - Evolution en ET



Etape	CAX _i	CDX _i
4	$X_{3 \cdot a}$	$X_{10} \cdot X_{20}$
10	$X_{4 \cdot b}$	X_{11}
20	$X_{4 \cdot b}$	X_{21}

Etape	CAX _i	CDX _i
35	$X_{34 \cdot a}$	X_5
48	$X_{47 \cdot b}$	X_5
5	$X_{35} \cdot X_{48} \cdot c$	X_6

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{CDX_i} \cdot X_i$$

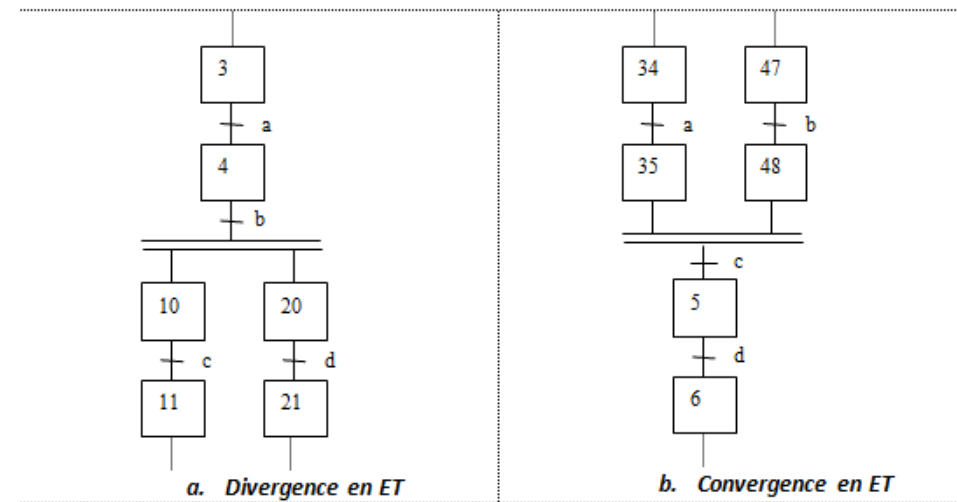
OU

$$X_i = X_{i-1}R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Séquences simultanées - Evolution en ET



Etape	CAX _i	CDX _i
4	$X_{3,a}$	$X_{10} \cdot X_{20}$
10	$X_{4,b}$	X_{11}
20	$X_{4,b}$	X_{21}

Etape	CAX _i	CDX _i
35	$X_{34,a}$	X_5
48	$X_{47,b}$	X_5
5	$X_{35} \cdot X_{48} \cdot c$	X_6

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{C} \overline{D} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

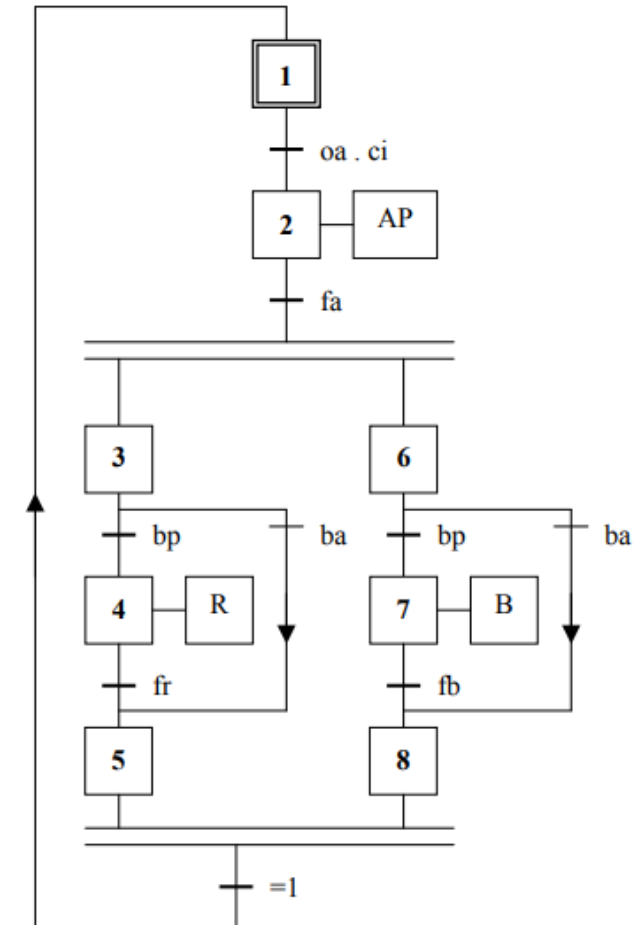
$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Séquences simultanées - Evolution en ET

Exemple



3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{CD} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Séquences simultanées -

Evolution en ET

Exemple

L'ETAPE	L'EQUATION
ETAPE X1	
ETAPE X2	
ETAPE X3	
ETAPE X4	
ETAPE X5	
ETAPE X6	
ETAPE X7	
ETAPE X8	

3. Programmation d'un Automate Programmable Industriel

L'équation de X_i est :

$$X_i = CAX_i + \overline{C} \overline{D} \overline{X_i} \cdot X_i$$

OU

$$X_i = X_{i-1} R_{i-1} + \overline{X_{i+1}} \cdot X_i$$

3.1. Passage du GRAFCET aux équations logiques

Fondamental

Séquences simultanées -

Evolution en ET

Exemple

L'ETAPE	L'EQUATION
ETAPE X1	$X5.X8.1 + /X2.X1$
ETAPE X2	$X1.OA.CI + /(X3.X6) . X2$
ETAPE X3	$X2.FA +/ (X4+X5) . X3$
ETAPE X4	$X3.BP + /X5.X4$
ETAPE X5	$X4.FR+ X3.BA +/X1 .X5$
ETAPE X6	$X2.FA + /(X7+X8) . X6$
ETAPE X7	$X6.BP+ /X8.X7$
ETAPE X8	$X7.FB+ X6.BA + /X1 .X8$