



Ministère de l'Enseignement Supérieur,
de la Recherche Scientifique et de la Technologie
Direction Générale des Etudes Technologiques
Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Djerba

Support de Cours
Systemes Automatisés

Public cible :

Génie Mécanique (GM)

Parcours : **L2GM**

Élaboré par :

Bacem JRAD

Version 2011-2012

Chapitre : 1

Introduction aux Systèmes Automatisés

I. Systèmes:

I.1- Fonction Globale d'un Système

La fonction globale de tout système (figure 1) est de conférer une valeur ajoutée, à un ensemble de matières d'œuvre dans un ou un contexte donné. De plus, un système de production est dit « industriel » si l'obtention de cette valeur ajoutée, pour un ensemble de matières d'œuvre donné, a un caractère reproductible et peut être exprimée et quantifiée en termes économiques.

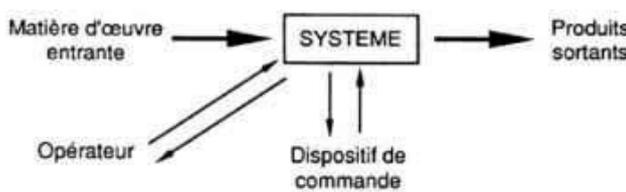


Figure1 : Système

I.2- Matières d'œuvre

Une matière d'œuvre peut se présenter sous plusieurs formes. Par exemple :

- Un PRODUIT, c'est à-dire de la matière, à l'état solide, liquide ou gazeux, et sous une forme plus ou moins transformée :
 - ✓ des objets techniques : roulement, moteur, véhicule, ...etc
 - ✓ des produits chimiques : pétrole, matière plastiques...etc
 - ✓ des produits textiles : fibre, tissu, vêtements...etc
 - ✓ des produits électroniques : transistor, puce, microprocesseur, automate programmable,...etc
- De l'ENERGIE
 - ✓ sous forme : électrique, thermique, hydraulique,...etc
 - ✓ qu'il faut : produire, stocker, transporter, convertir, utiliser,...
- De l'INFORMATION
 - ✓ sous forme écrite, physique, audiovisuelle,...etc
 - ✓ qu'il faut : produire, stocker, transporter, transmettre, communiquer, décoder, utiliser,...etc

I.3- Valeur ajoutée

La valeur ajoutée à ces matières d'œuvre est l'objectif global pour lequel a été défini, conçu, réalisé puis éventuellement modifié, le système. Cette valeur ajoutée peut résulter par exemple :

- Une MODIFICATION PHYSIQUE des matières d'œuvre :
 - ✓ traitement mécanique : usinage, broyage,..etc
 - ✓ traitement chimique ou biologique ;
 - ✓ conversion d'énergie ;
 - ✓ traitement thermique ;
- D'une MISE EN POSITION particulière, ou d'un TRANSFERT, de ces matières d'œuvre :
 - ✓ Manutention, transport, stockage ;
- D'un prélèvement D'INFORMATION sur ces matières d'œuvre :
 - ✓ contrôle, mesure, lecture,..etc

I.4- Contexte et valeur ajoutée

- La nature, la quantité et la qualité de la valeur ajoutée peuvent varier pour tenir compte de l'évolution des besoins de la société dans laquelle s'insère le système. Ce qui peut conduire à modifier le système, voire l'abandonner pour en construire un nouveau.
- L'environnement, c'est à-dire le CONTEXTE physique, social, économique, politique,...joue un rôle essentiel dans le fonctionnement du système et influe sur la qualité et/ou la quantité de la Valeur ajoutée.

I.5-Exemples de systèmes

Système	Matières d'œuvre		Valeur Ajoutée	Contexte
	Entrantes	Sortantes		
Entreprise de presse	informations	Revue, journaux...	Mise en forme, commentaire, diffusion	Public visé, lois sur la presse,
Centrale électrique	Energie : pétrole, charbon, gaz,...	Energie électrique	Conversion sous une forme plus aisément distribuable	Prix des matières premières, consommation,...
Usine d'assemblage (automobile, électronique)	Composants, pièces détachées	Constituants et équipements	assemblage	Consommation, prix, concurrence, sous-traitance, ...
Centre de soins (système de santé)	malades	Individuels soignés	Soins, bonne santé	Sécurité sociale, moyens et personnels de santé,

I.5- Système de production

Un système de production est un système à caractère industriel possédant les caractéristiques suivantes :

- ✓ L'obtention de la valeur ajoutée présente, pour un ensemble de matières d'œuvre donné, un caractère **reproductible**,
- ✓ La valeur ajoutée peut être exprimée et quantifiée en termes économiques

Un système de production répond au besoin d'élaborer des produits, de l'énergie ou de l'information à un coût rentable pour l'utilisateur du système.

L'élaboration progressive de la valeur ajoutée sur les matières d'œuvre est obtenue :

- ✓ au moyen d'un ensemble d'éléments ou de dispositifs opératifs, appelés partie opérative et plus ou moins mécanisés,
- ✓ par l'action, à certains moments, d'opérateurs humains et/ou de dispositifs de commande pour assurer la coordination des dispositifs opératifs.

Tout système de production possède une structure semblable au schéma ci-dessous :

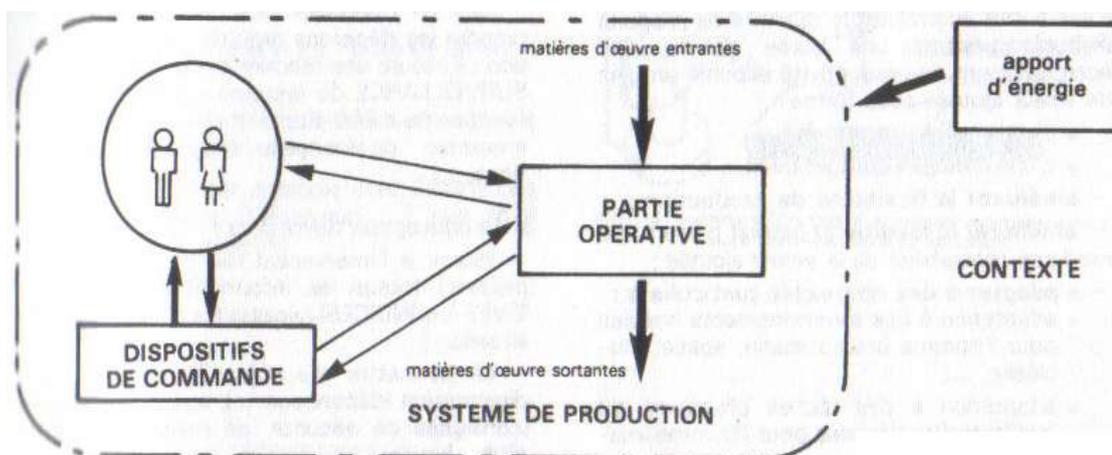


Figure2 : Système de production

II. Systèmes et production automatisée

II.1- Automatisation

L'automatisation de la production consiste à transférer tout ou partie des tâches de coordination, auparavant exécutées par des opérateurs humains, dans un ensemble d'objets techniques appelé PARTIE COMMANDE.

La partie commande mémorise le savoir faire des opérateurs pour obtenir la suite des actions à effectuer sur les matières d'œuvre afin d'élaborer la valeur ajoutée.

Elle exploite un ensemble d'informations prélevées sur la Partie Opérative pour élaborer la succession des ordres nécessaires pour obtenir les actions souhaitées.

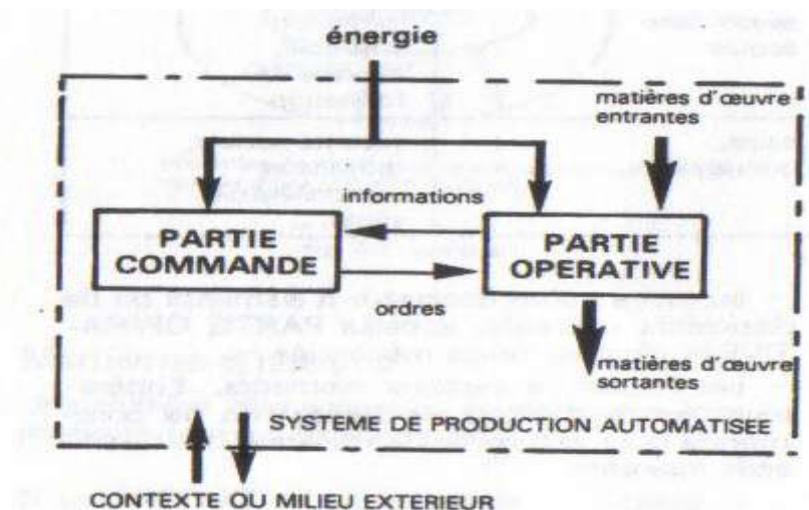


Figure3 : Système de production automatisée

II.2- Objectifs de l'automatisation

L'automatisation permet d'apporter des éléments supplémentaires à la valeur ajoutée par le système.

Ces éléments sont exprimables en termes objectifs par :

- ✓ accroître la productivité du système c'est-à-dire augmenté la quantité de produits élaborés pendant une durée donnée. Cet accroissement de productivité exprime un gain de valeur ajoutée sous forme :
 - d'une meilleure rentabilité,
 - d'une meilleur compétitivité,...etc
- ✓ améliorer la flexibilité de production ;
- ✓ améliorer la qualité du produit grâce à une meilleure répétabilité de la valeur ajoutée ;
- ✓ s'adapter à des contextes particuliers
 - adaptation à des environnements hostiles pour l'homme (milieu marin, spatial, nucléaire,...etc),
 - adaptation à des tâches physiques ou intellectuelles pénibles pour l'homme.
- ✓ Augmenter la sécurité, etc...

D'autres objectifs, à caractères sociaux, financiers,... peuvent s'ajouter à ceux-ci.

II.3- Conduite et surveillance d'un système automatisé

Il s'avère très difficile en pratique d'intégrer dans une Partie de Commande la totalité des savoir-faire humains de sorte que l'automatisation reste souvent partielle : certaines tâches restent confiées à des intervenants humains.

A ces causes « techniques » viennent s'ajouter des considérations économiques de compétitivité des considérations financières imposant un fractionnement des investissements, considérations sociales d'automatisation « douce »

Certaines tâches restent donc manuelles et l'automatisation devra donc prendre en compte la spécificité du travail humain, c'est-à-dire en particulier :

- assurer le dialogue entre les intervenant le système automatisé ;
- assurer la sécurité de ces intervenants d l'exécution de leurs tâches manuelles ;

En outre le modèle de fonctionnement la Partie Commande, choisi par le concepteur du système, ne correspond qu'à un ensemble de situations prévues, c'est-à-dire retenues par le concepteur parmi un ensemble situations possibles.

Or il est impératif de pouvoir faire face à des situations non prévues (donc non retenues en général pour des raisons économiques compte tenu de leur faible probabilité) voir imprévisible.

Seul un opérateur peut alors intervenir prendre les décisions requises par cette situation : il assure une fonction de conduite et surveillance du système automatisé. Cette fonction peut être plus ou moins assistée par ensemble de moyens (pupitres, informatique,...).

Le concepteur devra alors :

- fournir à l'intervenant (ou lui permettre prélever) toutes les informations significatives (ou indices) nécessaires à l'analyse de la situation ;
- lui permettre d'agir sur le système, soit directement (dépannage,...), soit indirectement (consignes de sécurité, de marches et d'arrêts,...).

II.4- Structure d'un système automatisé

Tout système automatisé comporte :

- une Partie Opérative (P.O.) procédant au traitement des matières d'œuvre afin d'élaborer la valeur ajoutée ;
- une Partie Commande (P.C.) coordonnant la succession des actions sur la P.O. avec la finalité d'obtenir cette valeur ajoutée.

Cette partie de commande élabore les ordres transmis aux actionneurs à partir des informations fournies par la machine au moyen d'interrupteurs de position, thermostats et autres dispositifs appelés capteurs.

La partie commande reçoit également des informations transmises par un opérateur en fonctionnement normal, ou un dépanneur en cas de réglage ou de mauvais fonctionnement de la partie commande ou de la partie opérative.

Entre la partie commande et l'homme se trouve la partie dialogue qui permet à ce dernier de transmettre des informations au moyen de dispositifs adaptés (boutons poussoirs, commutateurs...etc)

Le système automatisé est en interaction avec le contexte physique et humain extérieur au système.

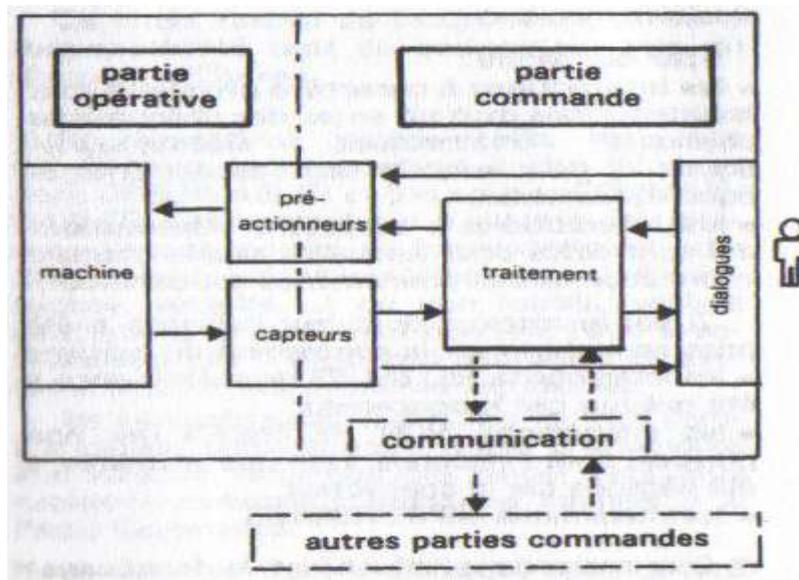


Figure 4: Structure d'un système automatisé

Analyse de la partie opérative :

La partie opérative se compose de trois ensembles :

- L'unité de production dont la fonction est de réaliser la fabrication ou la transformation pour laquelle elle remplit un rôle dans le processus industriel.
- Les actionneurs qui apportent à l'unité de production l'énergie nécessaire à son fonctionnement à partir d'une source d'énergie extérieure (cas d'un moteur par exemple). Ces actionneurs peuvent aussi prélever de l'énergie sur l'unité de production pour la retourner vers un récepteur d'énergie extérieure (cas d'un frein, par exemple).
- Les capteurs qui créent, à partir d'informations de natures divers (déplacement, température...etc), des informations utilisables par la partie commande (ouverture ou fermeture d'un circuit électrique, par exemple)

Analyse de la partie commande :

La partie commande se compose de quatre ensembles :

- Les interfaces d'entrée qui transforment les informations issues des capteurs placés sur la partie opérative ou dans la partie dialogue en informations de nature et d'amplitude compatible avec les caractéristiques technologiques de l'automate.
- Les interfaces de sortie qui transforment les informations élaborées par l'unité de traitement en informations de nature et d'amplitude compatibles avec les caractéristiques technologiques des préactionneurs d'une part, des visualisations et avertisseurs d'autre part ;
- Les préactionneurs qui sont directement dépendants des actionneurs et sont nécessaires à leur fonctionnement (distributeur pour un verin...etc)
- L'unité de traitement qui élabore les ordres destinés aux actionneurs en fonction des informations reçues des différents capteurs et du fonctionnement à réaliser.

Analyse de la partie dialogue :

La partie dialogue se compose de deux ensembles :

- Les visualisations et avertisseurs qui transforment les informations fournies par l'automate en informations perceptibles par l'homme (informations optiques ou sonores) ;
- Les capteurs qui transforment les informations fournies par l'homme (action manuelle sur un bouton-poussoir, par exemple) et informations exploitables par l'automate.

II.5- Frontière d'un système automatisé

Pour effectuer l'étude d'un système automatisé, ou d'un sous-ensemble du système (une unité de fabrication par exemple) il est nécessaire de délimiter ce système, c'est-à-dire de définir une frontière d'isolement entre :

- d'une part, le système (ou l'unité de production) étudié ;
- d'autre part, le milieu extérieur, c'est-à-dire le contexte du système isolé.

Nous dirons, par analogie avec l'étude des parties opératives (mécanique, ...), que nous avons isolé le système.

Le choix de la frontière d'isolement, bien qu'arbitraire, doit rester fonctionnel vis-à-vis de l'obtention de la valeur ajoutée.

Le système isolé peut alors être étudié spécifiquement, à condition d'avoir défini précisément ses interactions avec le milieu extérieur.

Le choix de cette frontière d'isolement système-milieu extérieur permet d'appliquer le concept de système automatisé :

- soit à une machine ou à une machine isolée d'un ensemble de machines d'une unité de production automatisée (machine à embouteiller ou machine à embouteiller isolée d'une chaîne de conditionnement automatisée) ;
- soit à une unité de production indépendante (chaîne d'usinage d'une pièce détachée chez un sous-traitant de l'industrie automobile) ou à une unité de production isolée d'un atelier de production automatisée (chaîne d'usinage de carter moteur dans un atelier automatisé de fabrication-assemblage de moteurs électriques);

- soit à un atelier de production automatisée indépendant ou isolé d'une usine ;
- soit à une usine de production automatisée
- soit à un groupe d'usines. ... ;

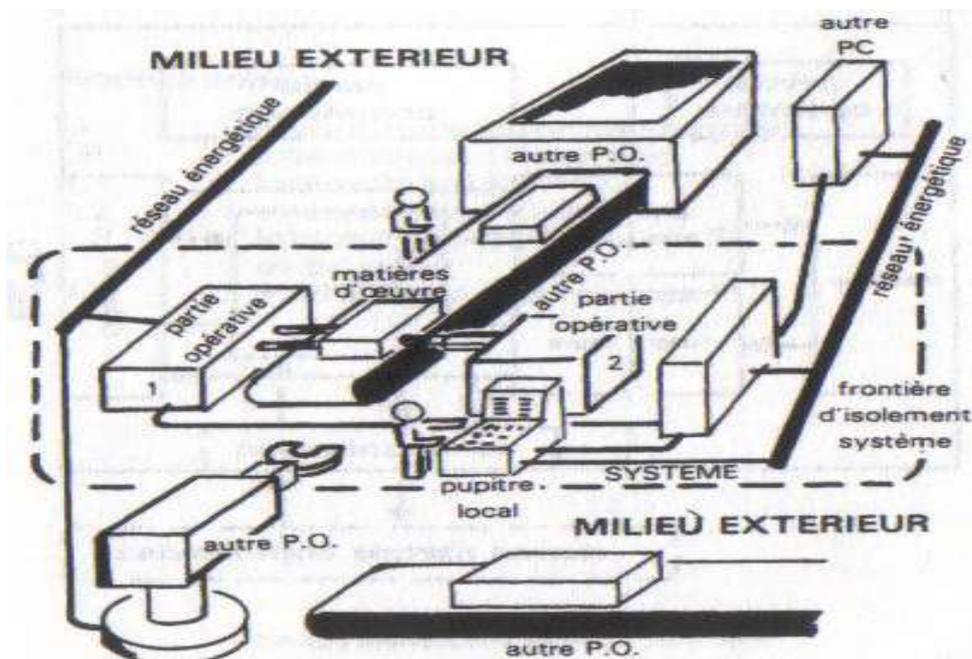


Figure 5: exemple d'isolement d'un système automatisé (une unité d'usinage) dans une chaîne de fabrication

III.- Exemples de systèmes automatisés didactiques.

III.1- Gestion de Trafic

La maquette gestion de trafic est constituée de:

- une partie opérative : les feux de carrefour à gérer en fonction du jour et de la nuit, des appels piétons, des choix prioritaires, etc.,.



- une partie commande comportant un automate Télémécanique TSX Nano monté et câblé sur support plastique.
- un terminal de réglage et de programmation en langage booléen TFTX117.
- câbles de raccordement.

III.2- Porte automatique

La porte automatique est constituée de :

- Partie opérative : porte basculante mettant en œuvre toutes les sécurités de fonctionnement imposées par les normes en vigueur. L'entraînement de la partie mobile est réalisé par chaîne et pignons, avec guidages par rails et galets à billes.
- Partie commande : le fonctionnement de la porte est assuré par un coffret électrique industriel intégrant les éléments de protection ainsi que l' automate programmable TSX qui assure le contrôle des mouvements et des sécurités, le dialogue d'accès par clavier et toutes les signalisations nécessaires. L'automate programmable, installé à l'intérieur du coffret électrique, est raccordé à l'équipement par l'intermédiaire de connecteurs débrochables



III.3- Bras manipulateur

Le bras manipulateur est constitué de :

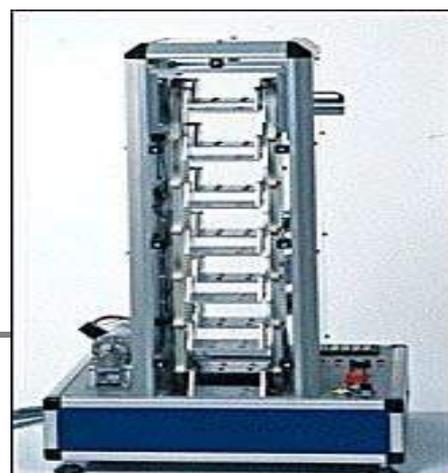
- une partie opérative : bras manipulateur avec pince, presse de matriçage, interfaces électro-pneumatiques, boîtier de commande
- une partie commande en TSX Nano. L'automate programmable est monté et câblé sur un support équipé de connecteurs pour un raccordement simple et rapide de la partie opérative.



III.4- Magasin vertical

Le magasin vertical est constitué de :

- une partie opérative : constituée d'un ensemble de 15 nacelles oscillantes, entraînées par un moteur à courant continu avec réducteur
- une partie commande constituée d'un coffret électrique industriel comportant les alimentations et les protections électriques ainsi





que l'automate programmable TSX Micro et un connecteur type SubD15 permettant la liaison vers un système externe de contrôle de vitesse et position.

Chapitre : 2

GRAF CET : outil de description automatismes séquentiels

I- Introduction

La présentation du GRAFCET en tant qu'outil de description des automatismes industriels, permet de traiter la majorité des problèmes rencontrés lors de la spécification, la conception et la réalisation d'une partie commande d'un automate industriel (Système Automatisé de Production : SAP)

Cependant, afin de préciser le fonctionnement « aux limites » de l'outil GRAFCET, le modèle temporel associé a été défini. Il assure le déterminisme de la description

II. Généralités. Définitions

II.1) Le GRAFCET, outil de description de la partie commande

Il existe depuis fort longtemps des outils de représentation graphiques pour la partie opérative, tel le dessin industriel, dont la représentation normalisée est soumise à des règles précises évitant toute interprétation erronée.

Il manquait un outil équivalent pour définir les parties commande : c'est le rôle qui est imparti au GRAFCET (graphe fonctionnel de commande étapes-transitions), objet de la norme française NF C 03-190 depuis juin 1982.

En effet, les différents travaux effectués ces dernières années par l'AF CET et l'ADEPA dans le domaine des automatismes industriels ont conduit à une représentation graphique des spécifications fonctionnelles d'un cahier des charges, dont la formulation est indépendante de toute technologie de réalisation, que celle-ci soit câblée ou programmée.

AF CET : Association française pour la cybernétique économique et technique. ADEPA : Agence pour le développement de la productique appliquée.

Cette nouvelle représentation, le GRAFCET, est fondée sur les notions d'étapes, de transitions et de réceptivités qui simplifient la synthèse d'un automate en tenant compte du fait que, parmi le grand nombre d'informations présentes à un instant donné, peu sont significatives. Le GRAFCET permet de visualiser de façon particulièrement claire toutes les évolutions du système.

De plus, plusieurs niveaux hiérarchisés de description permettent, à partir de macro-représentations de haut niveau indépendantes de la technologie, d'accéder à différents niveaux de plus en plus détaillés, jusqu'au niveau le plus fin où tous les ordres et toutes les informations élémentaires sont décrits.

Cette méthode de description descendante, particulièrement concise, rend la communication homme-machine très efficace, permettant entre autres, à l'opérateur de déceler et de remédier, le cas échéant, à une anomalie de fonctionnement.

II.2) Définition du modèle graphique

Le GRAFCET est un modèle de représentation graphique des comportements dynamiques de la partie commande.

Le GRAFCET décrit les interactions entre la partie commande et la partie opérative à partir de la frontière d'isolement. Il établit une relation entre (figure 6) :

- les entrées, correspondant aux transferts d'informations de la partie opérative vers la partie commande ;
- les sorties, correspondant aux ordres transmis de la partie commande vers la partie opérative.

Le GRAFCET est défini par :

- un ensemble d'éléments graphiques de base :
 - les étapes,
 - les transitions,
 - les liaisons orientées reliant les étapes aux transitions et les transitions aux étapes ;
- une interprétation, traduisant le comportement de la partie commande vis-à-vis de ses entrées et de ses sorties, caractérisée par :
 - les actions associées aux étapes,
 - les réceptivités associées aux transitions ;
- des règles d'évolution définissant formellement le comportement dynamique de la partie commande ainsi décrite.

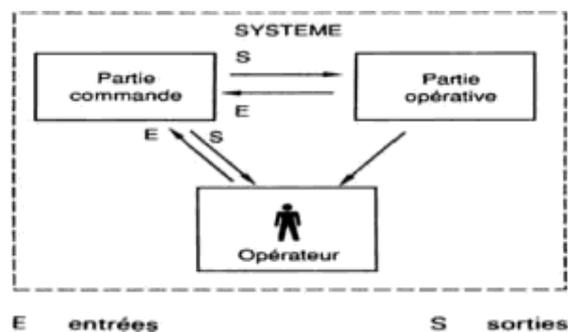


Figure 6 : Entrées-sorties de la partie commande

II.2.1) Étape

Une étape caractérise un comportement invariant d'une partie ou de la totalité de la partie commande à un instant donné ; suivant l'évolution du système :

- une étape est soit **active**, soit **inactive** ;
- l'ensemble des étapes actives définit la *situation* de la partie commande.

Une ou plusieurs **actions** élémentaires ou complexes peuvent être associées à une étape afin de traduire « ce qui doit être fait » chaque fois que cette étape est active.

II.2.2) Transition

Une transition indique la possibilité d'évolution entre étapes. Chaque transition représente une, et une seule, possibilité d'évolution.

Une transition est dite validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes reliées à cette transition sont actives.

II.2.3) Réceptivité

À chaque transition est associée une proposition logique appelée réceptivité qui regroupe, parmi toutes les informations disponibles, uniquement celles qui sont susceptibles, à un instant donné, de faire évoluer la situation de la partie commande

II.2.4) Liaisons

Les liaisons orientées relient les étapes aux transitions et les transitions aux étapes : elles indiquent les voies d'évolution du GRAFCET

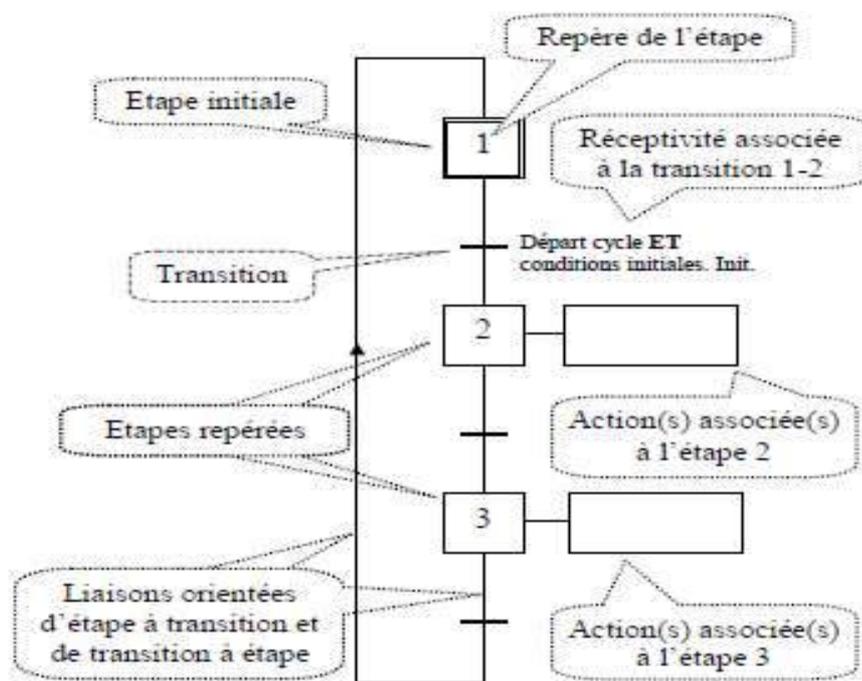


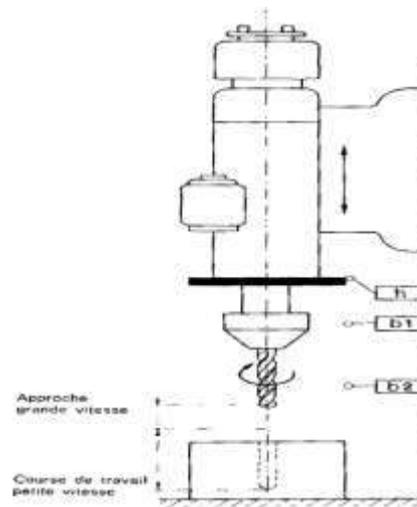
Figure 7: Symbolisation du Grafcet

III. Exemples :

III.1) Commande de perceuse

III.1.1) Description

La perceuse se compose d'un bâti fixe et d'une console mobile par rapport au bâti. La console supporte la broche et le moteur d'entraînement.



Les pièces à percer sont approvisionnées et fixées manuellement sur un montage solidaire du bâti.

III.1.2) Cycle de fonctionnement

La broche tourne en permanence.

L'opérateur ayant fixé la pièce donne alors l'information de départ du cycle :

Après une approche en grande vitesse le perçage s'effectue en petite vitesse.

Dès le perçage terminé, la broche remonte en grande vitesse jusqu'à la position haute.

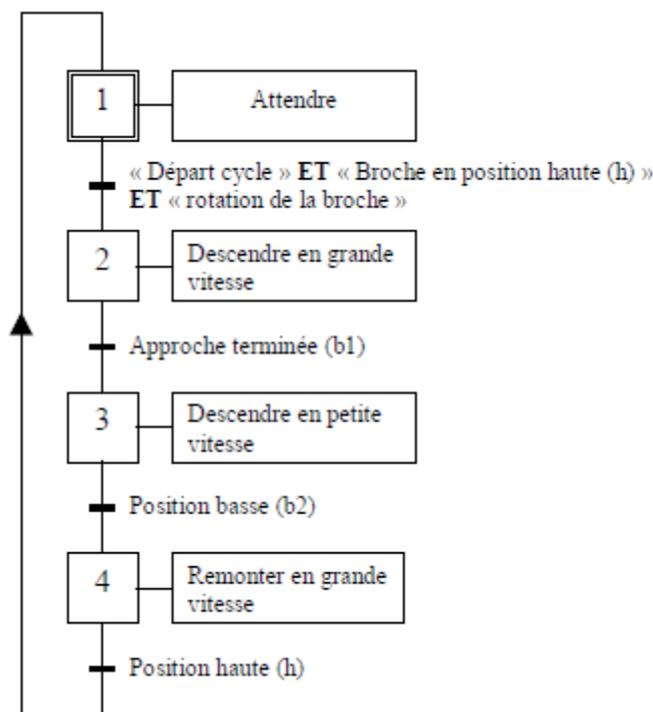


Figure 8: Grafcet fonctionnel « Commande de perceuse »

III.1.3) Niveau technologique

Supposons que la technologie qui sera mise en place dans cet automatisme
 Soit une technologie pneumatique : la montée et la descente de la poinçonneuse
 sont réalisées par un vérin double effet :

L'arrivée d'air en **A+** provoque la sortie du vérin et donc la descente de la poinçonneuse. Inversement, l'arrivée d'air en **A-** provoque la rentrée du vérin et donc la remontée de la poinçonneuse.

n prenant en compte les actions et les capteurs suivants :

- m : ordre de « marche »
- h : capteur de position haute
- b : capteur de position basse
- A+ : Descente du vérin
- A- : Remontée du vérin

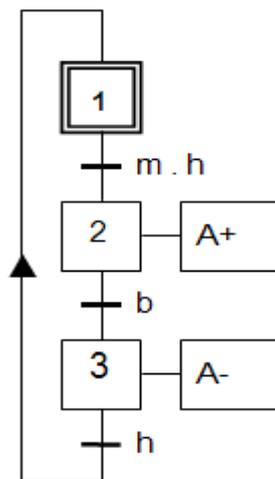
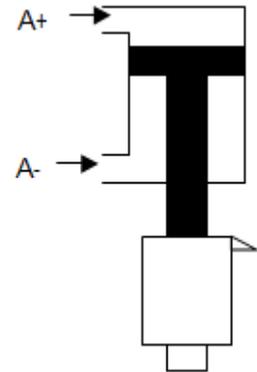


Figure 9: Grafcet opérationnel « Commande de perceuse »

Supposons maintenant que la descente de la poinçonneuse soit réalisée par un vérin simple effet par l'envoi d'air en A+,
 et que la remontée soit provoquée par un ressort de rappel en l'absence d'air en A+:

Le GRAFCET technologique devient alors :

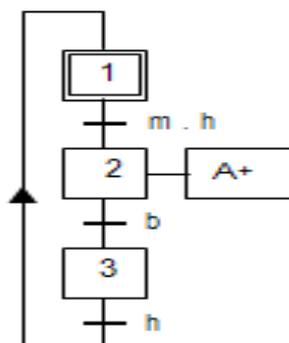


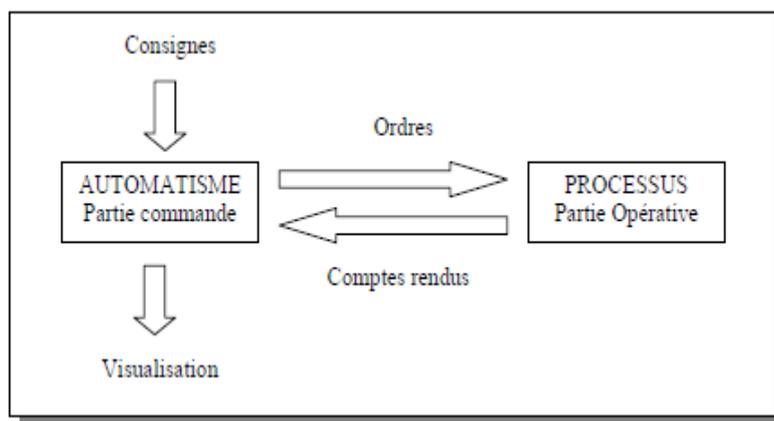
Figure 10: Grafcet opérationnel « Commande de perceuse »

L'étape 3 ne possède plus d'action associée, car c'est le ressort qui joue son rôle de rappel.

III.2) Partie Opérative (PO) æ Partie Commande (PC)

Un système à automatiser se décompose, de manière générale, en deux parties qui coopèrent :

- PO : Partie Opérative (ou partie puissance) :
 - ✓ Processus physique à automatiser
- PC : Partie Commande (automate) :
 - ✓ Automatisation qui élabore :
- en sortie :
 - des ordres destinés au processus,
 - des signaux de visualisation provenant du processus en entrée :
- en entrée
 - des consignes reçues
 - des comptes rendus



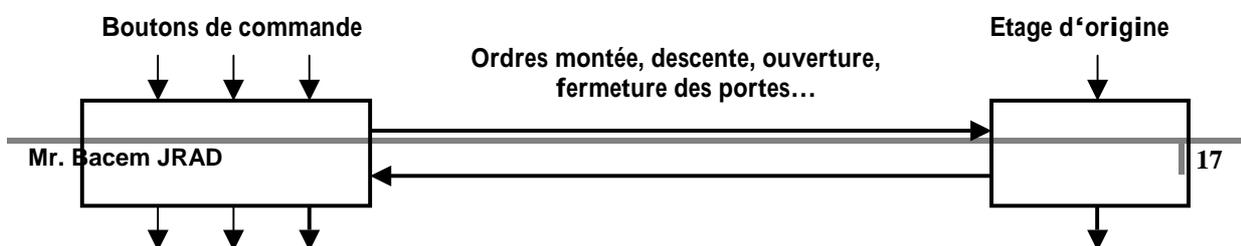
On se limite aux automatismes logiques pour lesquels les informations traitées présentent un caractère « tout ou rien »

Définition :

Le cahier des charge d'un automate est la description de son comportement en fonction de l'évolution de son environnement

III.3) Exemple de PO-PC pour un ascenseur:

- l'ensemble électromécanique (cabine, moteur, portes) : Partie opérative,
- les boutons d'appel, la logique et les armoires d'appareillages : Partie commande





**Partie
Commande**

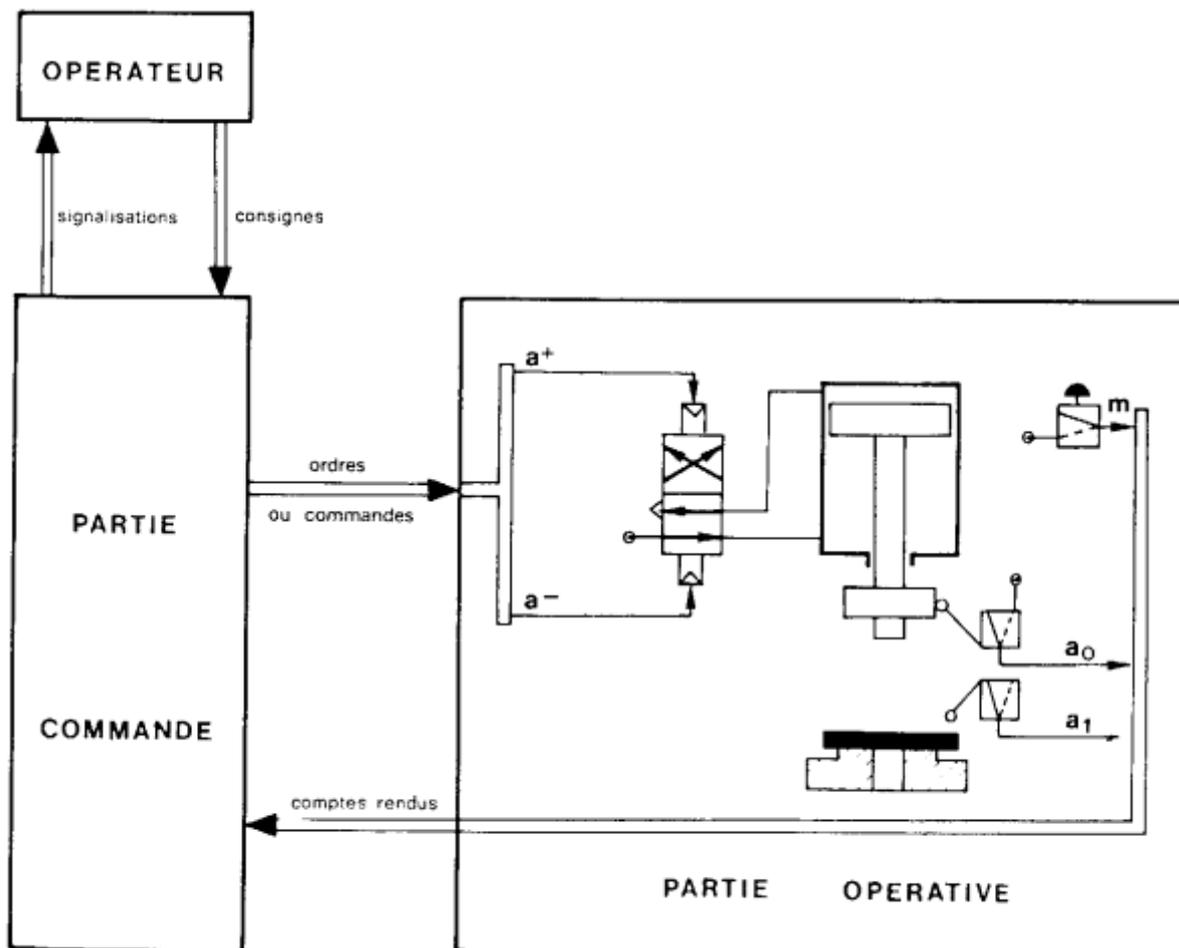
**Partie
Opérative**

Position, masse...

**Alarme, surcharge,
voyant occupé...**

Etage de destination

III.4) Exemple PO-PC pour la poinçonneuse :



Chapitre : 3

GRAFCET : Conventions-Règles

I- Introduction

Le grafcet est un outil de description du cahier des charges d'un automatisme. Le fonctionnement d'un système automatique peut être représenté graphiquement par un ensemble de :

- Etapes auxquelles sont associées des actions,
- Transitions auxquelles sont associées des réceptivités,
- Liaisons orientées des étapes aux transitions et des transitions aux étapes.

II- Conventions

II.1) Etape

L'étape correspond à une situation élémentaire ayant un comportement stable : pendant une étape, les organes de commande et les capteurs ne changent pas d'état.

L'étape se représente par un carré repéré par un nombre, placé de préférence dans la moitié supérieure.



Etape



Etape active



Etape initiale

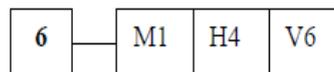
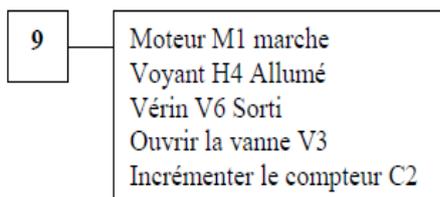
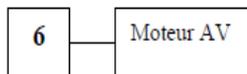
Remarque : Il est commode de montrer les étapes actives à un instant bien précis en plaçant un point dans la partie inférieure des symboles correspondants.

II.2) Actions associées à l'étape

On précise pour chaque étape les actions à effectuer et leur enchaînement lorsque l'étape est active.

Les actions à effectuer sont décrites de façon littérale ou symbolique, à l'intérieur d'un ou plusieurs rectangles de dimension quelconque reliés à la partie droite de l'étape.

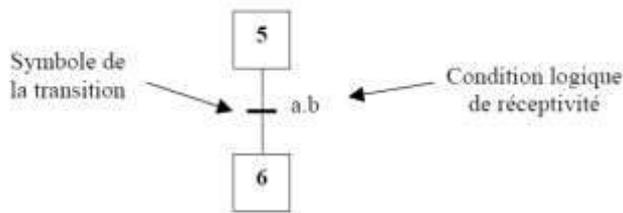
Les actions peuvent être de nature diverse :



II.2) Transitions

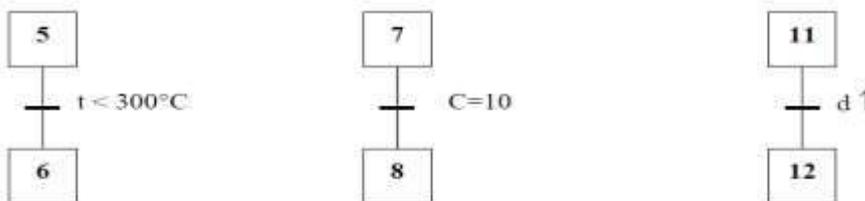
Les transitions indiquent les possibilités d'évolution d'une étape à l'étape suivante.

A chaque transition, on associe une condition logique qui traduit la notion de réceptivité.

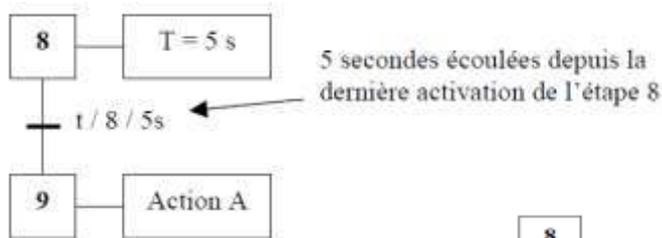


La réceptivité est une fonction combinatoire d'informations telle que :

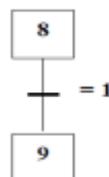
- états des capteurs,
- action de bouton poussoir par l'opérateur,
- action d'un temporisateur, d'un compteur,
- état actif ou inactif d'autre étape.



Remarque 1 : Pour faire intervenir le temps dans une réceptivité, on utilise la notation suivante :



Remarque 2 : Une réceptivité toujours vraie est écrite : = 1



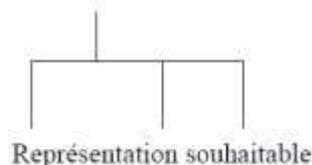
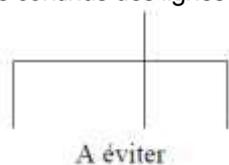
II. 3) Liaisons orientées

Les liaisons indiquent les voies d'évolution du grafcet.

Elles sont horizontales ou verticales.

Dans le cas général, les liaisons qui se font du haut vers le bas ne comportent pas de flèches. Ce sens est implicite.

Dans les autres cas, il faut utiliser les flèches. De plus, pour éviter toute ambiguïté, il est préférable d'éviter les croisements continus des lignes de liaison.



III- Règles d'évolution

Les concepts précédents doivent être complétés de règles formelles pour définir le comportement dynamique lors de l'évolution d'une situation à la suivante. Ces règles d'évolution, au nombre de 5, complètent la définition du modèle graphique interprété qu'est le GRAFCET.

III.1) Règle 1 : situation initiale

La SITUATION INITIALE du GRAFCET caractérise le comportement initial de la Partie Commande vis-à-vis de sa Partie Opérative et correspond aux étapes actives au début du fonctionnement de la Partie Commande.

Les étapes initiales sont repérées sur le GRAFCET en doublant les côtés des symboles d'étapes correspondants.

La situation initiale peut :

- soit n'être obtenue qu'une seule fois, lors de l'INITIALISATION de la Partie Commande ;
- soit correspondre à une situation cyclique. Elle correspond alors le plus souvent à un comportement de repos vis-à-vis de la P.O.

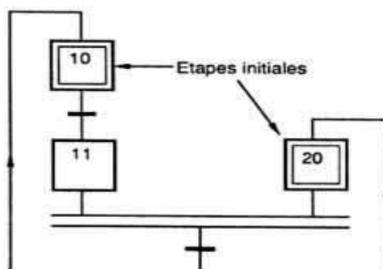


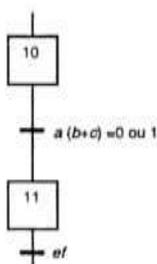
Figure – Étapes initiales

L'INITIALISATION de la P.C. correspond au passage d'une situation où aucune étape n'est active à une situation où au moins une étape est active.

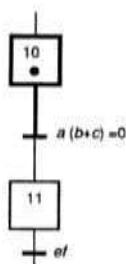
III.2) Règle 2 : Franchissement d'une transition

L'évolution de la situation du GRAFCET s'accomplit par le franchissement d'une transition, ce qui ne peut se produire :

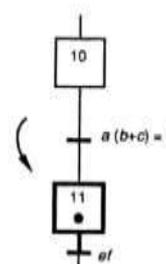
- que lorsque cette transition est validée ;
- et que lorsque la réceptivité associée à cette transition est vraie.



a) transition non validée : la transition 10-11 est non validée, l'étape 10 étant inactive



b) transition validée : la transition 10-11 est validée, l'étape 10 étant active, mais ne peut être franchie car la réceptivité $a (b + c)$ est égale à 0



c) transition franchie : la transition 10-11 est franchie car la réceptivité $a (b + c)$ est égale à 1

Figure – Validation et franchissement d'une transition entre deux étapes

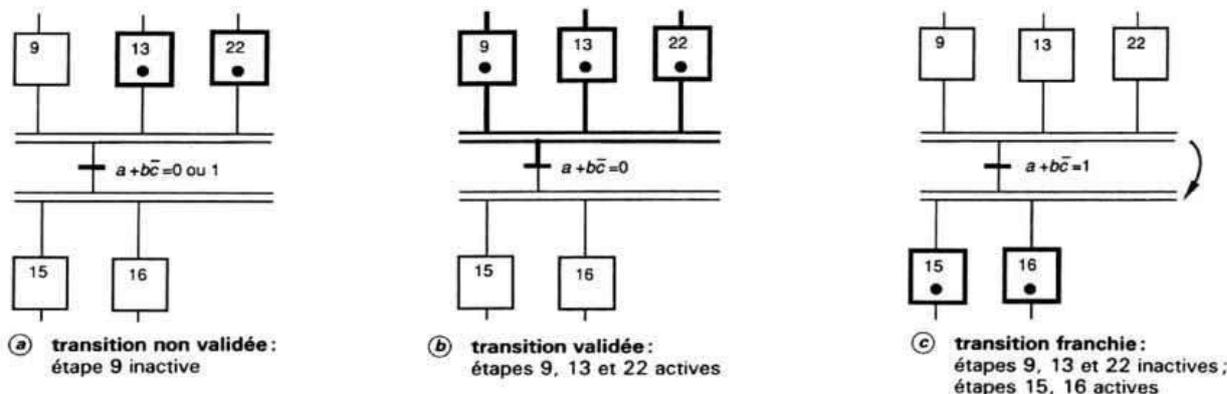
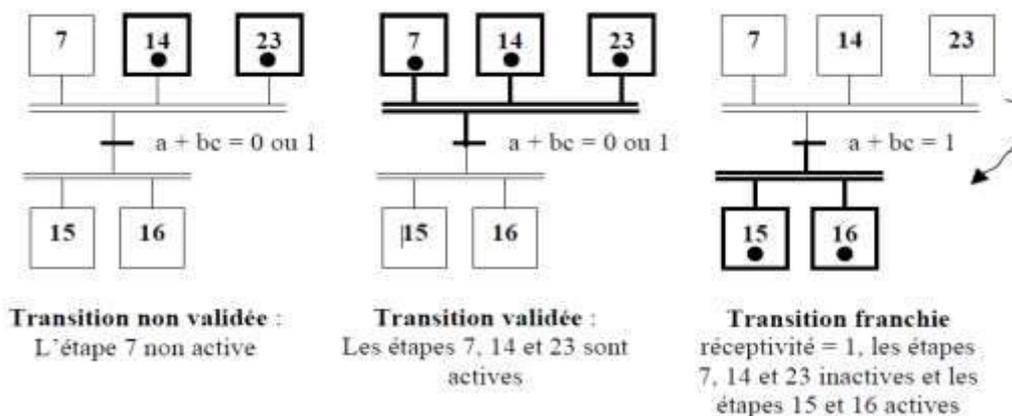


Figure – Validation et franchissement d'une transition entre plusieurs étapes

III.3) Règle 3 : Évolution des étapes actives

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



III.4) Règle 4 : Évolutions simultanées

Toutes les transitions franchissables sont simultanément franchies

Cette règle de franchissement simultané permet de décomposer un GRAFCET en plusieurs parties, tout en assurant de façon rigoureuse leurs interconnexions.

Dans ce cas, il est indispensable de faire intervenir, dans les réceptivités, les états actifs ou inactifs des étapes i notés X_i et \bar{X}_i respectivement.

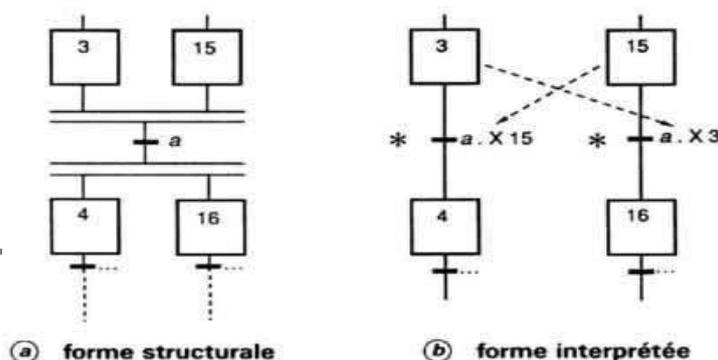


Figure Évolutions simultanées

III.5) Règle 5 : Activation et désactivation simultanées

Si, au cours du fonctionnement de l'automatisme, une même étape est en même temps désactivée et activée, elle reste active.

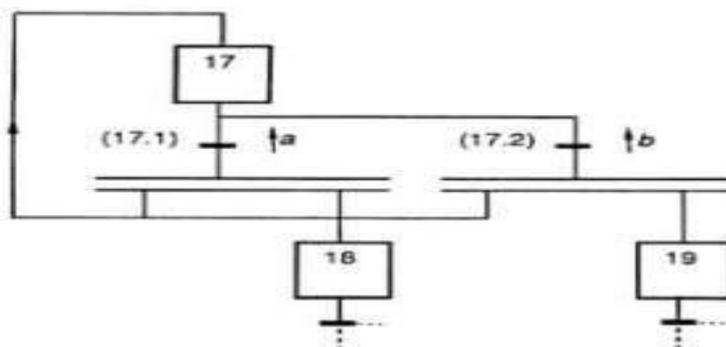


Figure – Activation et désactivation simultanées d'une étape

A l'apparition de l'information **a** (17.1) la transition est franchie.

Désactivant et activant en même temps l'étape **17**, cette étape restera active, permettant une autre évolution par l'apparition de **b** par exemple.

En raison de cette structure, les deux transitions issues de l'étape **17** seront toujours validées.

La notation $\uparrow a$ représente le front montant de la variable **a**.

Remarques :

La durée de franchissement d'une transition ne peut jamais être rigoureusement nulle, même si théoriquement (règles 3 et 4), elle peut être rendue aussi petite que l'on veut. Il en est de même de la durée de l'activation d'une étape. La 5^{ème} règle se rencontre rarement dans la pratique.

Pour franchir une transition, il faut que :

- les étapes immédiatement précédentes soient actives,
- Et que la réceptivité associée à la transition soit vraie

Le franchissement d'une transition entraîne :

- l'activation des étapes immédiatement suivantes,
- Et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.

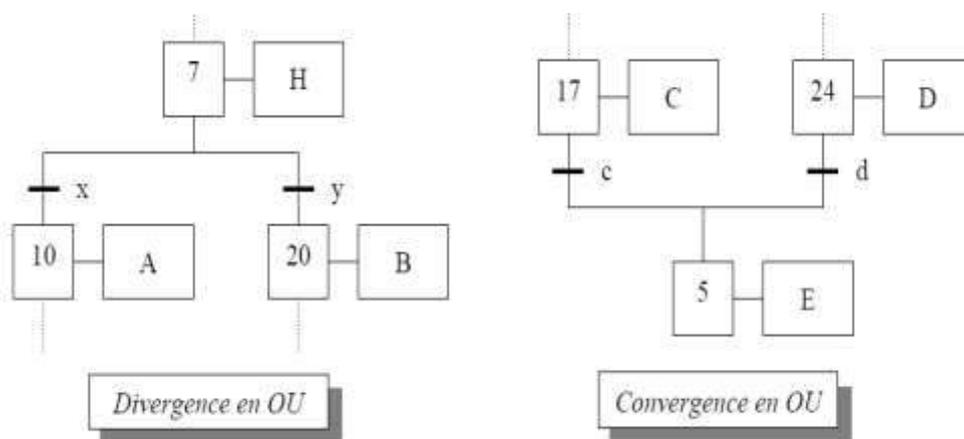
Chapitre : 4

GRAFCET : Sélection d'une séquence (aiguillage)

I- Introduction

Un automate est représenté par un Grafcet à sélection d'une séquence (aiguillage) lorsque cet automate possède plusieurs cycles de fonctionnement. Ces cycles sont sélectionnés par des informations fournies, soit par l'opérateur (commutateur, claviers...), soit par la machine elle-même (capteurs de position, détecteur...)

II- Symbolisation d'un aiguillage en OU

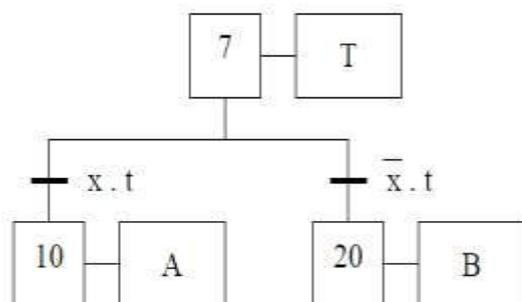


Remarque :

Il est toujours nécessaire pour obtenir un aiguillage entre plusieurs séquences que les réceptivités soient exclusives au niveau de la divergence en OU.

En pratique cette exclusion peut se présenter de plusieurs façons :

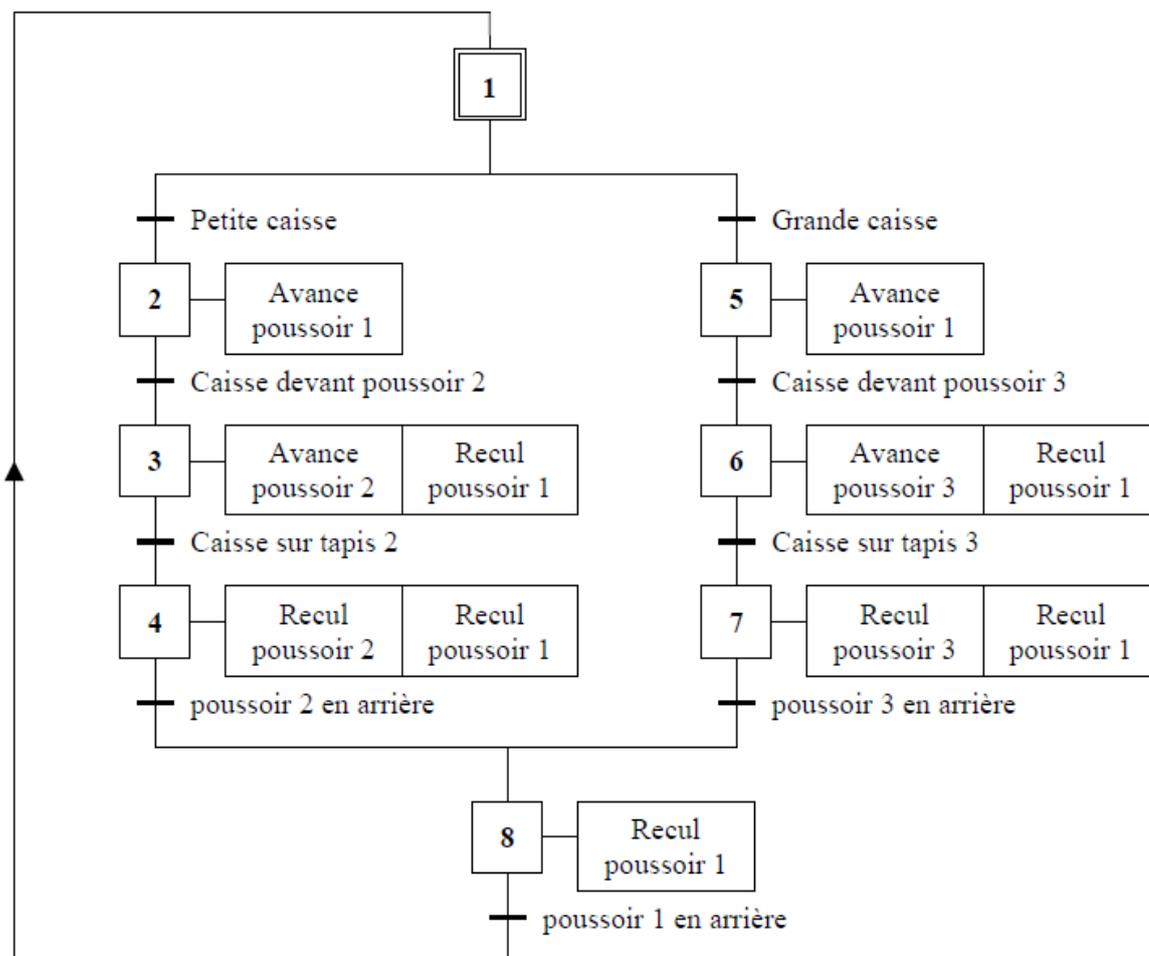
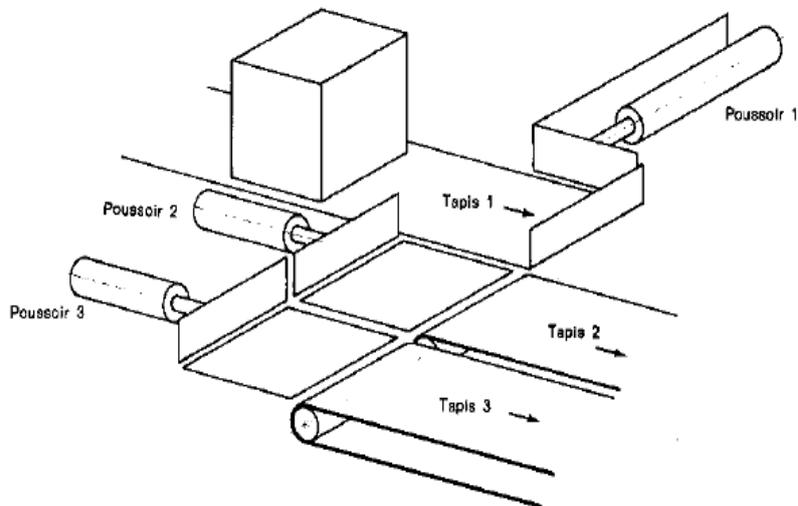
- soit une exclusion physique (impossibilité de simultanéité mécanique ou temporelle),
- soit une exclusion logique (sélection prioritaire ou verrouillage réciproque).



*Exclusivité du choix de séquence
=
Les réceptivités ne sont jamais
vraies simultanément : c'est soit
l'une soit l'autre*

III- Exemples

III.1) Exemple1: Tri de caisses



Remarque :

L'étape 8 permet uniquement de contrôler que le poussoir 1 est bien revenu en arrière avant de recommencer le cycle à l'étape 1. Le passage dans cette étape sera donc transitoire si le

poussoir 1 est déjà revenu en position arrière.

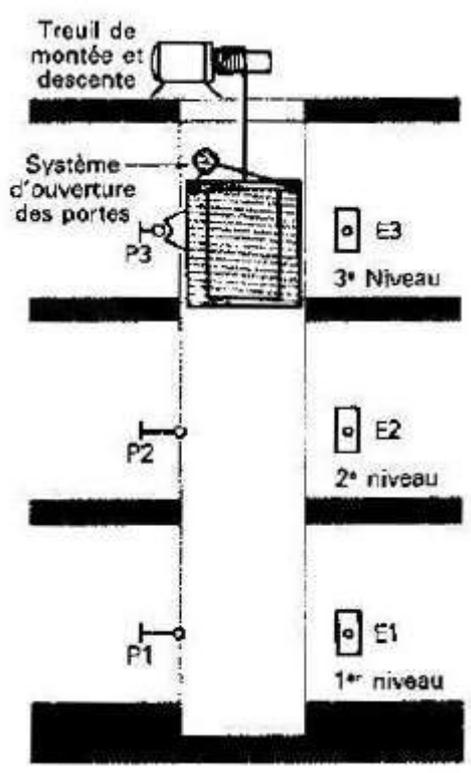
III.2) Exemple2: Monte-charge

□ **Ordres :**

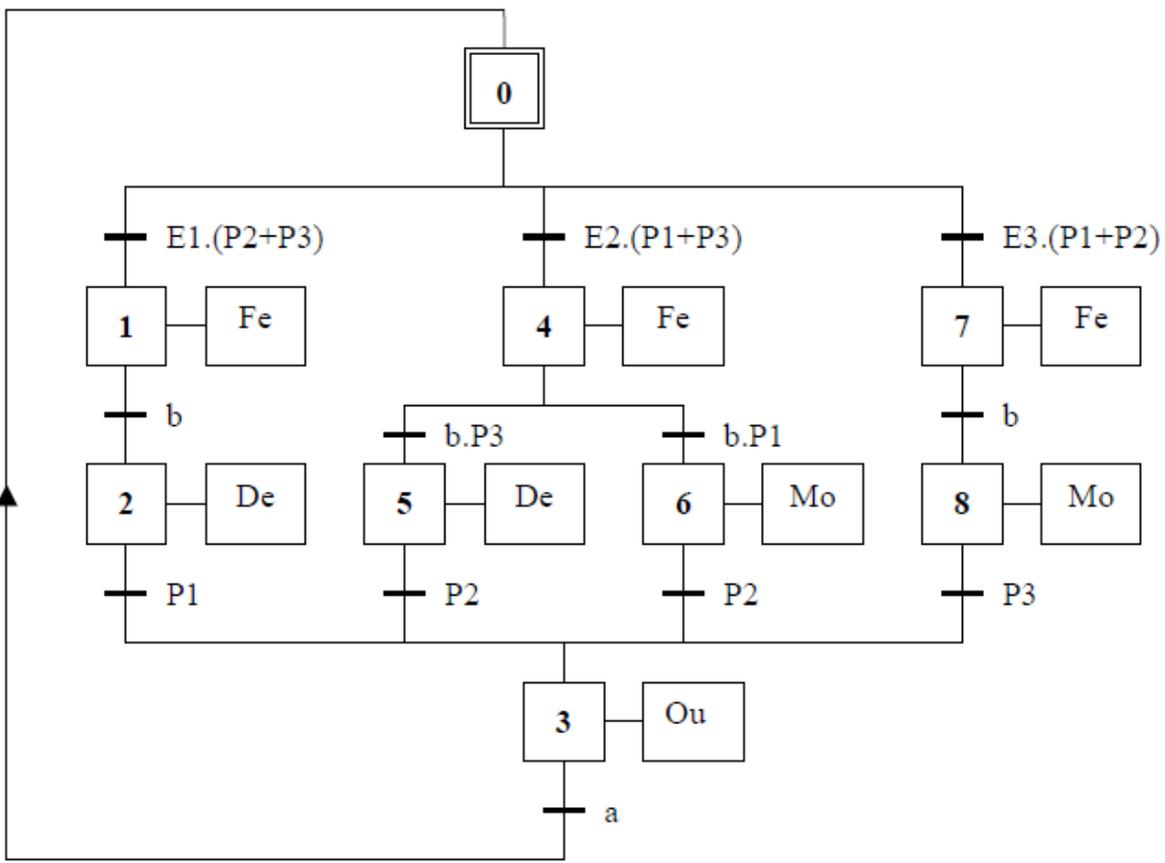
- Mo : Montée de la cabine,
- De : Descente de la cabine,
- Ou : Ouverture des portes,
- Fe : Fermeture des portes,
- E1, E2, E3 : Bouton poussoir d'étages.

□ **Capteurs :**

- a : porte ouverte,
- b : porte fermée,
- P1, P2, P3 : positions de la cabine,



Grafcet :

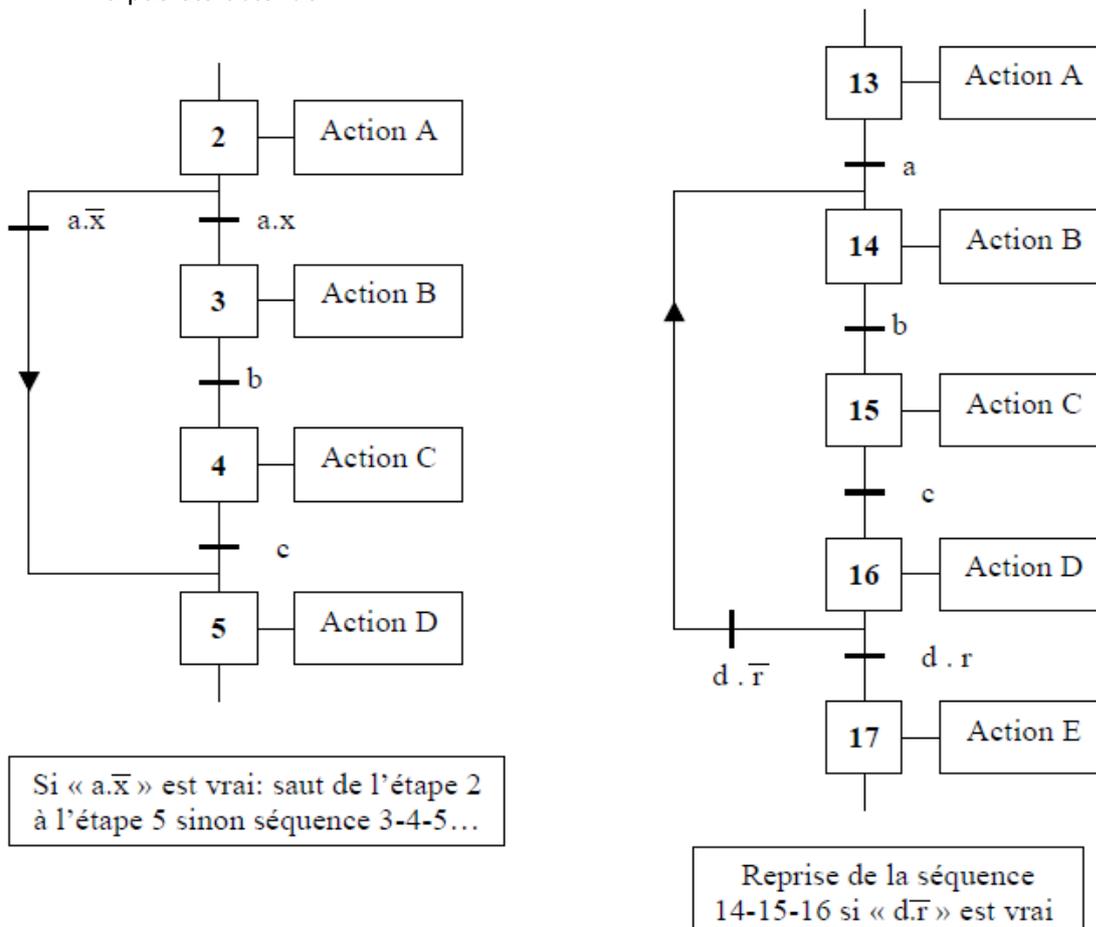


Remarque:

On a ici une sélection possible de l'une des 3 séquences car les réceptivités sont toujours exclusives (on suppose que les 3 BP ne sont jamais appuyés simultanément).

IV- Saut d'étapes et reprise de séquence

- le saut d'étape :
C'est un aiguillage en OU dans lequel une des branches ne comporte pas d'étapes
- la reprise de séquence :
Elle permet de reprendre une ou plusieurs fois la même séquence tant qu'une condition n'a pas été obtenue.



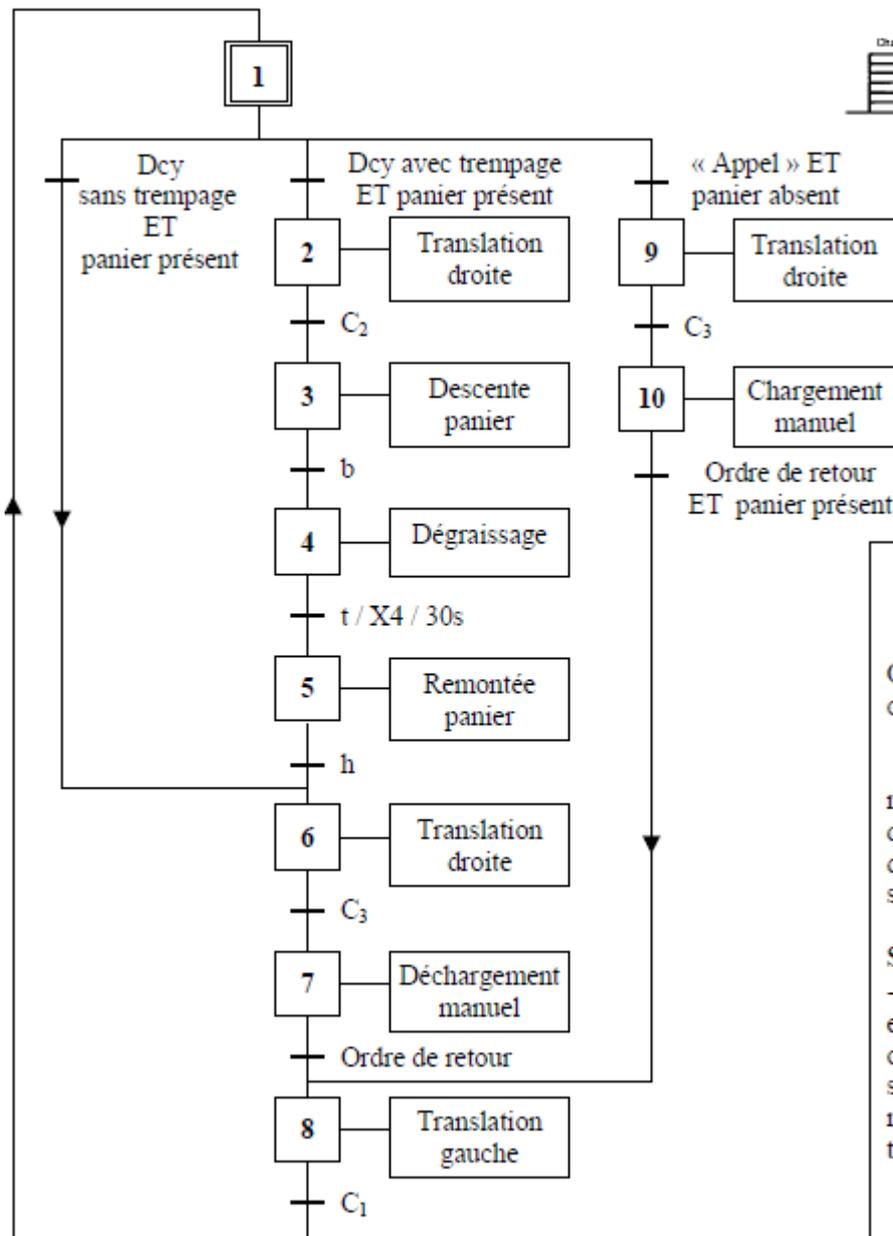
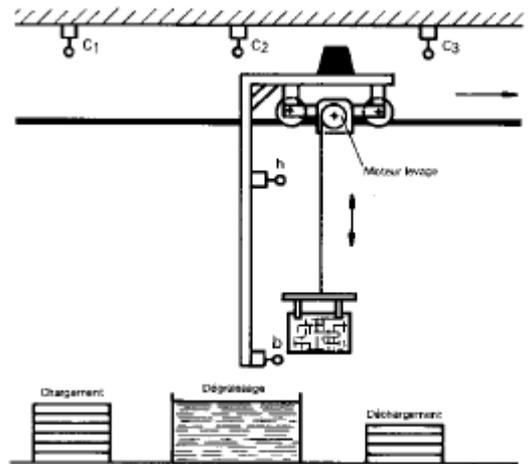
Remarque :

- le saut d'étape et la reprise de séquence sont deux cas particuliers de l'aiguillage en OU,
- le saut d'étape comprend au minimum le saut d'une étape,
- la reprise de séquence doit comporter au moins trois étapes puisque l'activation d'une étape comporte la désactivation de l'étape précédente et la validation de l'étape suivante. Dans une boucle de reprise de séquence avec deux étapes, il n'est pas possible de

remplir ces conditions.

- Le sens des flèches et la position des transitions sur les liaisons sont très importants.

V- Exemple : Chaîne de manutention et de traitement



Donner un priorité à une commande :

On suppose que les deux commandes :

- « dcy avec trempage »
- « dcy sans trempage »

ne sont pas exclusives ; c'est à dire qu'il existe deux boutons poussoirs distincts pouvant être appuyés simultanément.

Solution :

→ faire une exclusion logique entre les deux réceptivités au cas où les deux ordres seraient donnés simultanément. Il suffit de modifier la réceptivité de la transition 1-6 comme suit :

« Panier présent »
 ET « Dcy ST » ET « Dcy AT »

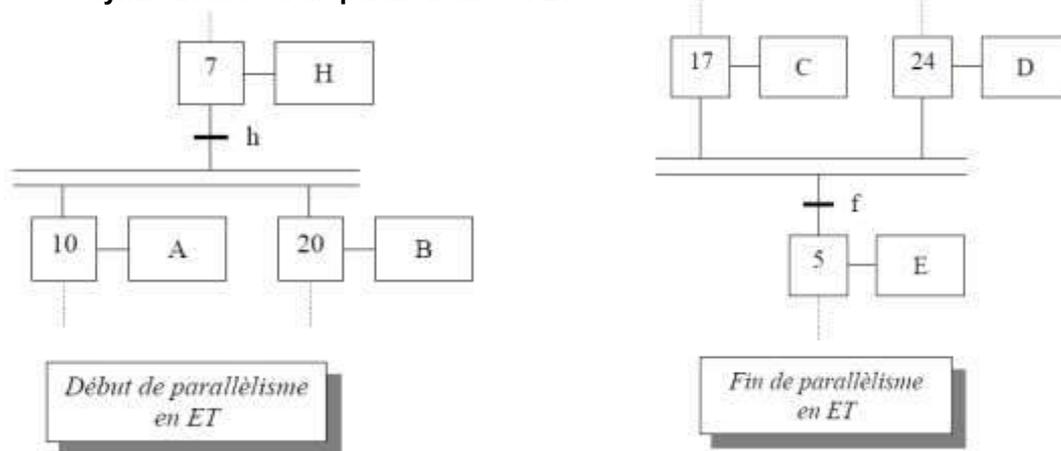
Chapitre : 5

GRAFCET: Séquences simultanées ou parallélisme

I- Introduction

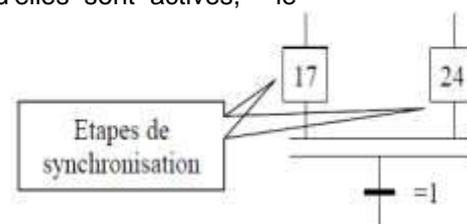
Un automate est représenté par un Grafcet à séquences simultanées lorsque cet automate possède plusieurs séquences qui se déroulent en même temps. Ce cas est très fréquemment rencontré sur des machines de type transfert ou plus généralement sur toutes les machines décomposables en sous-machines relativement indépendantes.

❖ Symbolisation d'un parallélisme en ET



Remarque :

- Lorsque l'étape 7 est active, la transition 7-(10,20) est validée. Lors du franchissement de la transition (lorsque la réceptivité devient vraie), il y a désactivation de l'étape 7 et activation simultanée des étapes 10 & 20.
- Lorsque les étapes 17 & 24 sont actives, la transition (17,24)-5 est validée. Le franchissement de cette transition (si f est vraie) implique la désactivation simultanée des étapes 17 & 24 et l'activation de l'étape 5.
- En pratique, les étapes de fin de parallélisme ne comportent pas d'actions. De plus la transition de fin de parallélisme est souvent imposée à "=1". Les étapes sans actions permettent alors de synchroniser la fin des différents cycles en amont et lorsqu'elles sont actives, le franchissement de la transition est automatique.



II- Transfert de pièces

Un dispositif effectuant le transfert de pièces sur deux tapis différents est représenté par la figure ci- dessous. Dès qu'une pièce se présente devant le poussoir 1, celui-ci la repousse devant le poussoir 2 qui, situé perpendiculairement, transfère cette pièce sur le tapis d'évacuation.

Capteurs et actionneurs ($i = 1$ ou 2)

- ✓ AP_i : avance poussoir i
- ✓ RP_i : recul poussoir i
- ✓ P_i : pièce devant poussoir i
- ✓ P_{ar_i} : poussoir i en arrière
- ✓ Pe : pièce évacuée

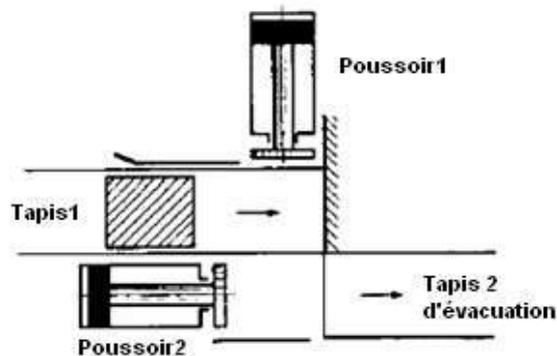


Figure1 : Transfert des pièces

Donner le Grafcet fonctionnel décrivant le fonctionnement du dispositif effectuant le transfert de pièces.

Solutions :

III- Plateau tournant

Un plateau tournant dessert 3 postes de travail :

- le premier de chargement,
- le deuxième de perçage
- le troisième de contrôle et d'évacuation des pièces percées.

Un vérin permet la rotation de 120° du plateau extérieur supportant les pièces à usiner, et son indexation, c'est-à-dire son blocage précis après chaque rotation.

Le contrôle de perçage s'effectue par un testeur qui doit descendre en position basse si le trou est correctement percé (cette opération dure moins de 2 secondes). Si cela n'est pas réalisé, tout le système se bloque, testeur en position haute, de façon à ce que l'opérateur puisse enlever la pièce défectueuse avant de réarmer manuellement le système.

Les actions sont :

- avance chargeur,
- recul chargeur,
- avance serrage,
- recul serrage,
- descente perceuse,
- montée perceuse,
- descente testeur,
- remontée testeur,
- avance évacuation,
- recul évacuation,
- rotation plateau

Les capteurs sont :

- conditions initiales,
- marche,
- pièce chargée,
- chargeur en arrière,
- pièce serrée,
- pièce desserrée
- perceuse en bas,
- perceuse en haut,
- testeur en bas,
- testeur en haut,
- pièce évacuée,
- évacuation reculée,
- réarmement manuel,
- fin de rotation

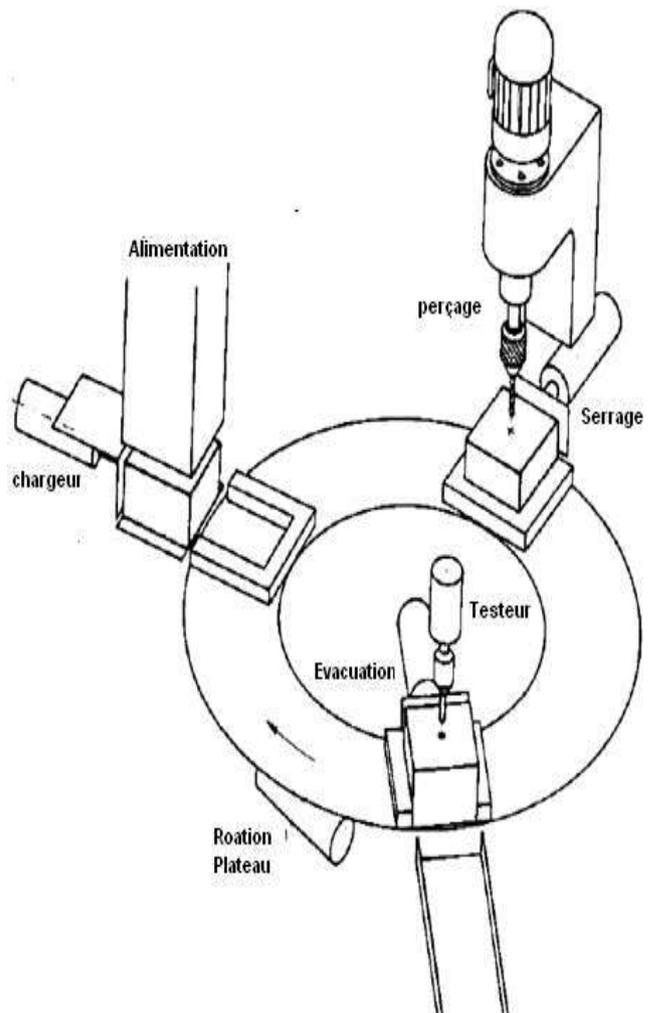
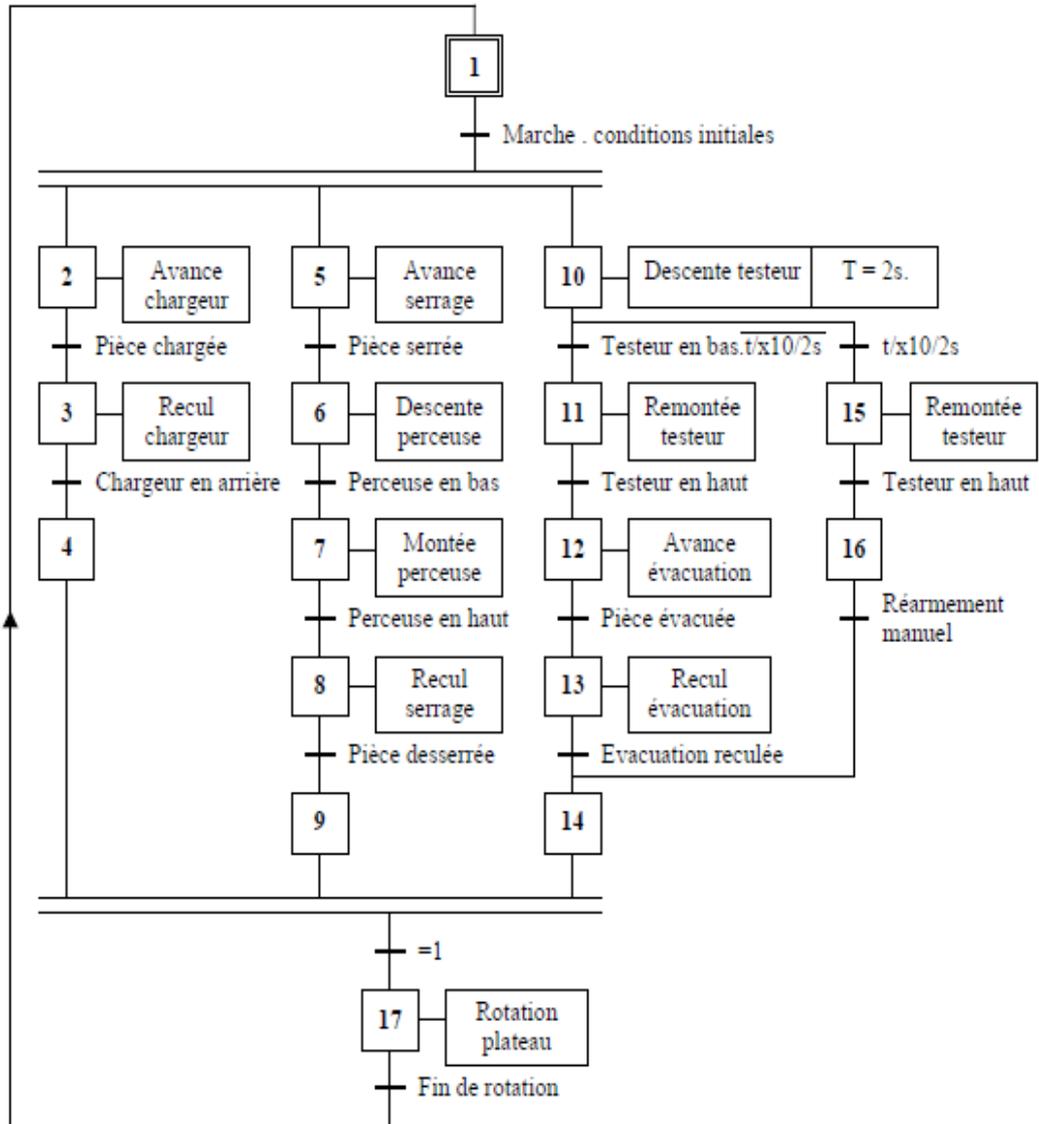


Figure2 : Plateau tournant



IV- Chaîne de remplissage de bidons d'huile

Un tapis avance pas à pas et transporte des bidons vides qui seront d'abord remplis et ensuite bouchés à un poste de travail différent.

L'approvisionnement en bidons n'est pas régulier et certains bidons peuvent manquer de temps à autre. La distance entre les bidons présents est fixée par des taquets situés sur le tapis et distants d'un pas. Un dispositif permet, à chacun des deux postes décrits, de détecter la présence ou l'absence d'un bidon.

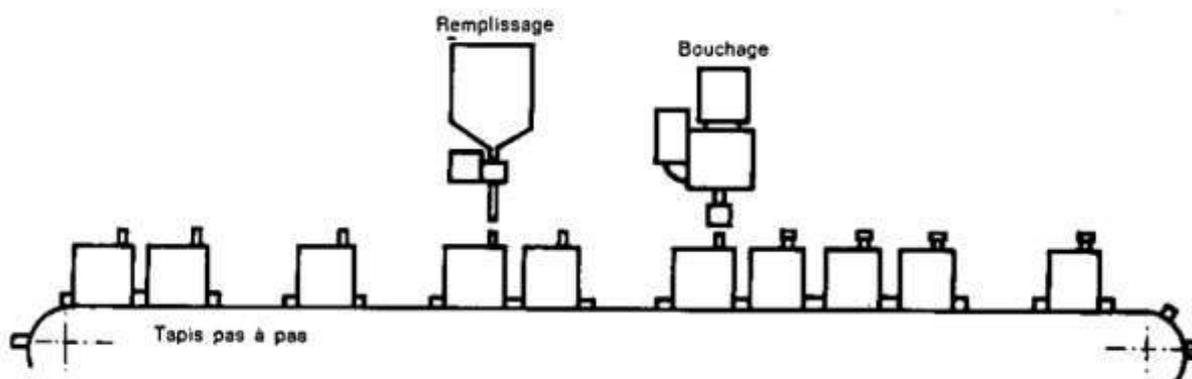


Figure3 : Chaîne de remplissage de bidons d'huile

Actionneurs et capteurs :

- ✓ AP: avance d'un pas
- ✓ B : bouchage
- ✓ R : remplissage
- ✓ oa : ordre d'avance
- ✓ bp : bidon présent
- ✓ ba : bidon absent
- ✓ ci : conditions initiales
- ✓ fa : fin d'avance
- ✓ fr : fin de remplissage
- ✓ fb : fin de bouchage

Donner le Grafcet fonctionnel décrivant le fonctionnement du dispositif effectuant le transfert de pièces.

Solution :

Chapitre : 6

Mise en œuvre du GRAFCET

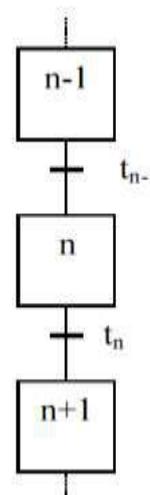
1.1. objectif

Soit la partie de grafcet représentée par la figure ci-contre. Pour décrire l'activité de l'étape n, nous utiliserons la notation suivante:

$$\begin{cases} X_n = 1 & \text{si l'étape n est active :} \\ X_n = 0 & \text{si l'étape n est inactive,} \end{cases}$$

La réceptivité t_n , étant une variable binaire, a pour valeur :

$$\begin{cases} t_n = 0 & \text{si la réceptivité est fausse,} \\ t_n = 1 & \text{si la réceptivité est vraie.} \end{cases}$$



Les règles d'évolution du GRAFCET (cf. chapitre règles) sont le point de départ des équations logiques.

BUT : Déterminer les variables qui interviennent dans l'activité de l'étape n : $X_n = f(?)$

1.2. mise en équation d'une étape

- 2^{ème} règle :

*Une transition est soit **validée**, soit **non validée**. Elle est validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes sont actives. Elle ne peut être franchie que :*

- lorsqu'elle est validée,
- ET que la réceptivité associée à la transition est VRAIE

→ La traduction de cette règle donne la Condition d'Activation de l'étape n :

$$\boxed{CAX_n = X_{n-1} \cdot t_{n-1}}$$

• 3^{ème} règle :

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

→ La traduction de cette règle donne la Condition de Désactivation de l'étape n :

$$\boxed{CDX_n = X_n \cdot I_n = X_{n+1}}$$

- Si la CA et la CD de l'étape n sont fausses, l'étape n reste dans son état. C'est ce qu'on appelle l'effet mémoire (cf. chapitre logique séquentielle) . C'est à dire que l'état de X_n à l'instant $t+\delta t$ dépend de l'état précédent de X_n à l'instant t

D'après ces trois points précédents, on peut donc écrire : $\boxed{X_n = f(CAX_n, X_n, CDX_n)}$

Il est alors possible d'écrire la table de vérité de l'activité de l'étape n : X_n

$X_n (T)$	CAX_n	CDX_n	$X_n (T+\delta T)$	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 :

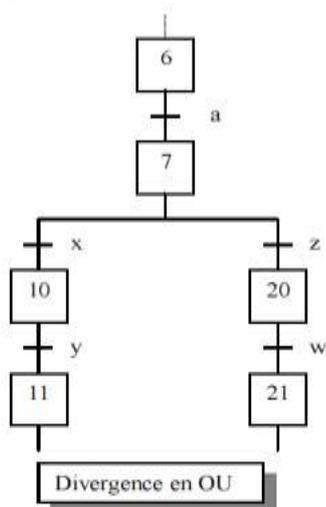
		$CAX_n CDX_n$			
		00	01	11	10
X_n	0	0	0	1	1
	1	1	0	1	1

Equation de X_n :

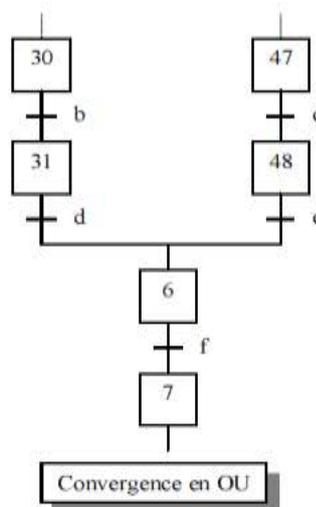
$$\boxed{X_n = CAX_n + \overline{CDX_n} \cdot X_n}$$

ou $\boxed{X_n = X_{n-1} \cdot I_{n-1} + \overline{X_{n+1}} \cdot X_n}$

1.3 Choix de séquence

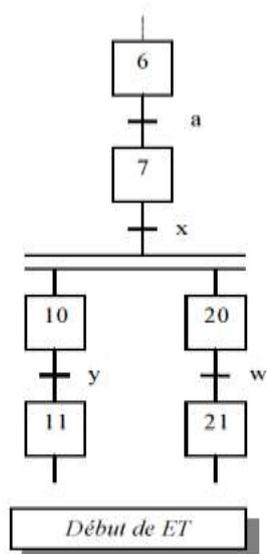


Etape	CAXn	CDXn
7	$X6 \cdot a$	$X10 + X20$
10	$X7 \cdot x$	$X11$
20	$X7 \cdot z$	$X21$

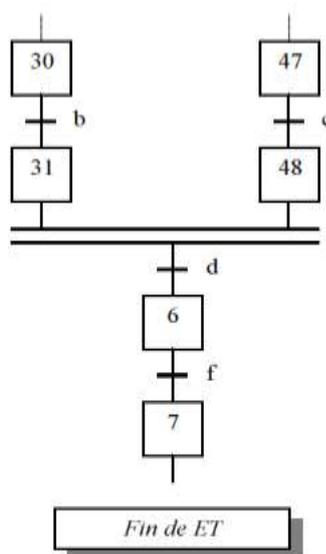


Etape	CAXn	CDXn
31	$X30 \cdot b$	$X6$
48	$X47 \cdot c$	
6	$X31 \cdot d + X48 \cdot e$	$X7$

1.4 Séquences parallèles



Etape	CAXn	CDXn
7	$X6 \cdot a$	$X10 \cdot X20$
10	$X7 \cdot x$	$X11$
20		$X21$



Etape	CAXn	CDXn
31	$X30 \cdot b$	$X6$
48	$X47 \cdot c$	
6	$X31 \cdot X48 \cdot d$	$X7$

1.5 Gestion des modes Marche /Arrêt et des arrêts d'urgences

A l'initialisation du GRAFCET, toutes les étapes autres que les étapes initiales sont désactivées. Seules sont activées les étapes initiales.

Soit la variable Init telle que :

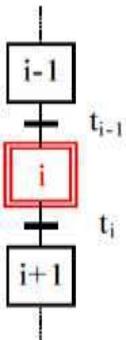
- **Init = 1** : initialisation du GRAFCET : Mode **ARRÊT**
- **Init = 0** : déroulement du cycle: Mode **MARCHE**

Soient les variables Arrêt d'Urgence (AUdur et AUdoux) telles que :

- **AUDur = 1** : Désactivation de toutes les étapes,
- **AUDoux = 1** : Désactivation des actions, les étapes restant actives.

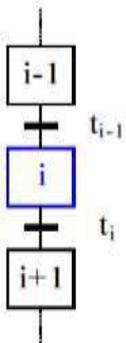
Généralisation :

- Equation d'une **étape i initiale** :



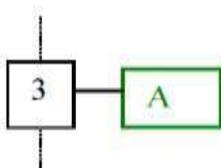
CAXi	CDXi	Equation de Xi
$X_{i-1}.t_{i-1} + Init$	$X_{i+1}.\overline{Init}$	$X_i = (CAX_i + \overline{CDX_{i+1}}.X_{i+1} + Init).\overline{AUdur}$

- Equation d'une **étape i non initiale** :



CAXi	CDXi	Equation de Xi
$X_{i-1}.t_{i-1}.\overline{Init}$	$X_{i+1} + Init$	$X_i = (CAX_i + \overline{CDX_{i+1}}.X_{i+1}).\overline{Init}.\overline{AUdur}$

- Equation des **actions**



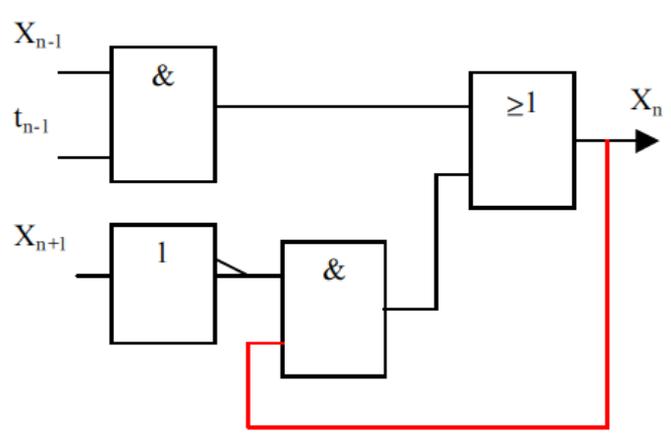
$$A = X_3.\overline{AUdoux}$$

2. REALISATION PAR CABLAGE

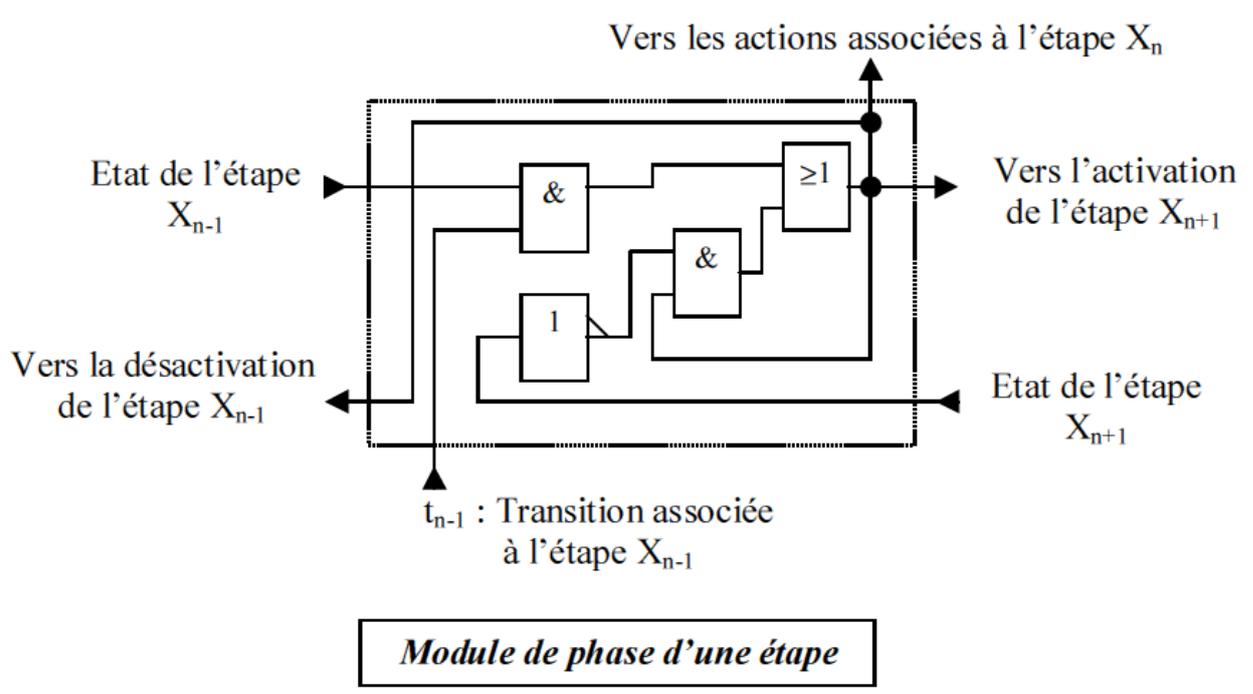
2.1. Eléments de la logique combinatoire (portes logiques)

Equation d'une étape : $X_n = X_{n-1}.t_{n-1} + \overline{X_{n+1}}.X_n$

Le câblage d'une étape est réalisé à l'aide de 4 portes logiques.

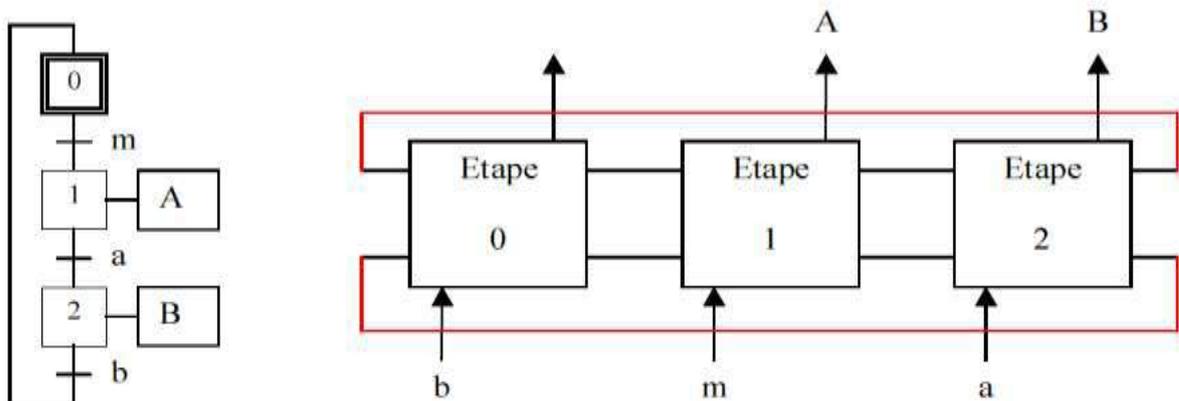


Une étape de GRAFCET se symbolise alors sous forme d'un module de phase :



Exemple : cas d'un GRAFCET à séquence unique

Chaque étape du GRAFCET sera câblée comme le module de phase décrit précédemment. On réalise alors un séquenceur électrique à base de portes logiques.



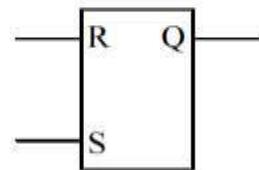
Afin de tenir compte des modes de marche et d'arrêt du GRAFCET, le module d'une étape doit intégrer l'initialisation et l'arrêt d'urgence dur comme indiquent les équations logiques des étapes du GRAFCET précédent :

Equations des étapes :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_0 = (X_2 \cdot b + \overline{X_1} \cdot X_0 + \text{Init}) \overline{AUdur} \\ X_1 = (X_0 \cdot m + \overline{X_2} \cdot X_1) \cdot \overline{\text{Init}} \cdot \overline{AUdur} \\ X_2 = (X_1 \cdot a + \overline{X_0} \cdot X_2) \cdot \overline{\text{Init}} \cdot \overline{AUdur} \end{array} \right.$$

2.2. Eléments de la logique séquentielle (bascules RS)

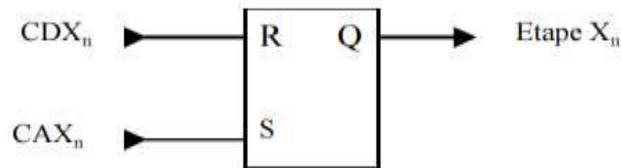
R	S	Q _{t+1}
0	0	Q _t
0	1	1
1	0	0
1	1	-



Remarque : Pour l'état S=R=1, la valeur de la sortie de la bascule est indéterminée. Elle dépend uniquement des composants de fabrication. Si la bascule RS est fabriquée technologiquement avec des portes NOR, il y aura mémoire à désactivation prioritaire et dans le cas de réalisation de bascules RS avec des portes NAND, il y aura mémoire à activation prioritaire (solution retenue pour adapter les bascules RS au GRAFCET).

2.2.1. Application au GRAFCET :

- La **condition d'activation** d'une étape est alors câblée sur le **SET** de la bascule,
- La **condition de désactivation** d'une étape est câblée sur le **RESET** de la bascule,

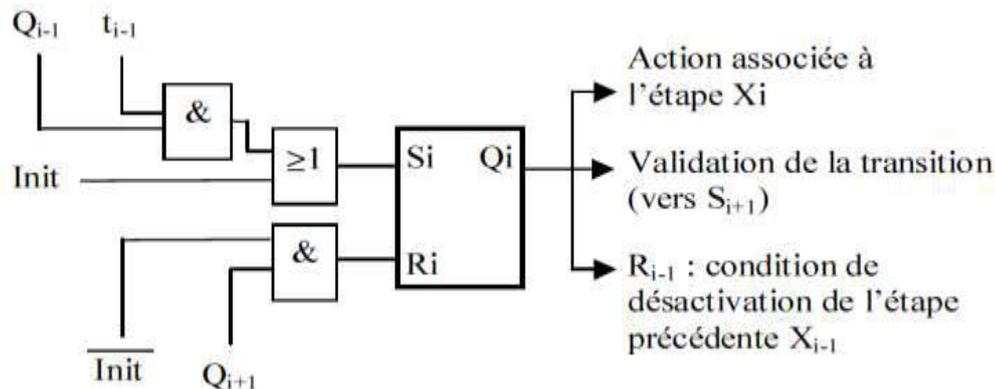


On ne tient pas compte dans les câblages suivants des arrêts d'urgence (Audur & Audoux)

→ câblage d'une étape initiale :

$$CAX_i = X_{i-1} \cdot t_{i-1} + Init$$

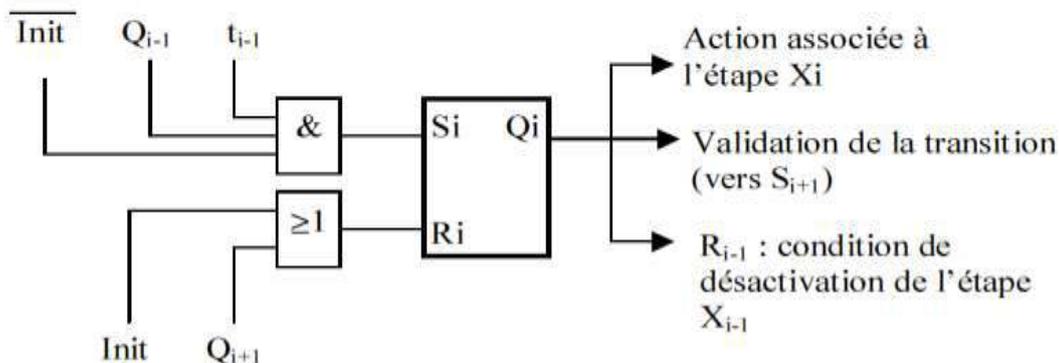
$$CDX_i = X_{i+1} \cdot \overline{Init}$$



→ câblage d'une étape NON initiale :

$$CAX_i = X_{i-1} \cdot t_{i-1} \cdot \overline{Init}$$

$$CDX_i = X_{i+1} + Init$$



2.2.2. Exemple : GRAFCET à séquence unique:

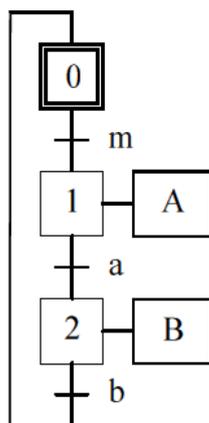
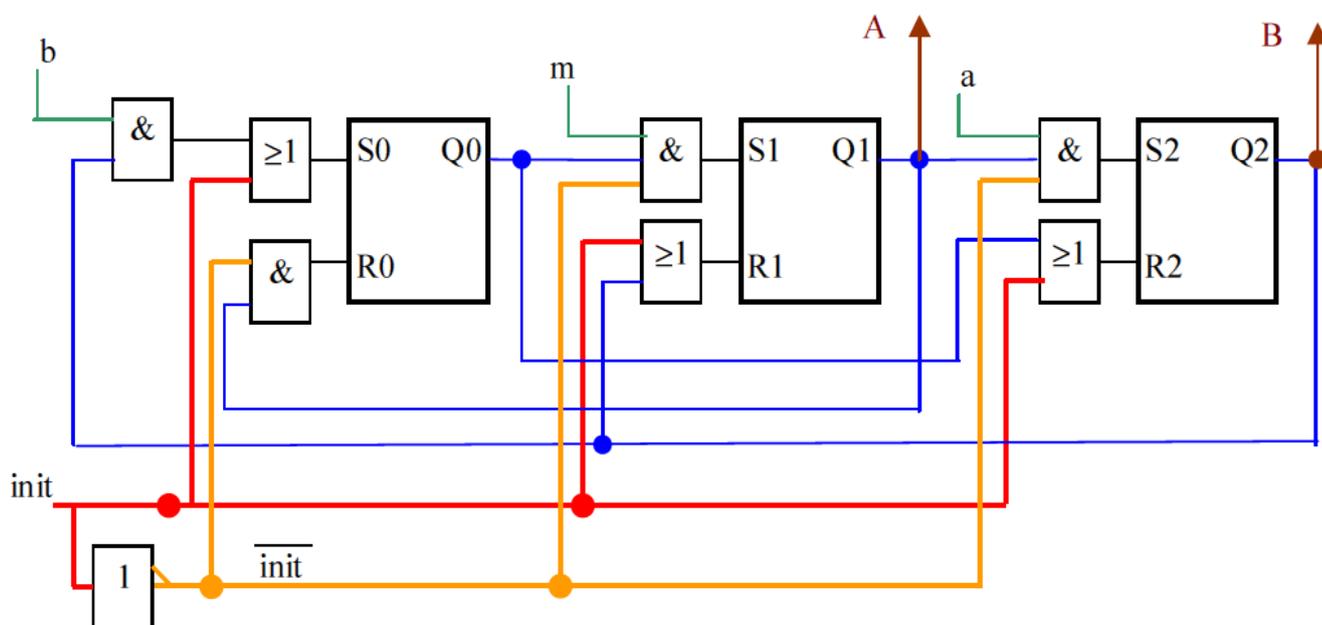


Table des conditions d'activation et de désactivation des étapes :

X_n	CAX_n	CDX_n
0	$X_2.b + Init$	$X_1.\overline{Init}$
1	$X_0.m.\overline{Init}$	$X_2 + Init$
2	$X_1.a.\overline{Init}$	$X_0 + Init$

Câblage du GRAFCET :

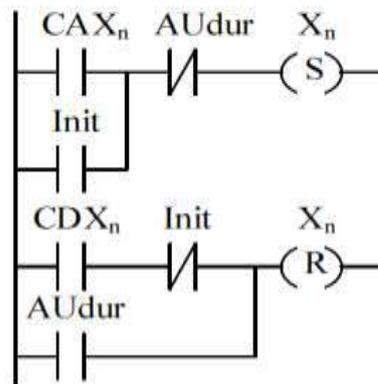


3. PROGRAMMATION DU GRAFCET DANS UN LANGAGE

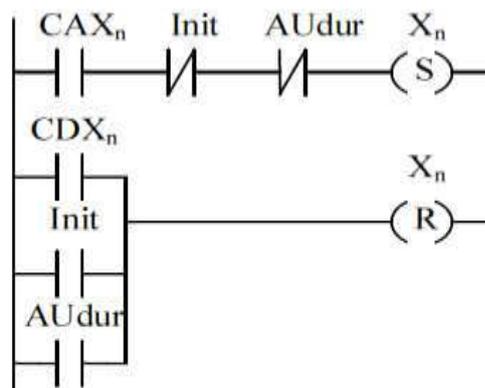
3.1. Langage à contacts (Ladder)

→ application sur automate TELEMECANIC TSX-17 (PL7-2)

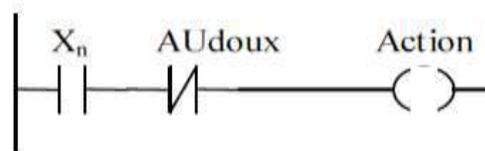
- Etape initiale :



- Etape **NON** initiale :



- Action associée à l'étape :



Exercice : Traduire en Ladder le GRAFCET suivant :

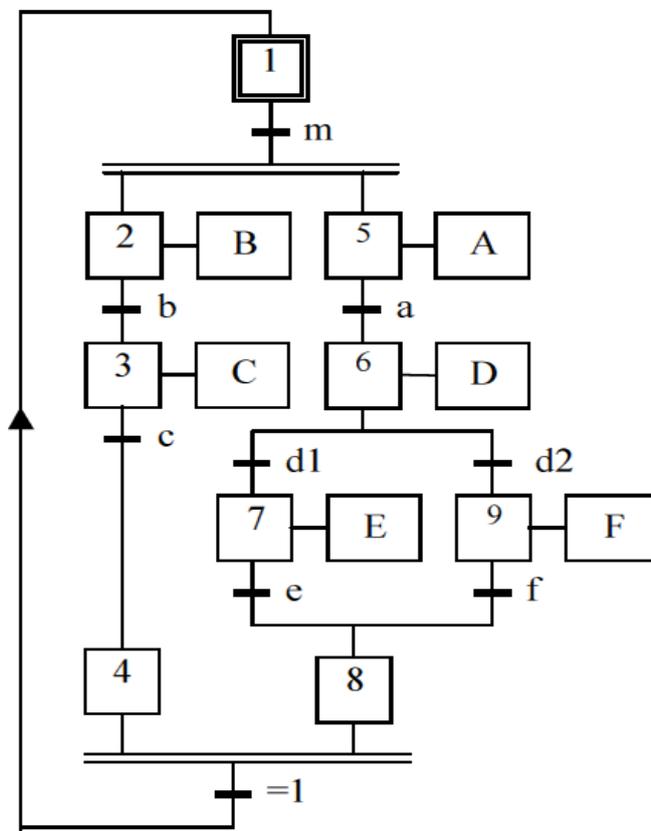
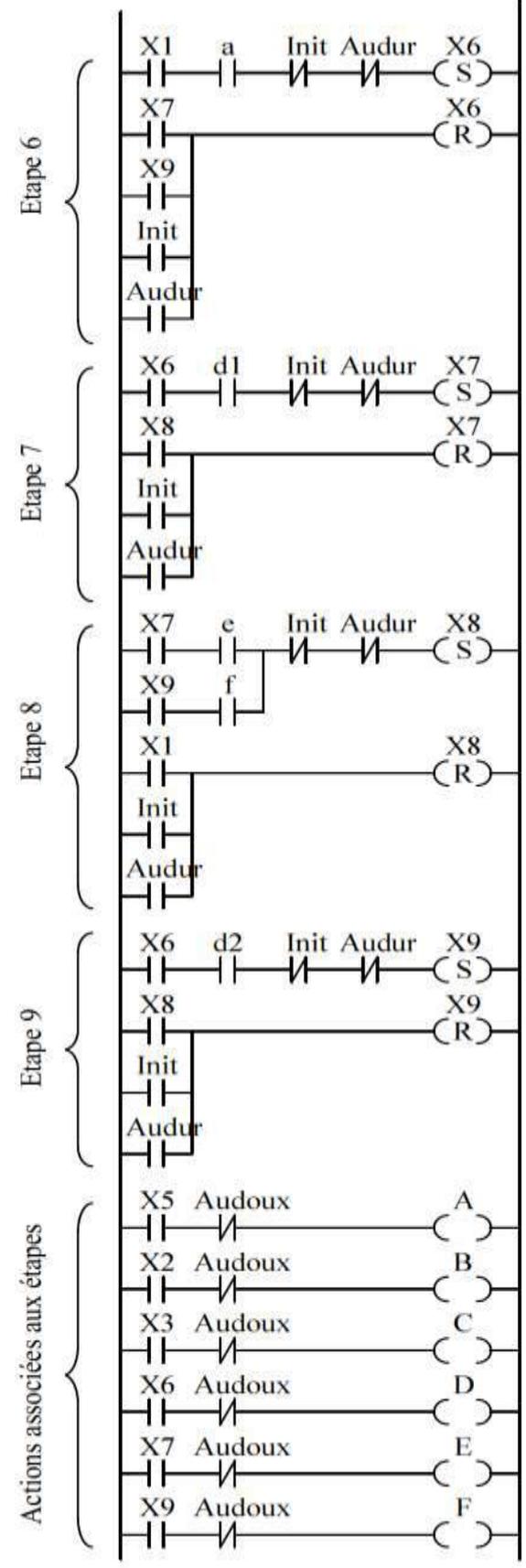
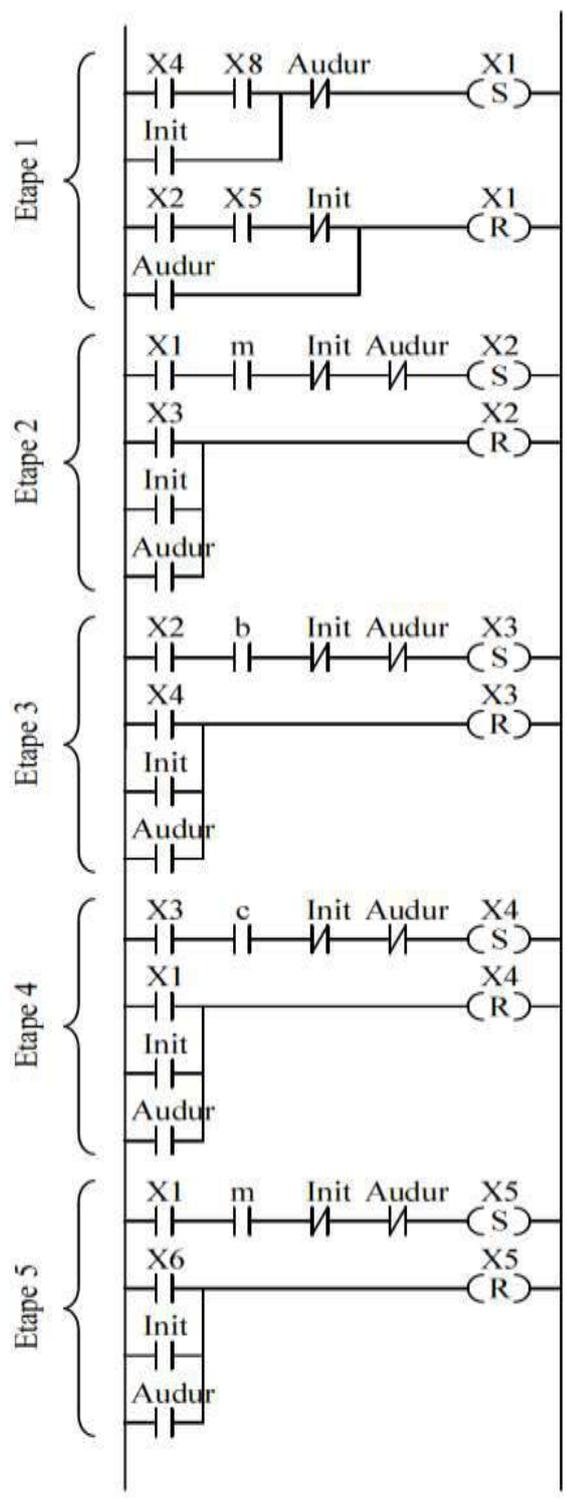


Tableau des CA et CD des étapes :

X_i	CAX_i	CDX_i
1	$X_4.X_8 + Init$	$X_2.X_5.\overline{Init}$
2	$X_1.m.\overline{Init}$	$X_3 + Init$
3	$X_2.b.\overline{Init}$	$X_4 + Init$
4	$X_3.c.\overline{Init}$	$X_1 + Init$
5	$X_1.m.\overline{Init}$	$X_6 + Init$
6	$X_5.a.\overline{Init}$	$X_7 + X_9 + Init$
7	$X_6.d1.\overline{Init}$	$X_8 + init$
8	$(X_7.e + X_9.f).\overline{Init}$	$X_1 + Init$
9	$X_6.d2.\overline{Init}$	$X_8 + init$



3.2. Langage booléen

→ application sur automate SIEMENS Série 300/400 (Step 7)

3.3. langage GRAFCET

→ application sur automate TELEMECANIC TSX-47 (PL7-2)

3.4. langage évolué

→ en Pascal, assembleur, C...