

## 2.1 Introduction

Le GRAFCET (**G**raphe **F**onctionnel de **C**ommande **E**tape/**T**ransition) a été proposé par ADEPA (agence pour le développement de la Productique Appliquée à l'industrie) et l'AFCE (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique) en 1977, et normalisé en 1982 par la NF C03-190. C'est un outil graphique destiné à décrire les différents comportements de l'évolution d'un automate séquentiel. Il est très utilisé pour la programmation des automates programmables industriels. Lorsque le mot grafcet est écrit en minuscule, il fait alors référence à un modèle obtenu à l'aide des règles du GRAFCET.

Le GRAFCET possède les avantages suivants :

- Il est indépendant de la matérialisation technologique.
- Il traduit de façon cohérente le cahier des charges.
- Il est bien adapté à la complexité des systèmes automatisés et à la conception et réalisation.

Dans ce chapitre, on commence par donner les bases nécessaires de la modélisation des systèmes automatisés en langage GRAFCET. Ensuite, on illustre ces différentes règles et on présente les différentes structures du grafcet. Les différentes actions associées aux étapes sont définies par la suite. Enfin, on montre la transformation du modèle grafcet en des équations.

**2.1.1 Exemple introductif** On veut contrôler une chaîne de fonctionnement, deux vérins pneumatiques (V1 et V2).

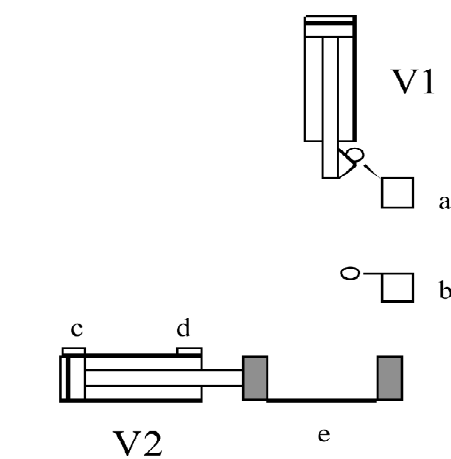
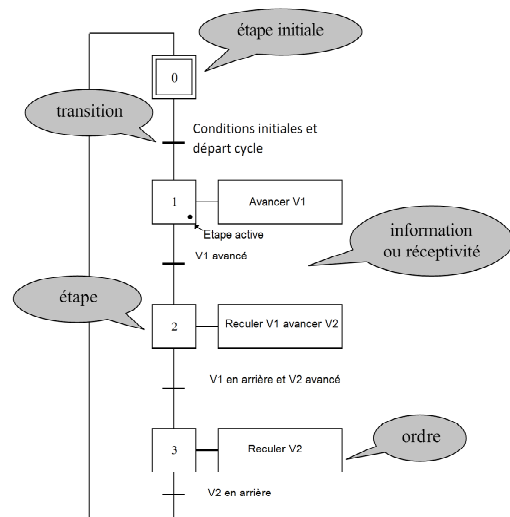


Illustration graphique de cycle de fonctionnement



Le GRAFCET de cycle de fonctionnement

FIGURE 2.1 – Exemple de GRAFCET simple.

## 2.2 Description du GRAFCET

### 2.2.1 Les étapes

L'étape symbolise un état ou une partie de l'état du système. L'étape possède deux états possibles : active représentée par un jeton dans l'étape ou inactive. L'étape  $i$ , repérée numériquement, possède ainsi une variable d'état, appelée variable d'étape  $X_i$ . Cette variable est une variable booléenne valant 1 si l'étape est active, 0 sinon.

La situation initiale d'un système automatisé est indiquée par une étape dite étape initiale et représentée par un carré double.

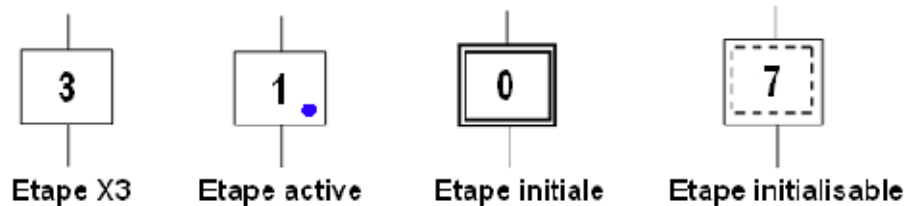


Figure 2.2. Situation des étapes d'un système automatisé

### 2.2.2 Actions associées aux étapes

chaque étape est associée une action ou plusieurs, c'est à dire un ordre vers la partie opérative ou vers d'autres grafjets. Mais on peut rencontrer aussi une même action associée à plusieurs étapes ou une étape vide (*sans action*).

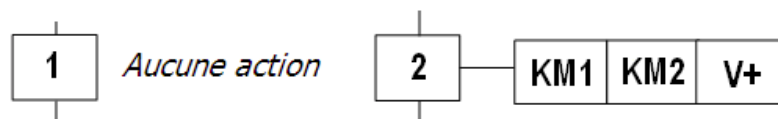


Figure 2.3. Actions associées aux étapes

### 2.2.3 Transition

Une transition indique la possibilité d'évolution qui existe entre deux étapes et donc la succession de deux activités dans la partie opérative. Lors de son franchissement, elle va permettre l'évolution du système. A chaque transition est associée une condition logique appelée réceptivité qui exprime la condition nécessaire pour passer d'une étape à une autre.

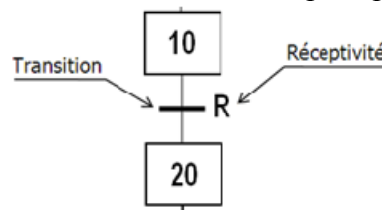


Figure 2.4. Transition associée une condition logique appelée réceptivité

La réceptivité est une information d'entrée qui est fournie par :

*l'opérateur* : pupitre de commande,

*la partie opérative* : états des capteurs, du temps, d'un comptage ou toute opération logique, arithmétique...

*du grafjets* : d'autres grafjet pour la liaison entre grafjets ou de l'état courant des étapes du grafjet (les  $X_i$ ),

*d'autres systèmes : dialoguent entre systèmes, ...*

*Remarque: Si la réceptivité n'est pas précisée, alors cela signifie qu'elle est toujours vraie (=1).*

### 2.2.4 Liaisons orientées

Elles sont de simples traits verticaux qui relient les étapes aux transitions et les transitions aux étapes. Elles sont normalement orientées de haut vers le bas. Une flèche est nécessaire dans le cas contraire.

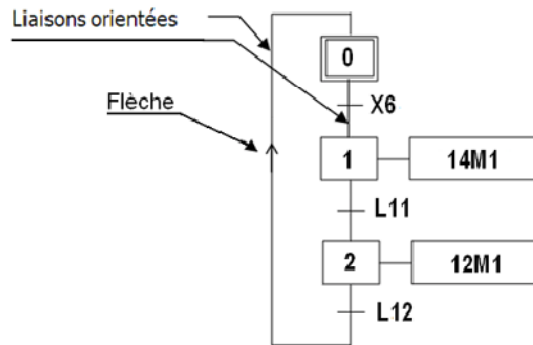


Figure 2.4. Liaisons orientées entre les étapes et les transitions

### 2.3 Classification des actions associées aux étapes

L'action associée à l'étape peut être de 3 types : **continue**, **conditionnelle** ou **mémorisée**. Les actions peuvent être classées en fonction de leur durée par rapport à celle de l'étape.

#### 2.3.1 Actions continues :

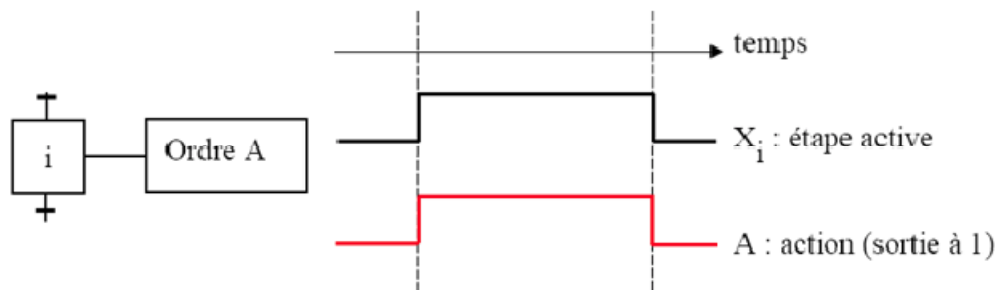


Figure 2.5. Chronogramme de l'action continue

#### 2.3.2 Actions conditionnelles:

Une action conditionnelle n'est exécutée que si l'étape associée est active et si la condition associée est vraie. Elles peuvent être décomposées en 3 cas particuliers:

##### 2.3.3 Action conditionnelle simple : Type C

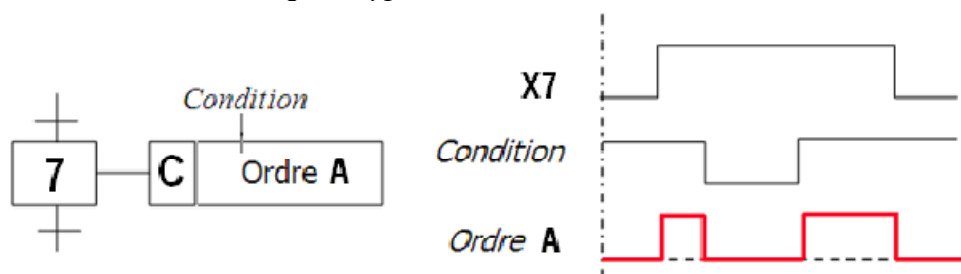


Figure 2.6. Chronogramme de l'action conditionnelle simple

### 2.2.4 Action retardée : Type D (delay)

Le temps intervient dans cet ordre conditionnel comme condition logique. L'indication du temps s'effectue par la notation générale " t / xi / q " dans laquelle "xi" indique l'étape prise comme origine du temps et "q" est la durée du retard.

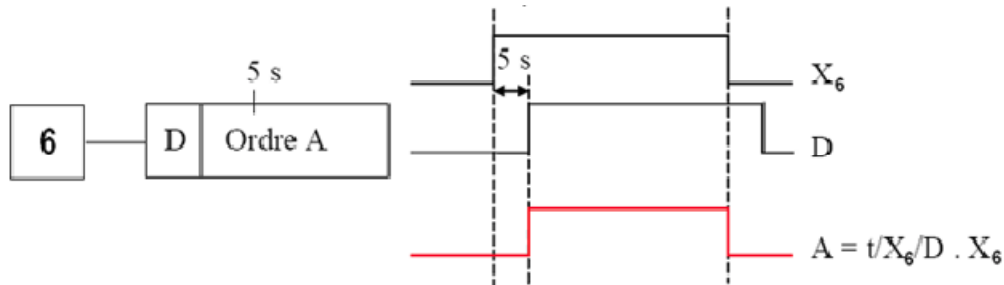


Figure 2.6. Chronogramme de l'action retardée

Exemple :

### 2.2.5 Action de durée limitée: Type L (limited)

"t /x6/ 5s" : prendra la valeur logique 1, 5s après la dernière activation de l'étape 6.

L'ordre est émis dès l'activation de l'étape à laquelle il est associé ; mais la durée de cet ordre sera limitée à une valeur spécifiée.

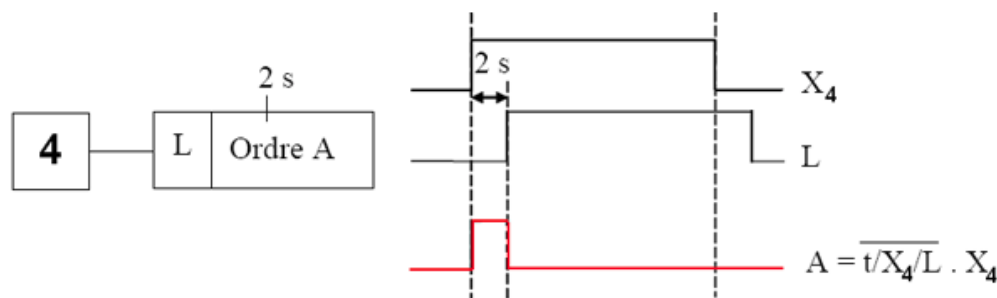


Figure 2.7. Chronogramme d'action de durée limitée

L'ordre "A" est limité à 2s après l'activation de l'étape 4.

### 2.2.6 Action maintenue sur plusieurs étapes:

Afin de maintenir la continuité d'une action sur plusieurs étapes, il est possible de répéter l'ordre continu relatif à cette action, dans toutes les étapes concernées ou d'utiliser une description sous forme de séquences simultanées (*Les séquences simultanées seront traitées ultérieurement* ).

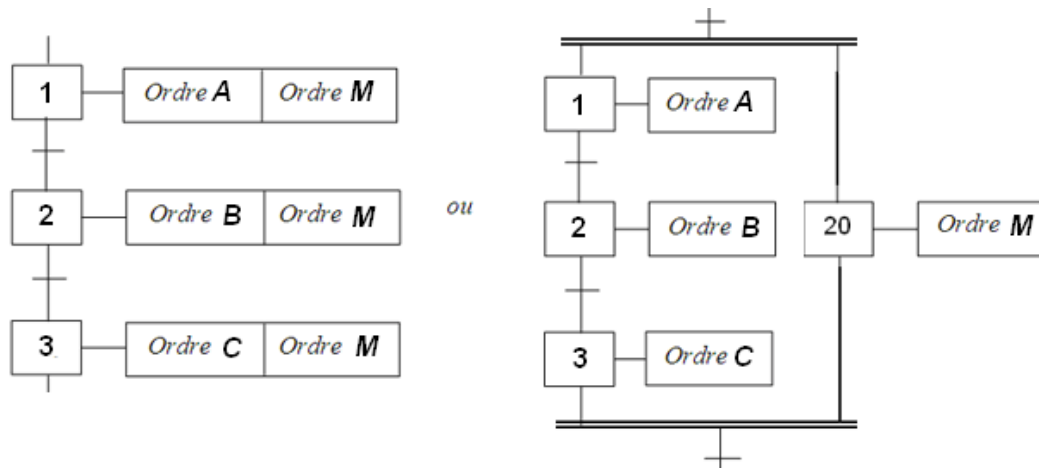


Figure 2.8. Action maintenue sur plusieurs étapes

### 2.2.7 Action mémorisée :

Le maintien d'un ordre, sur la durée d'activation de plusieurs étapes consécutives, peut également être obtenu par la mémorisation de l'action, obtenue par l'utilisation d'une fonction auxiliaire appelée fonction mémoire.

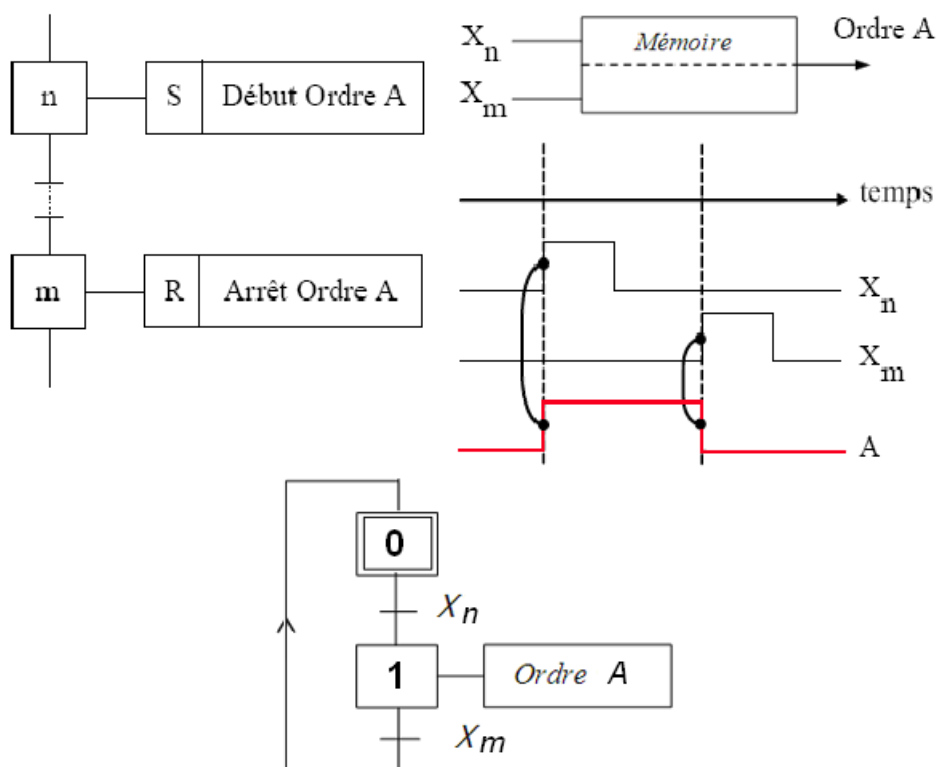


Figure 2.9. Action à effet Maintenue par une Action Mémorisée

## 2.3 Règles d'évolution d'un GRAFCET

### Règle N°1 : Condition initiale.

A l'instant initial, seules les étapes initiales sont actives.

### Règle N°2 : Franchissement d'une transition.

Pour qu'une transition soit validée, il faut que toutes ses étapes amont (immédiatement précédentes reliées à cette transition) soient actives. Le franchissement d'une transition se produit lorsque la transition est validée, et seulement si la réceptivité associée est vraie.

### Règle N°3 : *Evolution des étapes actives.*

Le franchissement d'une transition entraîne obligatoirement l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.

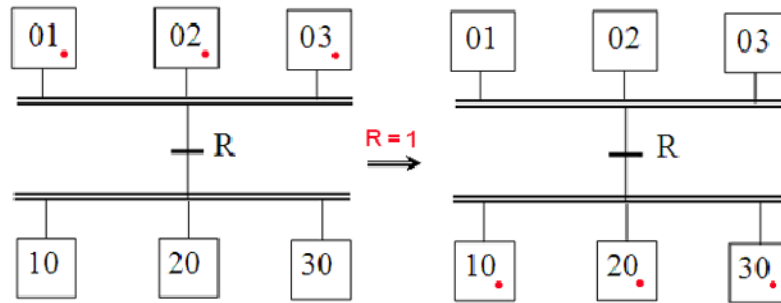


Figure 2.10. franchissement d'une transition

### Règle N°4 : *Franchissement simultané.*

Toutes les transitions simultanément franchissables à un instant donné sont simultanément franchies.

### Règle N°5 : *Conflit d'activation.*

Si une étape doit être simultanément désactivée par le franchissement d'une transition aval, et activée par le franchissement d'une transition amont, alors elle reste active. On évite ainsi des commandes transitoires (néfastes à la partie opérative).

## 2.4 Sélection de séquence et séquences simultanées :

Le méta-modèle grafcet présente deux structures particulières, la sélection de séquence et les séquences simultanées.

### 2.4.1 Sélection de séquence

La sélection de séquence dans un grafcet permet de choisir une suite d'étapes plutôt qu'une autre. Cette structure est composée d'une seule étape en amont et de plusieurs transitions en aval qui permettront le choix de la séquence. Elle se représente à l'aide d'un simple trait horizontal. La fin d'une sélection de séquence permet la reprise d'une séquence unique.

*Exemples*

- début de sélection de séquence :

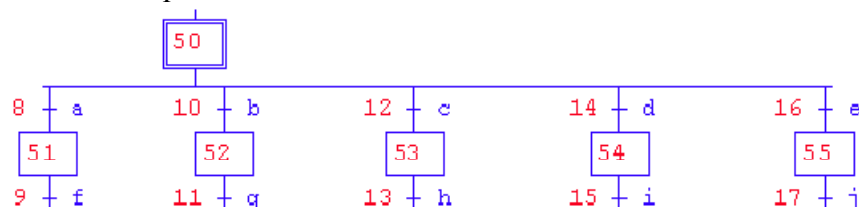


Figure 2.12. début de sélection de séquence

- fin de sélection de séquence :

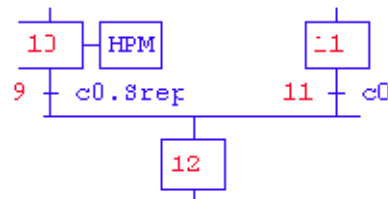


Figure 2.13. fin de sélection de séquence

### 2.4.2 Séquences simultanées

Lorsque l'on souhaite réaliser plusieurs séquences simultanément on utilise cette structure. Elle est composée d'une seule étape et d'une seule transition en amont qui permet de déclencher simultanément plusieurs séquences d'étapes. Elle se représente à l'aide d'un double trait horizontal. A la fin d'une série de séquences simultanées on retrouve, en général, un double trait suivi d'une seule transition. Attention, c'est le déclenchement des étapes situées immédiatement après le double trait qui est simultané et non l'évolution des séquences. L'évolution de chacune des séquences d'étapes dépendra des conditions d'évolution et des actionneurs utilisés sur la Partie Opérative (compteur, temporisations, états de capteurs,...).

#### Exemples :

Début de séquences simultanées :

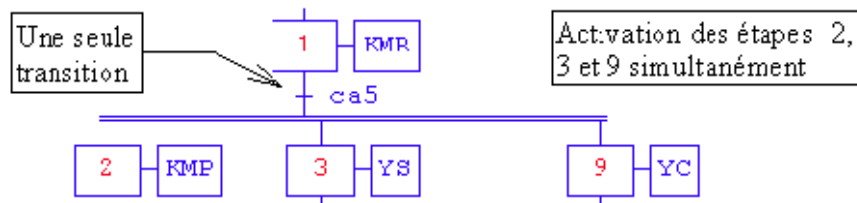


Figure 2.14. Début de séquences simultanées

Fin de séquences simultanées :

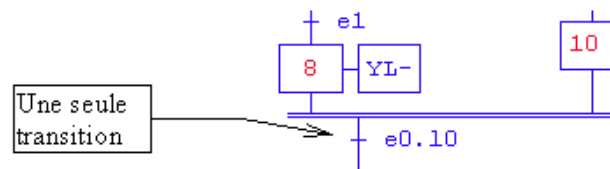


Figure 2.15. Fin de séquences simultanées

### 2.4.3 Saut d'étapes et reprise de séquence

Le saut d'étapes permet de sauter une ou plusieurs étapes lorsque les actions associées sont inutiles à réaliser. La reprise de séquence (ou boucle) permet de reprendre, une ou plusieurs fois, une séquence tant qu'une condition n'est pas obtenue.

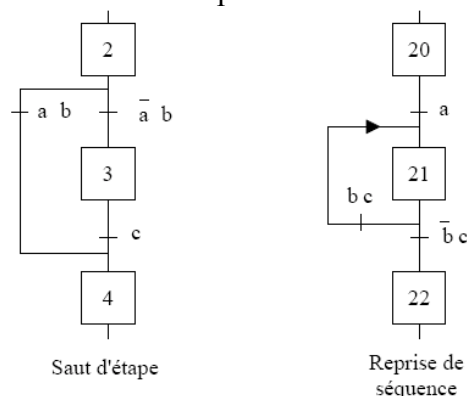


Figure 2.16. Saut d'étapes et reprise de séquence

### 2.4.5 Aiguillage entre deux ou plusieurs séquences (Divergence en OU)

On dit qu'il y a Aiguillage ou divergence en OU lorsque le grafcet se décompose en deux ou plusieurs séquences selon un choix conditionnel. Comme la divergence en OU on rencontre aussi la convergence en OU. On dit qu'il y a convergence en OU, lorsque deux ou plusieurs séquences du grafcet convergent vers une seule séquence.

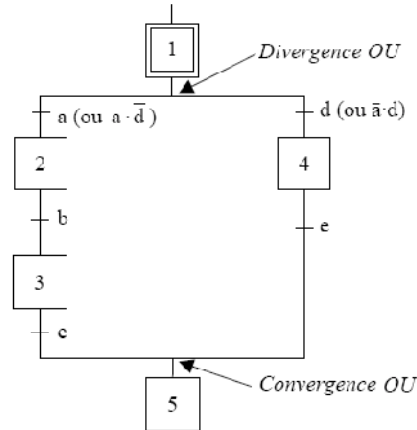


Figure 2.17. Aiguillage entre deux ou plusieurs séquences

Si les deux conditions « a » et « d » sont à 1 simultanément, les étapes 2 et 4 vont devenir actives simultanément, situation non voulue par le concepteur. Donc elles doivent être des conditions exclusives

### 2.4.6 Parallélisme entre deux ou plusieurs séquences (ou séquences simultanées ou divergence–convergence en ET) :

Au contraire de l'aiguillage, où ne peut se dérouler qu'une seule activité à la fois, On dit qu'on se trouve en présence d'un parallélisme structurel, si plusieurs activités indépendantes pouvant se dérouler en parallèle. Le début d'une divergence en « ET » et la fin d'une convergence en « ET » d'un parallélisme structurel sont représentés par deux traits parallèles

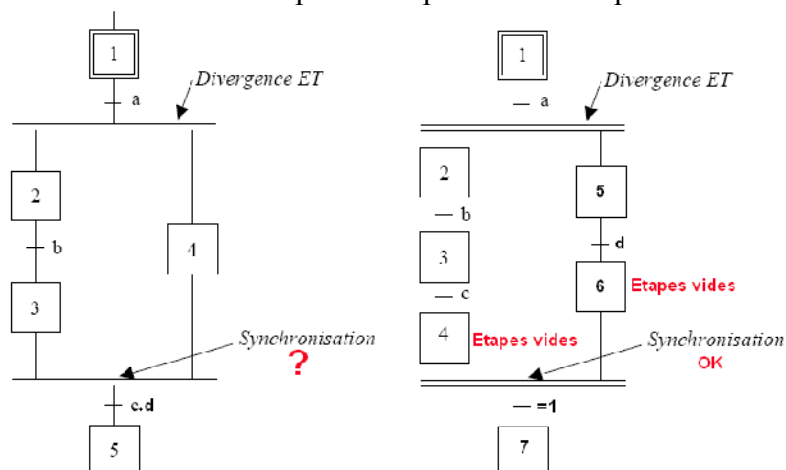


Figure 2.18. Parallélisme entre deux ou plusieurs séquences

La synchronisation permet d'attendre la fin de plusieurs activités se déroulant en parallèle, pour continuer par une seule.

### 2.5 Liaison entre grafcets :

Une étape dans un grafcet peut servir comme réceptivité à une autre étape d'un autre grafcet. Cette méthode est utilisée aussi pour synchroniser deux grafcets c'est à dire rendre l'évolution de l'un dépendante de l'évolution de l'autre.

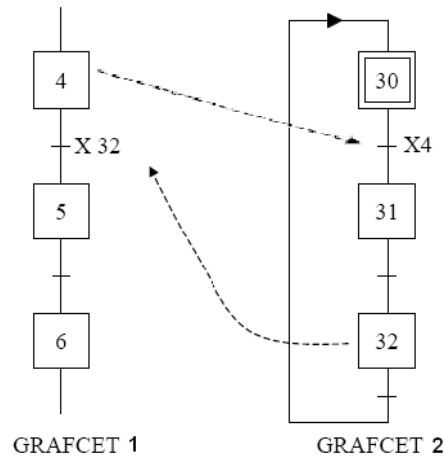


Figure 2.19. Liaison entre grafcets

### 2.6 Organisation des niveaux de représentation

La description du fonctionnement attendu d'un système automatisé (SA) se fait par succession de trois points de vue. Le point de vue "système" est le premier décrit, il est le plus proche du cahier des charges fonctionnelles. Le point de vue "Partie Opérative" permet de se "rapprocher" du système automatisé et de définir les constituants de la Partie Opérative ainsi que de les interfaçages d'entrée et de sortie. Le troisième est le point de vue "Partie Commande" qui permettra à terme de générer le programme automate.

Les principaux GRAFCETS que l'on peut trouver sont :

**2.6.1 GRAFCET de surveillance** : (de sécurité) ce GRAFCET décrit l'ensemble des procédures de sécurité du système, c'est le GRAFCET hiérarchiquement le plus important. L'arrêt d'urgence et les procédures de mise en route sont décrits dans ce GRAFCET.

**2.6.2 GRAFCET de conduite** : (ou GRAFCET des Modes de Marches) ce GRAFCET décrit l'ensemble des procédures de Marches (auto, Cycle/Cycle, Manuel,...) et des arrêts normaux.

**2.6.3 GRAFCET de maintenance** : Précise les procédures d'intervention de l'opérateur et de réglage de la partie opérative.

**2.6.4 GRAFCET de Production** : ce GRAFCET est le niveau de description du fonctionnement normal de l'automatisme. Ce GRAFCET est en général décomposé en plusieurs tâches représentant les différentes fonctions de l'automatisme.

### 2.7 Les deux niveaux de représentation.

Pour aborder de façon progressive l'étude d'un automatisme, l'analyse GRAFCET est divisée en deux niveaux. Le premier niveau s'attarde aux spécifications fonctionnelles. Le second aux spécifications technologiques.

### 2.7.1 Le GRAFCET de niveau 1

Lors de l'analyse des spécifications fonctionnelles, le premier souci de l'automaticien est de comprendre le fonctionnement de l'automatisme. Il faut qu'il soit en mesure d'identifier le comportement de la Partie Commande par rapport à la Partie Opérative.

Pour faciliter ce premier niveau d'analyse, il ne faut pas se soucier de la technologie des actionneurs et des capteurs. Le GRAFCET de niveau 1 permet donc de représenter la séquence de fonctionnement souhaitée. La description des actions et de la séquence de l'automatisme est littérale.

Le GRAFCET de niveau 1 permet d'identifier les fonctions que doit remplir l'automatisme. Pour chacune de ces fonctions, il faut déduire quelles sont les actions à faire, les informations assurant que les actions soient complétées et les précautions à prendre du point de vue sécurité, indépendamment de la matérialisation technologique.

### 2.7.2 Le GRAFCET de niveau 2

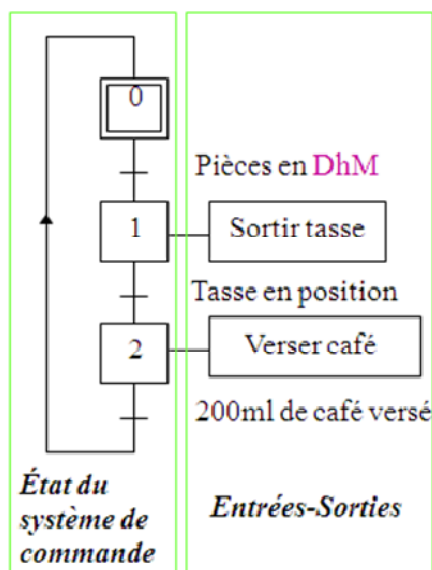
Lors de l'analyse des spécifications technologiques, l'automaticien utilisera l'analyse faite avec le GRAFCET de niveau 1 pour choisir les actionneurs et les capteurs nécessaires pour générer les actions et obtenir les informations nécessaires pour remplir les fonctions.

Le choix technologique est donc fait à cette étape. Donc le GRAFCET de niveau 2 est celui qui prend en compte la technologie des capteurs et actionneurs. Il pourrait mener à la programmation d'un automate ou à un séquenceur câblé. En pratique, ce GRAFCET sera ultérieurement modifié pour tenir compte des spécifications opérationnelles.

En effet, les GRAFCET de niveau 1 et de niveau 2 ne s'attardent qu'au fonctionnement normal de l'automatisme. Dans ce fonctionnement normal, il est assumé que l'automatisme ne manquera jamais de matière première, ne subira jamais d'arrêt d'urgence, ne sera jamais défaillant. Donc les divers modes de marches et d'arrêts ne sont pas pris en compte. Ces modes sont introduits par l'outil méthode « GEMMA ».

### 2.8 Exemple :

#### GRAFCET de niveau 1



#### GRAFCET de niveau 2

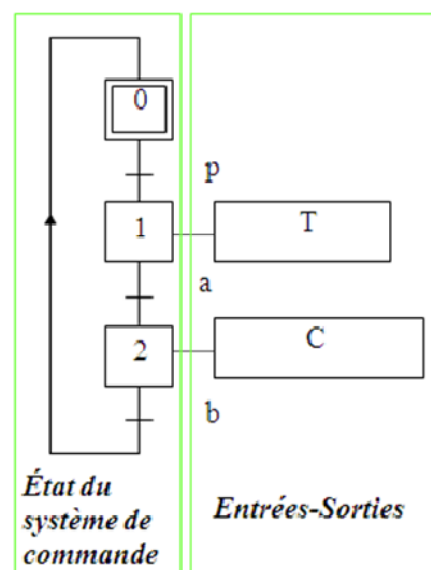


Figure 2.20 : GRAFCET de niveau 1 et 2

## 2.9 Mise en équation d'un grafcet :

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.

Pour montrer comment le GRAFCET se transforme en diagramme échelle, supposons une suite de trois étapes tel que montré ci-dessous :

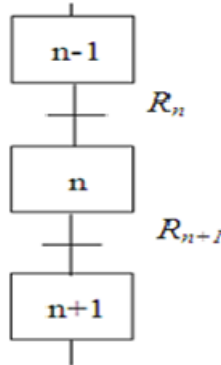


Figure 2.21. GRAFCET et son diagramme échelle

Pour trouver l'équation logique de la variable logique représentant l'étape il faut appliquer les règles du GRAFCET. L'étape «s'activera lorsque la réceptivité sera franchie. Cette réceptivité est franchie si l'étape est active et si la condition logique est vraie. L'étape s'activera alors et désactivera l'étape L'équation logique de la mise à sera :

L'étape se désactivera lorsque la réceptivité sera franchie. Lorsque le franchissement se fera, l'étape s'activera et l'étape se désactivera. L'équation logique de la mise à

L'équation logique de l'étape

## 2.10 Règles générales

Pour qu'une étape soit activée, il faut que :

L'étape immédiatement précédente soit active ;

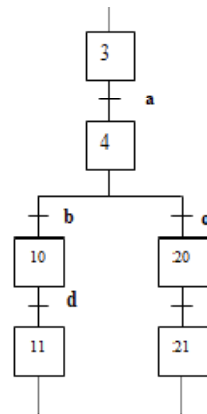
La réceptivité immédiatement précédente soit vraie ;

L'étape immédiatement suivante soit non active ;

Après activation l'étape mémorise son état.

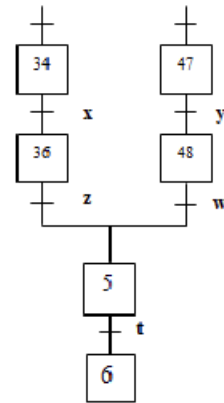
D'après la règle 2 du grafcet, la condition d'activation de l'étape n donne :

## 2.11 Choix de séquence :



Divergence OU

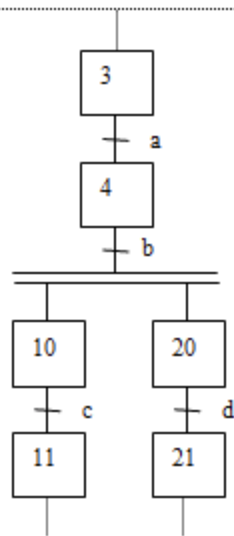
Etape	CAXi	CDXi
4	$X_{3,a}$	$X_{10} + X_{20}$
10	$X_{4,b}$	$X_{11}$
20	$X_{4,c}$	$X_{21}$



Convergence OU

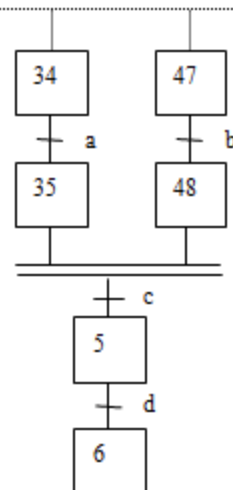
Etape	CAXi	CDXi
36	$X_{34,x}$	$X_5$
48	$X_{47,y}$	$X_5$
5	$X_{36,z} + X_{48,w}$	$X_6$

### Séquences parallèles



a. Divergence en ET

Etape	CAXi	CDXi
4	$X_{3,a}$	$X_{10} \cdot X_{20}$
10	$X_{4,b}$	$X_{11}$
20	$X_{4,b}$	$X_{21}$



b. Convergence en ET

Etape	CAXi	CDXi
35	$X_{34,a}$	$X_5$
48	$X_{47,b}$	$X_5$
5	$X_{35} \cdot X_{48,c}$	$X_6$

#### 2.11.1 Gestion des modes Marche/Arrêt et Arrêt d'Urgence

A l'état initial du GRAFCET, les étapes initiales sont activées par contre les autres étapes sont désactivées.

On introduit une variable Init telle que :

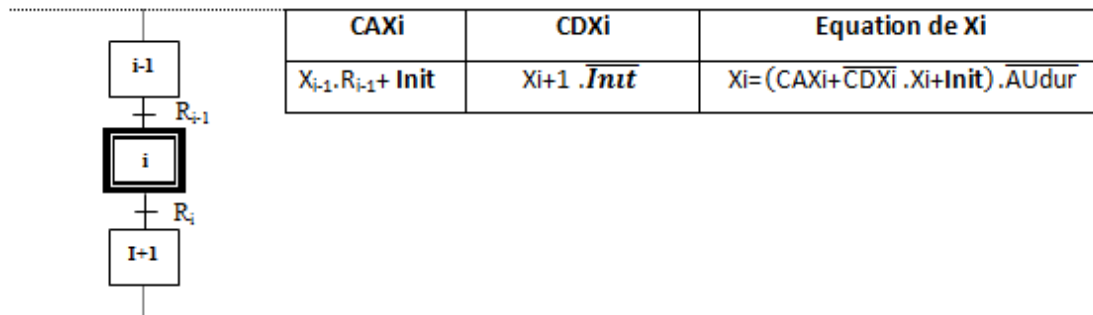
- Init=0 : Mode MARCHE (déroulement du cycle)
- Init= 1 : Mode ARRÊT (initialisation du grafcet)

On introduit deux variables d'Arrêt d'urgence AUdur (Arrêt d'Urgence dur) et AUdoux (Arrêt d'Urgence doux) telles que :

- AUdur= 1 : Désactivation de toutes les étapes.
- Audoux =1 : Désactivation des actions, les étapes restent actives !!

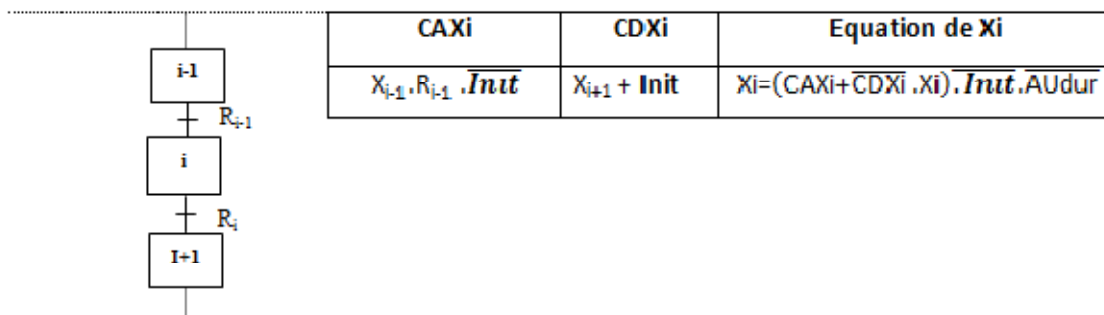
### 2.11.2 ETAPE initiale

L'équation d'une étape initiale devient alors :



### 2.11.3 ETAPE NON initiale

L'équation d'une étape NON initiale devient alors :



### 2.12 L'équation des actions :



### Cas d'un grafcet linéaire

Il suffit d'utiliser une bascule RS par étape. Une étape est activée si l'étape précédente est active et que la réceptivité d'entrée est vraie. Dans le cas d'un grafcet linéaire, on désactivera une étape quand la suivante est active.

Soit le grafcet de la figure 2.21:

On peut gérer de différentes manières l'étape initiale. Dans la plupart des cas, le plus simple est d'utiliser des bascules se mettant à 0 à la mise sous tension, et d'initialiser l'automatisme à l'aide d'un bouton qu'on notera "Init", qui peut également servir à réinitialiser le grafcet en cours de fonctionnement sans éteindre le système.

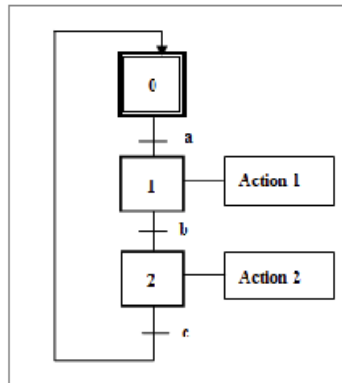


Figure 2.22. GRAFCET et sont diagramme échelle

L'étape 1 s'active si l'étape 0 est active et la réceptivité  $a$  est vraie  $\rightarrow SS1 = QQ_0.aa$ . Tout le temps qu'elle est active, la sortie Action1 est active (égale à 1). Elle est désactivée quand la réceptivité de sortie ( $b$ ) est vraie, mais il faut attendre que l'étape 2 soit active. Elle peut être également désactivée par Init.

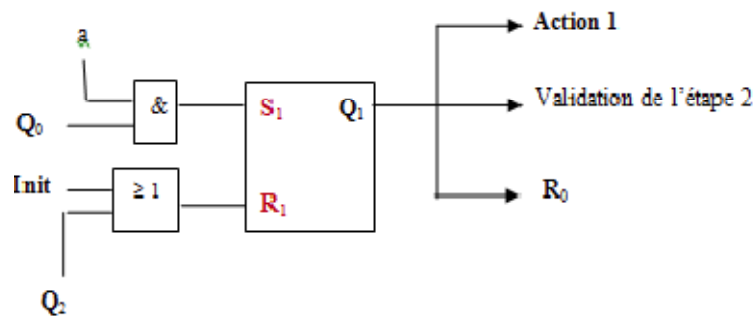
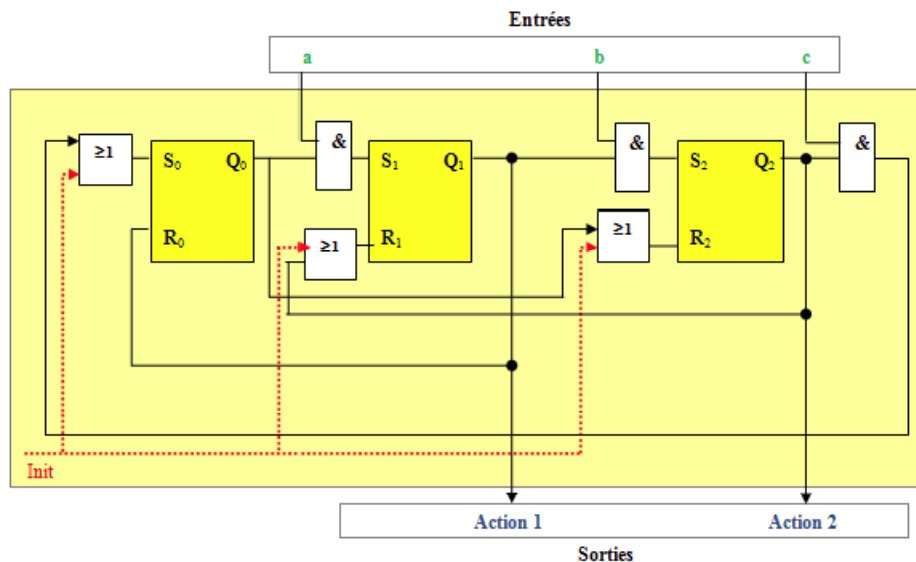


Figure 2.23. Matérialisation d'un GRAFCET par bascule RS

Il suffit de répéter cela pour chaque étape et relier le tout. Les équations logiques des commandes des bascules sont :

ACTIVATION	DESACTIVATION
$S_0 = Q_2 . c + Init$	$R_0 = Q_2$
$S_1 = Q_0 . a$	$R_1 = Q_2 + Init$
$S_2 = Q_1 . b$	$R_2 = Q_0 + Init$

Le schéma de câblage du système sera donc:



### Divergence simple en ET

Quand la transition est franchissable, il suffit d'activer deux étapes au lieu d'une. Le seul problème est la désactivation de l'étape précédente: il faut être sûr que les deux étapes suivantes ont eu le temps de prendre l'information d'activation avant de désactiver la précédente.

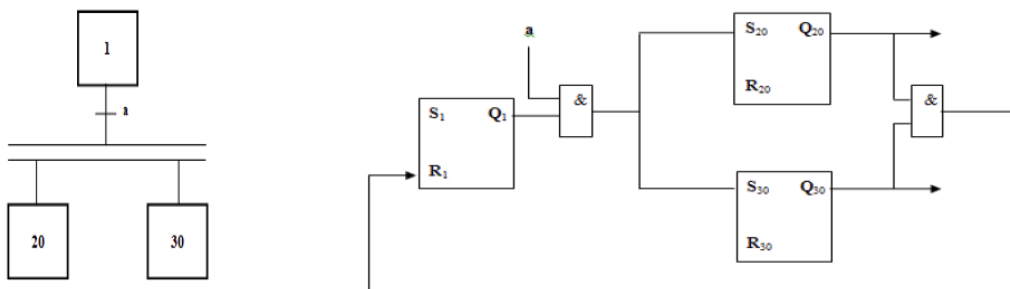


Figure 2.24. Matérialisation d'un divergence simple en ET par bascules RS

### Divergence en OU

Quand l'étape 1 est active et la réceptivité (a) ou (b) est vraie, l'étape 20 ou 30 devient active et l'étape 1 désactive. Il est possible que l'évolution devienne simultanée si les deux réceptivités sont vraies.

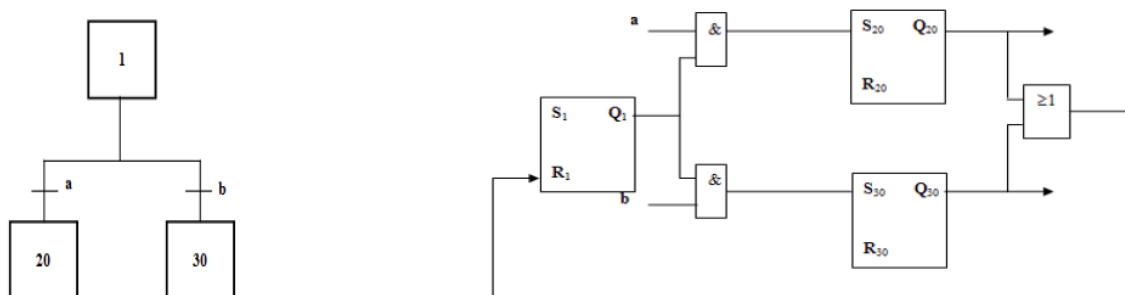


Figure 2.26. Matérialisation d'un convergence en et par bascules RS

### Convergence en OU

Quand l'étape 3 (ou 4) est active et la réceptivité (a) ou (b) est vraie alors l'étape 5 devient active et l'étape 3 ou 4 désactive.

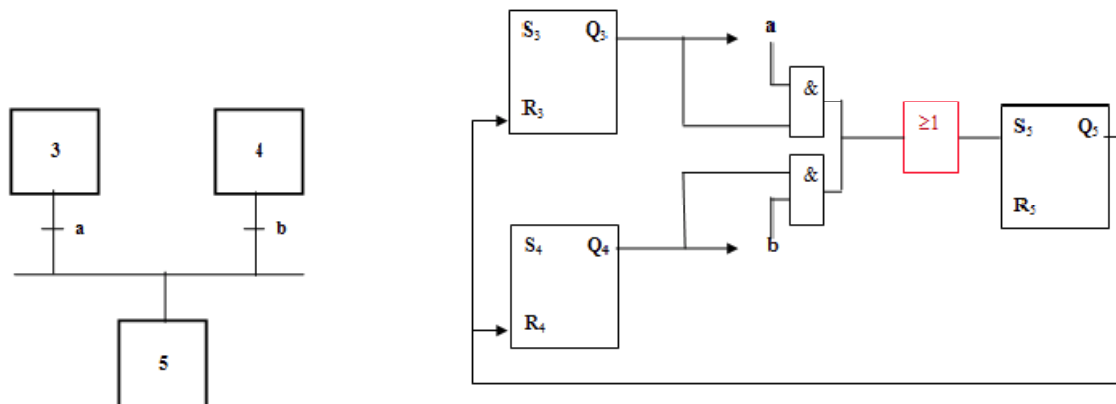


Figure 2.27. Matérialisation d'une convergence en OU par bascules RS

### Exemple de grafcet avec sélection de séquence

Un puisard sert à collecter les eaux de pluies, celles-ci s'infiltrant peu à peu dans le sol autour de la cavité du puisard. Pour éviter tout débordement d'eau en cas d'afflux trop important, on a placé deux pompes  $P_1$  et  $P_2$  et un détecteur de niveau comme indiqué sur la Figure 2.28. Le fonctionnement souhaité est le suivant :

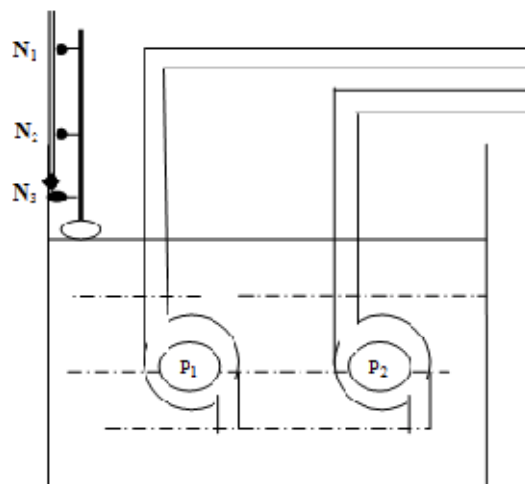


Figure 2.28. Système de deux pompes

La Figure 2.29, donne le grafcet correspondant à ce système :

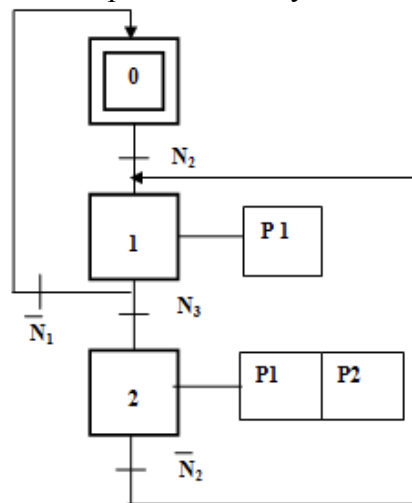
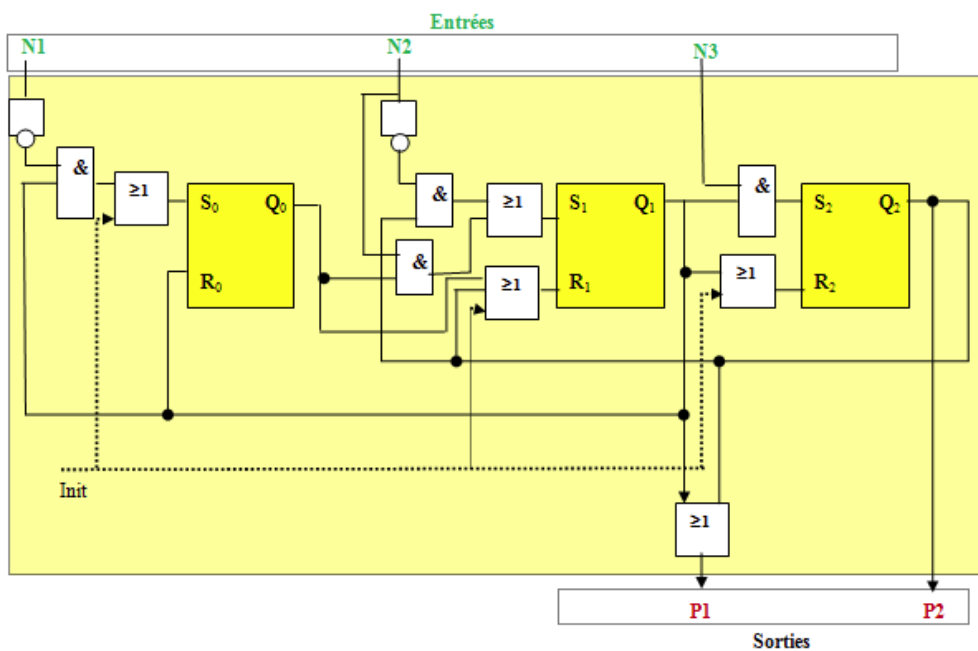


Figure 2.29. Grafcet correspondant à ce système de deux pompes

Équations logiques de commande des bascules :

ACTIVATION	DESACTIVATION N
$S_0 = Q_1 \cdot \overline{N_1} + Init$ $S_1 = Q_0 \cdot N_2 + Q_2 \cdot \overline{N_2}$ $S_2 = Q_2 \cdot N_3$	$R_0 = Q_1$ $R_1 = Q_0 + Q_2 + Init$ $R_2 = Q_1 + Init$



Les pompes P1 et P2 marchent à tour de rôle :

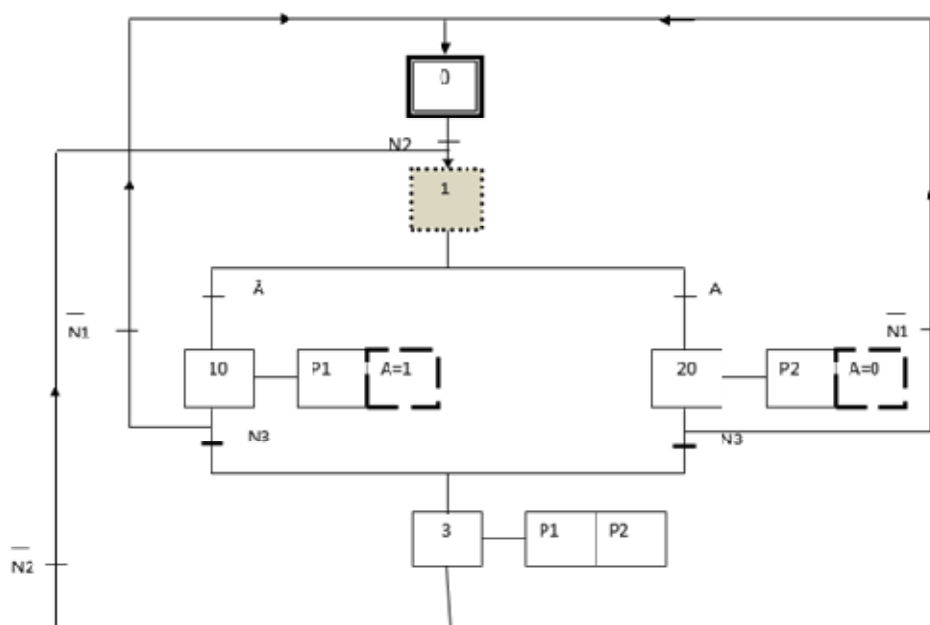


Figure 2.30. Grafcet correspondant à P1 et P2 marchent à tour de rôle