

Chapitre II : Le GRAFCET

1. Introduction :

En 1975, un groupe d'universitaires et industriels de la section "Systèmes Logiques" de l'AFCEC (Association Française de Cybernétique Economique et Technique) se sont fixés l'objectif de définir un formalisme adapté à la représentation des évolutions séquentielles d'un système et ayant les caractéristiques suivantes :

- Simple;
- Accepté par tous;
- Intelligible à la fois par les concepteurs et les exploitants;
- Fournissant potentiellement des facilités de passage à une réalisation, à base matérielle et/ou logicielle de l'automatisme ainsi spécifié.

En 1977, marquer l'origine de nouvel outil de modélisation « GRAFCET » (GRAPhe Fonctionnel de Commande Etapes–Transitions). Il est fréquemment utilisé pour la mise en œuvre des automates programmables industriels (API).

Dans ce chapitre nous rappellerons la définition et notions de bases, Règles d'établissement du GRAFCET, Transitions et liaisons orientées, Règles d'évolution, Sélection de séquence et séquences simultanées, Organisation des niveaux de représentation, Matérialisation d'un GRAFCET avec des exemples pratiques.

2. Définition :

Le GRAFCET (GRAPhe Fonctionnel de Commande par Etapes et Transitions) ou SFC (Sequential Function Chart) est un outil graphique qui décrit les différents comportements (cahier des charges) de l'évolution d'un automatisme et établit une correspondance à caractère séquentiel et combinatoire entre :

- Les entrées : c'est-à-dire les transferts d'informations de la Partie Opérative vers la Partie Commande.
- Les sorties : transferts d'informations de la Partie Commande vers la Partie Opérative.

C'est un outil graphique puissant, directement exploitable, car c'est aussi un langage pour la plupart des API existants sur le marché. Lorsque le mot GRAFCET (*en lettre capitale*) est utilisé, il fait référence à l'outil de modélisation. 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 comprend :

- **Etape initiale** : représente une étape qui est active au début du fonctionnement. Elle se différencie de l'étape en doublant les côtés du carré.
- **Transition** : la transition est représentée par un trait horizontal.

- **Réceptivité** : les conditions de réceptivité sont inscrites à droite de la transition.
- **Étape** : chaque étape est représentée par un carré repéré numériquement.
- **Action(s)** : elles sont décrites littéralement ou symboliquement à l'intérieur d'un ou plusieurs rectangles reliés par un trait à la partie droite de l'étape.
- **Liaisons orientées** : indique le sens du parcours.

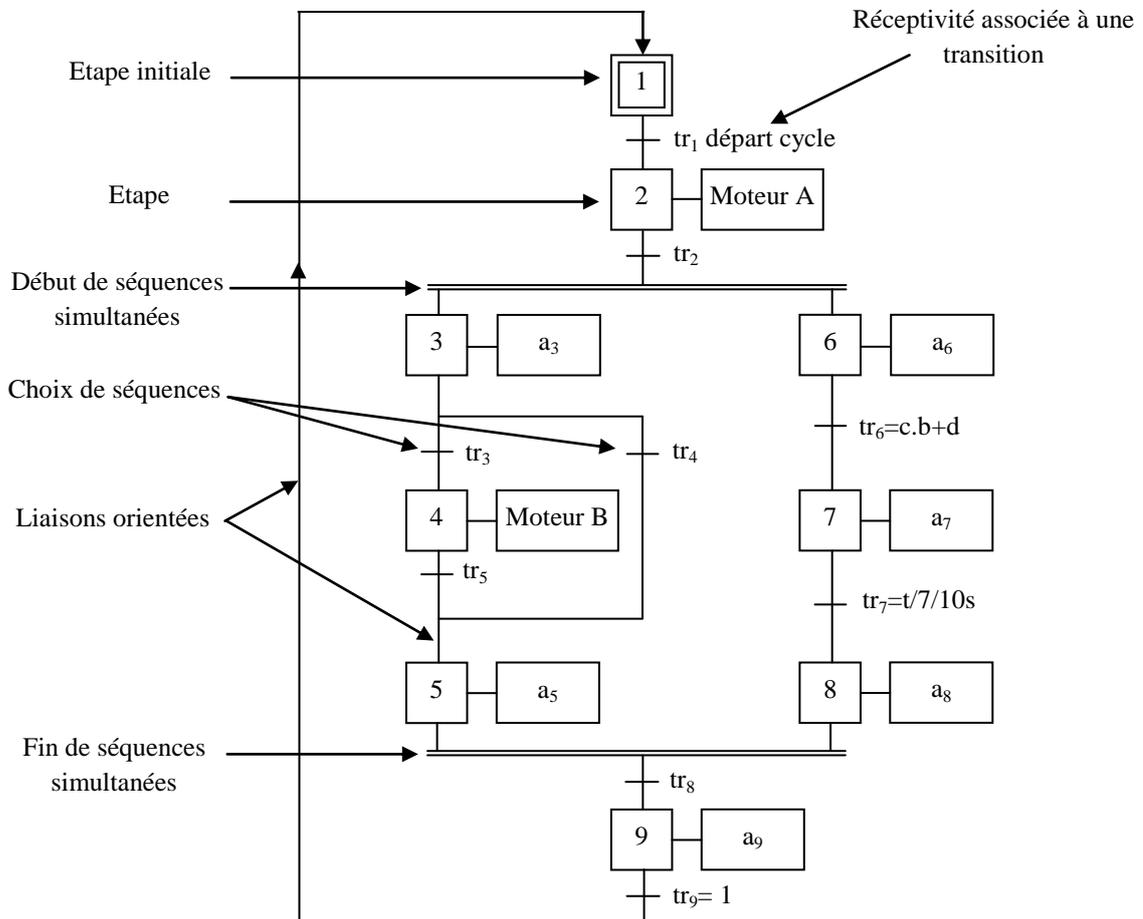


Figure (II.1) : Représentation d'un modèle de GRAFCET.

3. Description du GRAFCET :

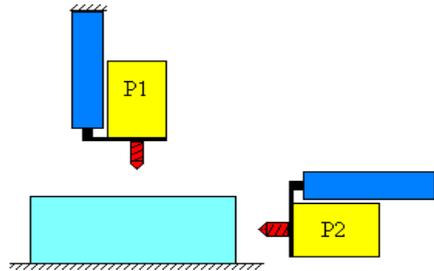
La description du comportement attendu d'un automate peut se représenter par un GRAFCET d'un certain « niveau ». La caractérisation du niveau du GRAFCET nécessite de prendre en compte trois dimensions :

- Le point de vue : caractérisant le point de vue selon lequel un observateur s'implique dans le fonctionnement du système pour en donner une description. On distingue trois points de vue :
 - Un point de vue système : C'est un graphe qui décrit le fonctionnement global du système. Il traduit le cahier des charges sans préjuger de la technologie adoptée. Il permet de dialoguer avec des personnes non spécialistes (fournisseurs, décideurs ...) Son écriture, en langage clair, permet donc sa compréhension par tout le monde.

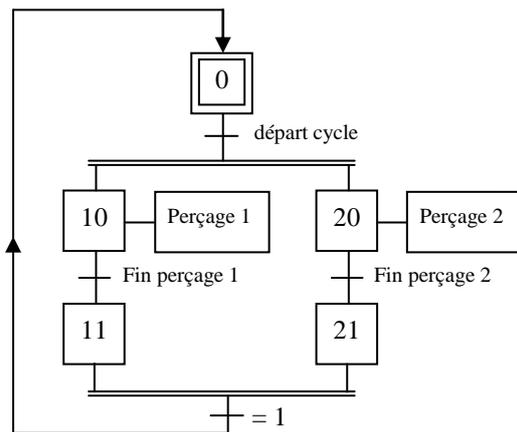
- Un point de vue Partie Opérative : Dans ce type on spécifie la technologie de la PO ainsi que le type de ses informations reçues (ordres) et envoyées (comptes-rendus).
- Un point de vue Partie Commande : Ce type est établi la technologie des éléments de dialogue : entre PC et PO, PC et opérateur, PC et autre système. C'est la version qui permet d'établir les équations des schémas de réalisation (électrique, pneumatique).

Exemple : Unité de perçage.

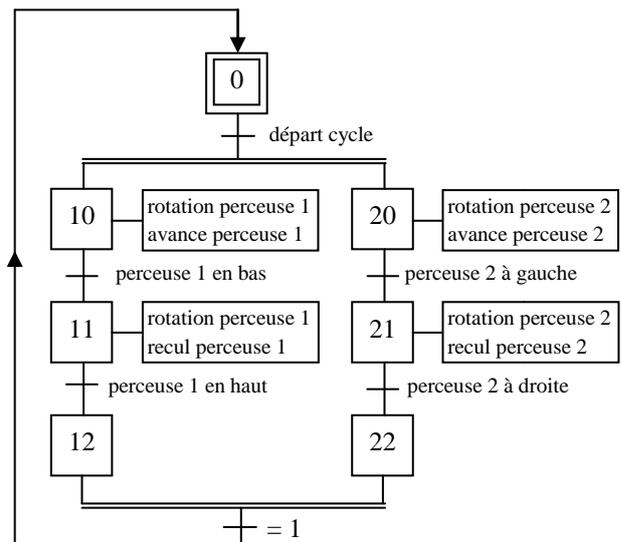
Les perçages sont effectués en même temps après action sur un bouton poussoir Départ Cycle.



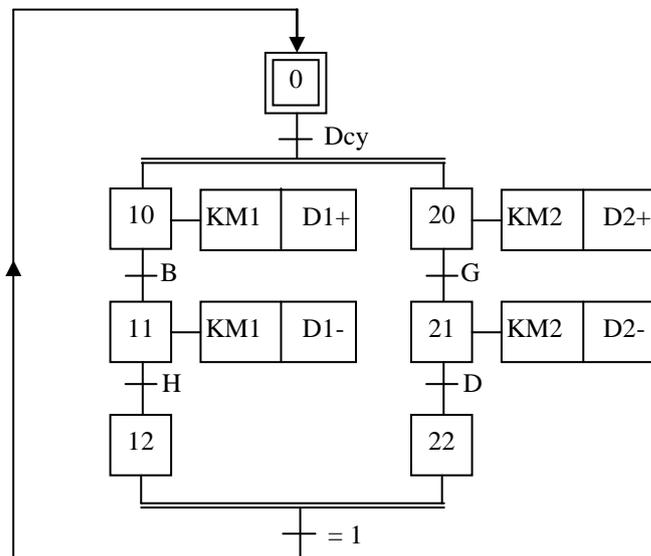
Point de vue "Système" :



Point de vue "Partie Opérative" (Niveau 1) :



Point de vue "Partie Commande" (Niveau 2) :



- Les spécifications : caractérisant la nature des spécifications techniques auxquelles doit satisfaire la Partie Commande. On distingue trois groupes de spécifications :
 - Spécifications fonctionnelles,
 - Spécifications technologiques,
 - Spécifications opérationnelles.
- La finesse : caractérisant le niveau de détail dans la description du fonctionnement, d'un niveau global (ou macro-représentation) jusqu'au niveau de détail complet où toutes les actions et informations élémentaires sont prises en compte.

4. Concepts de base du GRAFCET :

4.1 Etapes :

Une étape caractérise un comportement invariant d'une partie ou de la totalité de la partie commande. C'est une situation dans laquelle les variables d'entrée et de sortie de la partie commande conservent leur état.

Une étape est symbolisée par un carré ou un rectangle repéré numériquement. A un instant donné et suivant l'évolution du système :

- Une étape est soit active ou inactive,
- L'ensemble des étapes actives définit la situation de la partie commande.

Si à un instant donné, il est nécessaire de préciser les étapes actives, un point (un marqueur) est placé à la partie inférieure du symbole.

Les étapes qui sont à l'état actif au moment de l'initialisation (état d'attente) sont représentées par un double rectangle et le marquage initial est défini par :

$$M_0 = [m_0(e_1), \dots, m_0(e_i), \dots, m_0(e_N)]$$

Avec $m_0(e_i) = 1$ pour les étapes actives au moment de l'initialisation et $m_0(e_i) = 0$ pour celles qui sont inactives.

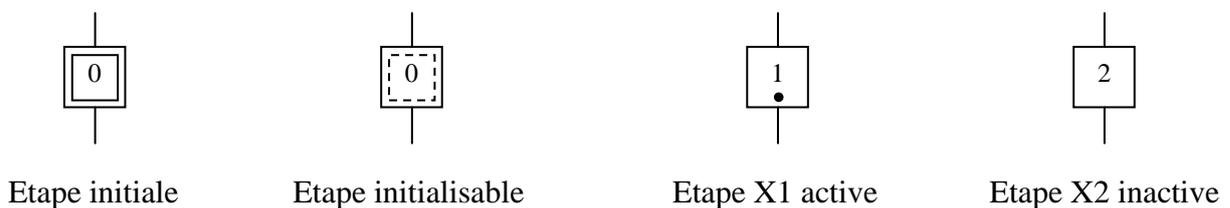


Figure (II.2) : Situation des étapes.

4.2 Actions associées à l'étape :

Une ou plusieurs actions élémentaires ou complexes peuvent être associées à une étape. Elles traduisent ce qui être fait chaque fois que l'étape à laquelle elles sont associées est active.

Les actions, qui sont le résultat du traitement logique des informations par la partie commande, peuvent être :

- Externes et correspondent aux ordres émis vers la partie opérative ou vers les éléments extérieurs ;
- Internes et concernent des fonctions spécifiques de l'automatisme telles que : temporisation, comptage, ..., etc.

Les actions associées sont décrites de façon littérale ou symbolique à l'intérieur d'un ou plusieurs rectangles reliés au symbole de l'étape à laquelle elles sont associées. Plusieurs rectangles peuvent être reliés à une étape ou plusieurs actions peuvent figurer dans un même cadre.

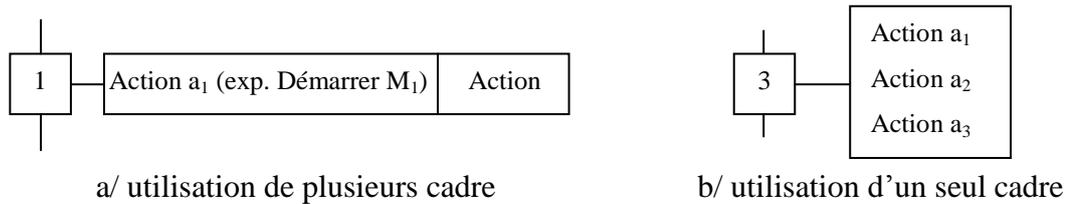


Figure (II.3) : Actions associées aux étapes.

4.3 Transitions :

Les transitions indiquent les possibilités d'évolution entre étapes. Cette évolution s'accomplit par le franchissement de la transition.

Une transition est soit validée soit non validée. Elle est dite validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes reliées à cette transition sont activées.

Une transition entre deux étapes se représente par une barre perpendiculaire aux liaisons (figure (II.1)). Lorsque plusieurs arcs arrivent ou partent d'une transition, leur regroupement est indiqué par une double ligne horizontale.

4.4 Réceptivité associée à la transition :

A chaque transition est associée une proposition logique appelée *réceptivité* qui peut être soit vraie soit fausse.

Parmi toutes les informations disponibles à un instant donné, la réceptivité regroupe uniquement celles qui sont nécessaires au franchissement de la transition.

La réceptivité écrite sous forme de proposition logique est une fonction combinatoire :

- D'informations externes provenant de la partie opérative ou du poste opérateur,
- D'informations internes en rapport avec les fonctions spécifiques de l'automatisme (temporisation, comptage, ...) ou les états actifs et inactifs des autres étapes.

Dans la figure (II.1), la fonction logique notée « $tr_6 = c.b + d$ » exprime la réceptivité de la transition entre l'étape 6 et l'étape 7. Elle traduit l'information de fin de l'action a_6 .

Les notations $a \uparrow$ ou $b \downarrow$ sont employées lorsque la condition de réceptivité est liée au changement d'état de la variable logique. Dans ce cas, ces notations désignent respectivement le front montant de la variable « a » et le front descendant de la variable « b ».

Si la réceptivité est une temporisation, nous devons indiquer, après le repère t (qui signifie l'intervention du facteur temps), l'origine de la temporisation et sa durée. L'origine est l'instant du début de la dernière activation de l'étape antérieure spécifiée. A titre d'exemple, si la réceptivité tr_7 dans la figure (II.1) désigne une temporisation de 10s, on écrit alors $tr_7 = t/7/10s$ où sept signifie que l'origine du temps est le début d'activation de l'étape 7.

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

4.5 Liaisons orientées :

Elles sont de simples traits verticaux (voir la figure (II.1)) 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.

5. 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.

5.1 Actions continues :

L'ordre est émis de façon continue tant que l'étape à laquelle il est associé est active.

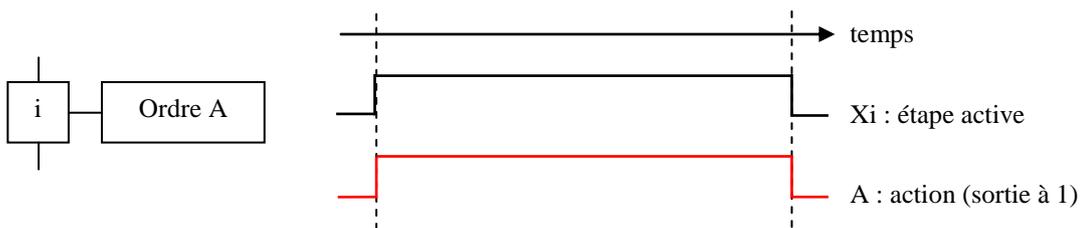


Figure (II.4) : Chronogramme de l'action continue.

5.2 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 :

- Action conditionnelle simple : Type C

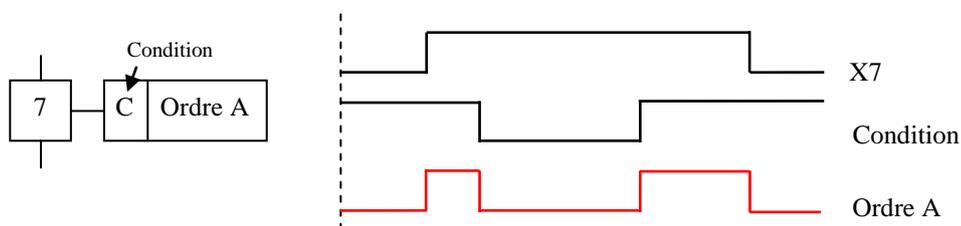


Figure (II.5) : Chronogramme de l'action conditionnelle simple.

- 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 " $t/xi/D$ " dans laquelle " xi " indique l'étape prise comme origine du temps et " d " est la durée du retard.

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

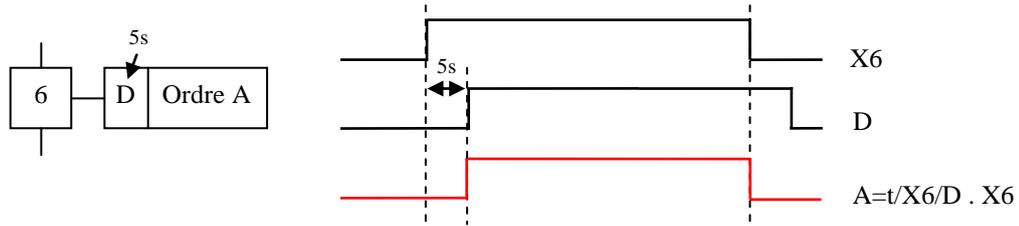


Figure (II.6) : Chronogramme de l'action retardée.

– Action de durée limitée : Type L (limited)

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

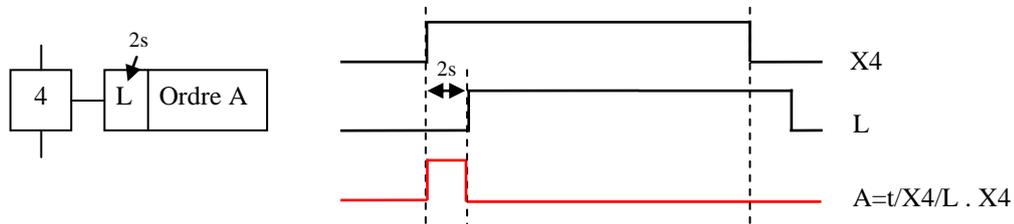


Figure (II.7) : Chronogramme de l'action de durée limitée.

5.3 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).

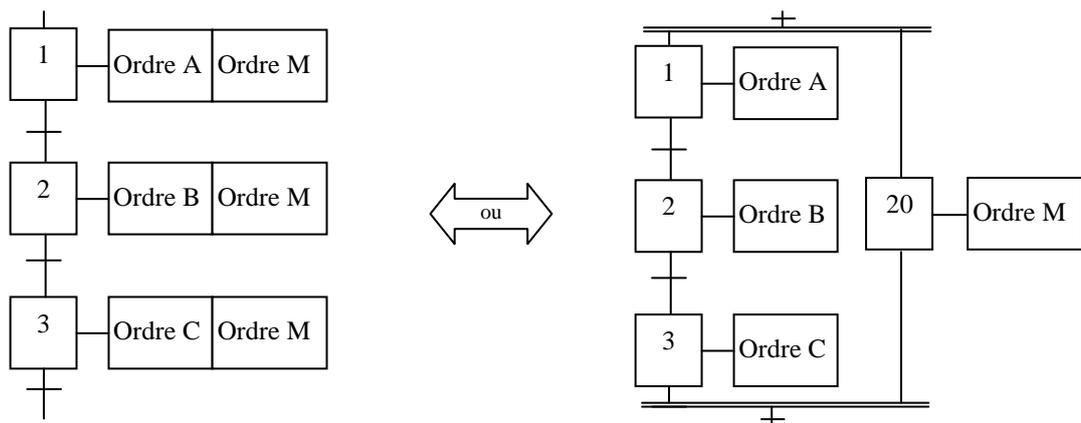


Figure (II.8) : Action maintenue sur plusieurs étapes.

5.4 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.

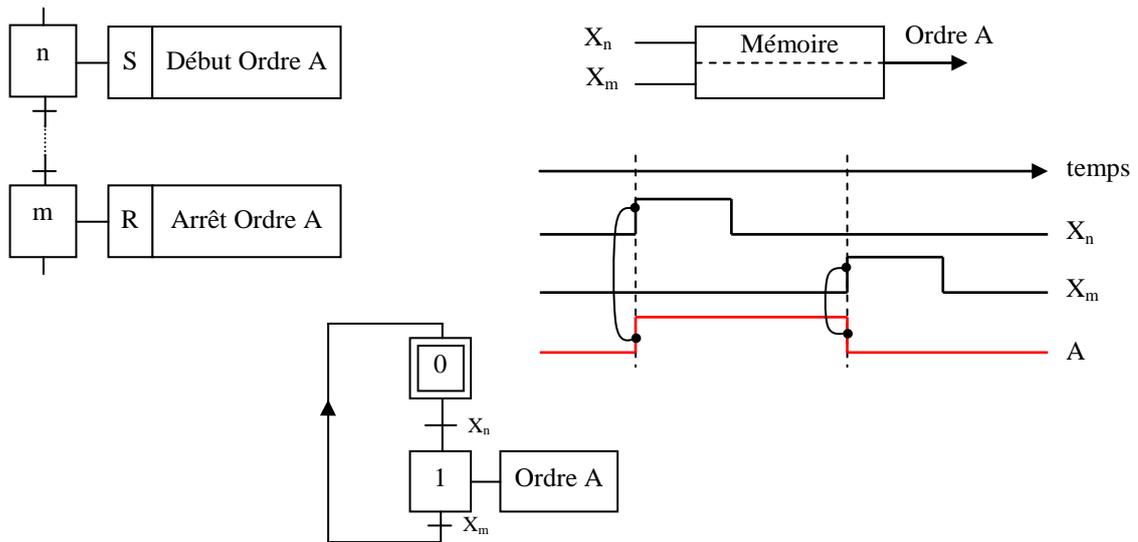


Figure (II.9) : Action à effet Maintenue par une Action Mémosée.

6. Règles d'évolution d'un GRAFCET

L'évolution du réseau s'effectue par le franchissement de transitions à partir du marquage initial, selon les règles suivantes :

- **Condition initiale** : A l'instant initial, seules les étapes initiales sont actives.
- **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.
- **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.

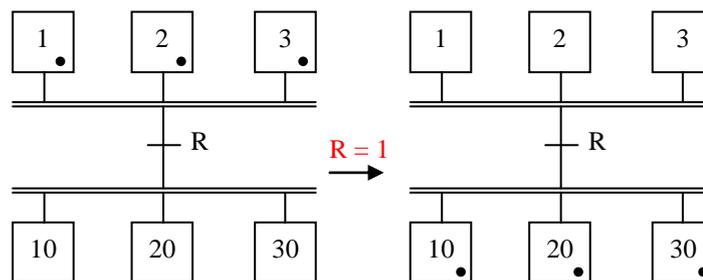


Figure (II.10) : franchissement d'une transition.

- **Franchissement simultané** : Toutes les transitions simultanément franchissables à un instant donné sont simultanément franchies.
- **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).

7. Structures de base :

Une séquence, dans un Grafcet, est une suite d'étapes à exécuter l'une après l'autre. Autrement dit chaque étape ne possède qu'une seule transition AVANT et une seule transition APRÈS. Les structures de base sont les suivantes :

7.1 Séquence unique :

Une séquence unique est composée d'une suite d'étapes pouvant être activées les unes après les autres. Chaque étape n'est suivie que par une seule transition et chaque transition n'est validée que par une seule étape.

7.2 Séquences simultanées :

Deux ou plusieurs séquences sont dites simultanées si elles présentent un parallélisme structural où le franchissement d'une transition conduit à leur activation au même temps. Après l'activation simultanée de ces séquences, les évolutions des étapes actives dans chacune des séquences deviennent indépendantes.

Pour synchroniser la désactivation des séquences simultanées, il faut prévoir des étapes d'attente.

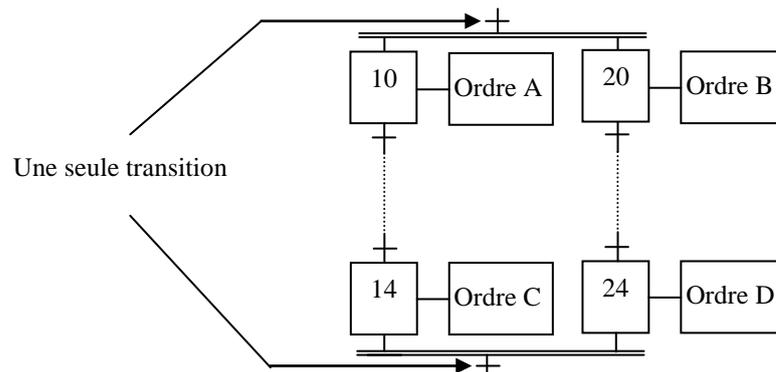


Figure (II.11) : Exemple de séquences simultanées.

7.3 Sélection de séquences :

Une sélection ou un choix d'évolution entre plusieurs séquences (ou étapes) se représente, à partir d'une ou plusieurs étapes, par autant de transitions validées qu'il y a d'évolutions possibles.

7.3.1 Séquences exclusives :

Deux séquences sont dites exclusives si les réceptivités associées aux transitions qui permettent la sélection de l'une ou l'autre séquence sont des expressions exclusives.

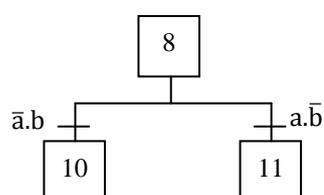


Figure (II.12) : Exemple de réceptivités exclusives.

7.3.2 Saut d'étapes et reprise de séquences :

Le saut d'étapes permet de sauter une ou plusieurs étapes par le franchissement d'une transition dont la réceptivité indiquant que les actions associées à ces étapes ne sont plus utiles ou sans effet, est vraie. C'est le cas de tr_4 dans la figure (II.12).

La reprise de séquence permet au contraire de recommencer plusieurs fois la même séquence tant que la condition fixée n'est pas obtenue. C'est le cas de tr_3 dans la figure (II.12).

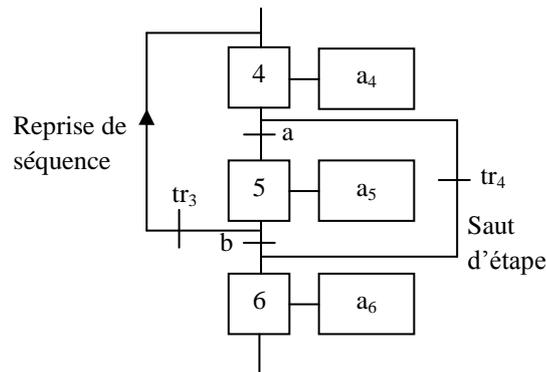


Figure (II.12) : Saut et reprise de séquences.

7.3.3 Parallélisme interprété :

Dans ce type de structure, les réceptivités ne sont pas exclusives et des évolutions simultanées sont possibles (voir figure (II.13)).

Ce parallélisme est dit interprété pour le différencier du parallélisme structural des séquences simultanées.

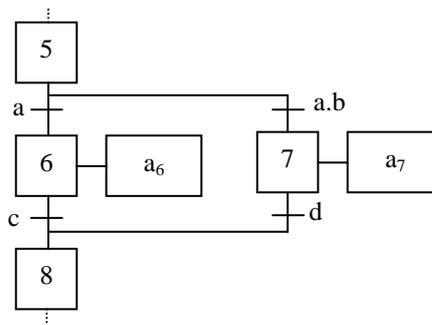


Figure (II.13) : Exemple de parallélisme interprété.

7.3.4 Réutilisation d'une même séquence :

Une même séquence, répétée plusieurs fois, peut être traitée comme un sous-programme. Une telle situation peut être représentée par la figure (II.14) qui signifie : à l'étape k est associé le sous-programme $S_{k_1-k_2}$ qui comprend les étapes k_1 à k_2 . Ce sous-programme doit faire l'objet d'un diagramme séparé.

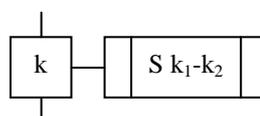


Figure (II.14) : Représentation d'une séquence réutilisable.

7.3.5 Couplage entre séquences :

Le principe, représenté dans la figure (II.15), est le suivant :

A la fin d'une séquence i , l'étape k mémorise l'autorisation donnée à la séquence $i+1$ qui pourra commencer à s'exécuter lorsque les conditions propres à cette séquence seront réalisées.

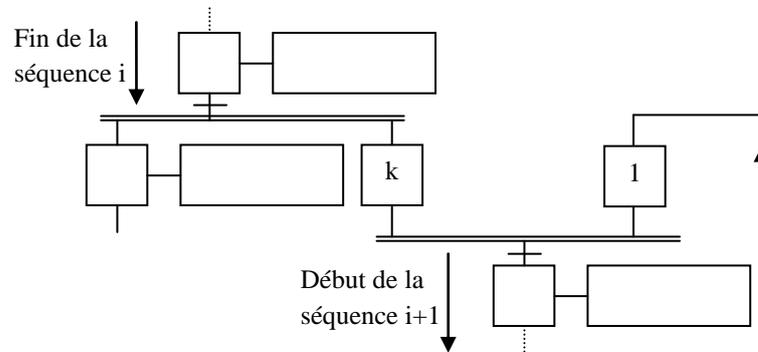


Figure (II.15) : Exemple de couplage de séquences.

7.3.6 Partage de ressources ou de séquences :

Une ressource commune, physique ou logique, peut être partagée entre plusieurs séquences utilisatrices exclusives.

L'écriture des réceptivités de la première transition de chaque séquence doit traduire la priorité logique.

Dans l'exemple de la figure (II.16), la ressource commune représentée par l'étape k permet la validation des transitions tr_i , tr_j ou tr_l et la séquence correspondante S_i , S_j ou S_l sera parcourue.

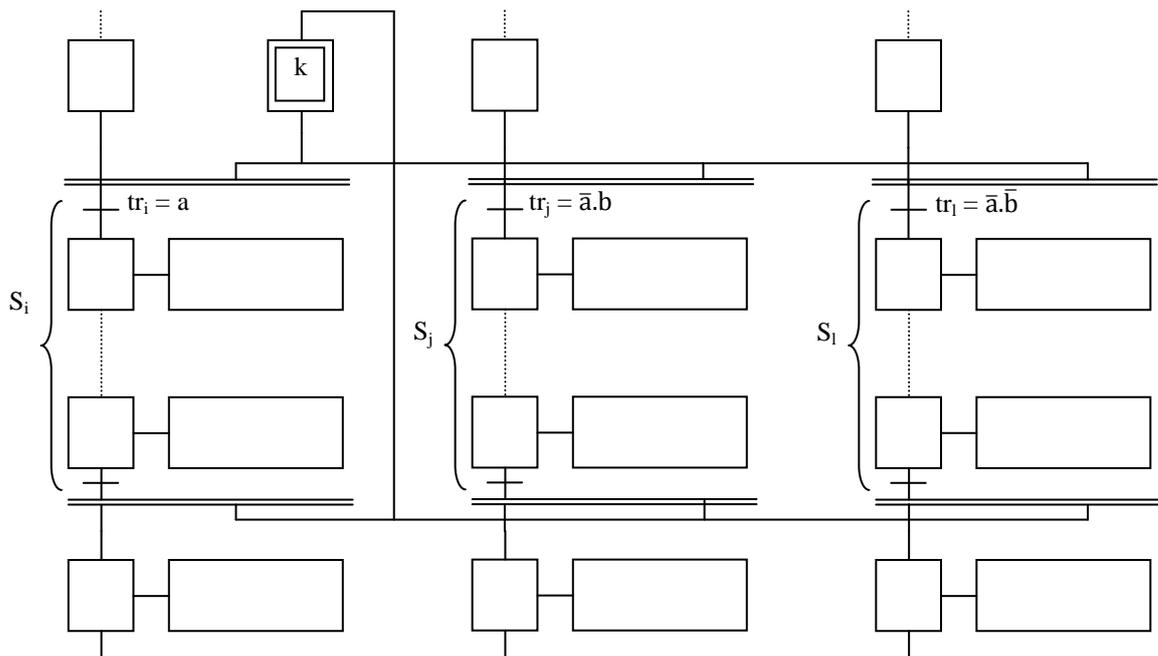


Figure (II.16) : Exemple de partage de ressources.

8. Analyse d'un GRAFCET :

8.1 Méthode de réduction :

La réduction peut être effectuée par la mise en œuvre de trois opérations de simplification élémentaires :

8.1.1 La suppression des redondantes :

La suppression des redondantes, c'est à dire celles qui ont toujours les mêmes conditions d'activation et de désactivations, quelque soit l'évolution du GRAFCET, consiste à les supprimer et ne laisser qu'une seule et à reporter les actions des étapes éliminées sur l'étape restante. Dans la figure (II.17), les étapes 1 et 4 sont des étapes redondantes car elles sont activées et désactivées dans les mêmes conditions, on peut donc supprimer une d'entre elles.

8.1.2 La fusion d'étapes :

La fusion d'étapes qui consiste à remplacer plusieurs étapes par une seule en remplaçant les actions simples par des actions conditionnées avec les réceptivités des transitions supprimées. L'exemple ci-dessous, les étapes 2 et 3 peuvent être fusionnées en prenant soins de subordonner l'action a_3 à l'existence de la condition b_2 et en conditionnant l'action a_2 avec $\overline{b_2}$.

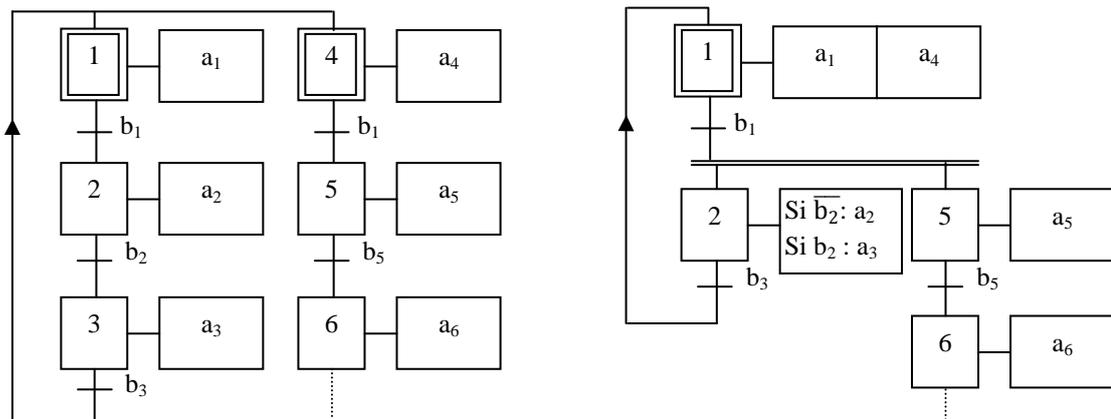


Figure (II.17) : Exemple de suppression et de fusion d'étapes dans un GRAFCET.

8.1.3 La suppression des transitions redondantes :

La suppression des transitions redondantes, c'est à dire celles qui ont les mêmes étapes d'entrée et les mêmes étapes de sortie.

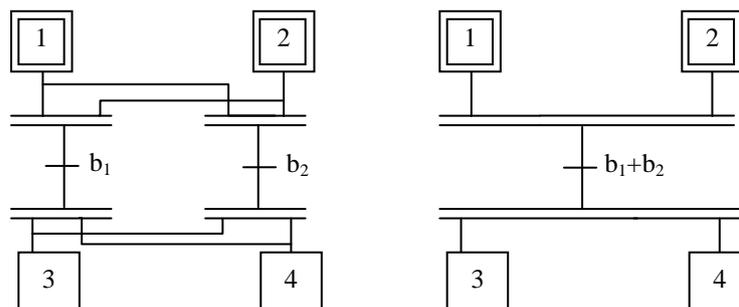


Figure (II.18) : Exemple de suppression de transition dans un GRAFCET.

8.2 Graphe des états accessibles :

Le graphe des situations accessibles décrit les différentes situations du GRAFCET qui peuvent être atteintes à partir de la situation initiale en prenant en considération les événements externes (voir la figure (II.19)).

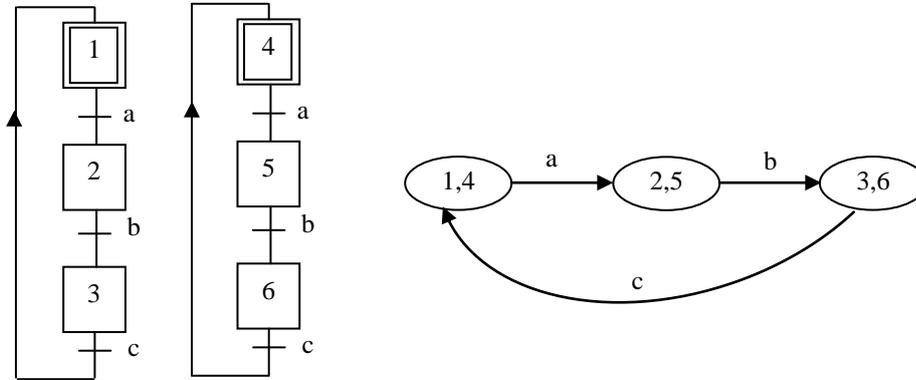


Figure (II.19) : Exemple de GRAFCET et son graphe des situations accessibles.

8.3 Liaison entre GRAFCET :

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 grafjets c'est-à-dire rendre l'évolution de l'un dépendant de l'évolution de l'autre.

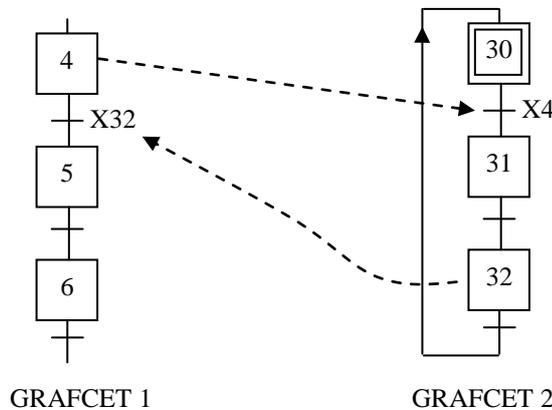


Figure (II.20) : Liaison entre grafjets.

9. Propriétés des GRAFCET :

- Un GRAFCET est propre s'il est réinitialisable.
- Un GRAFCET est vivant si à partir de toute situation accessible, il existe des séquences de franchissement qui permettent de franchir toutes les transitions, (donc il n'admet pas de situation de blocage).
- Un GRAFCET est pseudo-vivant s'il est caractérisé par le fait qu'il existe toujours au moins une transition de sortie franchissable pour toute situation accessible.
- Un GRAFCET est sauf si aucune étape n'est réactivée immédiatement après sa désactivation.

10. Conclusion :

Le Grafcet est un diagramme fonctionnel dont le but est de décrire graphiquement, suivant un cahier des charges, les différents comportements de l'évolution d'un automatisme séquentiel. Il est à la fois simple à utiliser et rigoureux sur le plan formel et constitue un unique outil de dialogue entre toutes les personnes collaborant à la conception, à l'utilisation ou à la maintenance de la machine à automatiser.

Un des points forts du Grafcet est la facilité de passer du modèle à l'implantation technologique de celui-ci dans un automate programmable industriel. Le Grafcet passe alors du langage de spécification au langage d'implémentation utilisé pour la réalisation de l'automatisme.

Le chapitre suivant sera donc consacré à l'automate programmable industriel et à son utilisation dans un système automatisé de production.