
Chapitre 3

LE GRAFCET

Objectifs :

Dans ce chapitre, nous étudierons un outil de représentation graphique des comportements dynamiques des systèmes automatisés : Le GRAFCET.

Cet outil peut être utilisé dans les différentes phases du processus d'automatisation en partant de la spécification du cahier des charges jusqu'à l'implémentation de l'automatisme.

Au cours de ce chapitre, vous aurez les informations de base concernant cet outil tels que les symboles utilisés, les règles appliquées et les structures de base employées. Un exemple d'illustration sera détaillé à la fin du chapitre.

A la fin de ce chapitre, vous serez capable de représenter le fonctionnement de tout système de production par un grafcet réduit ou détaillé selon le besoin !

I. Introduction

1) Le Processus de conception :

La conception d'un système automatisé procède par trois étapes successives qui sont : l'analyse de la demande, la pré-étude et l'étude de l'automatisation.

a- L'analyse de la demande :

Cette étape a pour objectif la rédaction du cahier des charges en fonction des besoins exprimés par le client.

Au-delà des aspects purement techniques, il convient dès cette étape de s'assurer que l'automatisation apporte une réelle valeur ajoutée. C'est-à-dire que l'investissement pour l'automatisation : études, équipements, réalisations, mise au point, formations, frais financiers,... est inférieur aux gains directs induits sur la production : économies de main d'œuvre, de matières, d'énergie, amélioration de la qualité ...

b- La pré-étude :

Son objectif est de spécifier et prédimensionner un avant projet. Il en résulte un cahier des charges précis de la partie commande et de la partie opérative.

c- L'étude d'automatisation :

C'est le dimensionnement détaillé d'une solution et l'étude fonctionnelle de la partie commande. On distingue en règle générale, les études qui portent sur la partie opérative et celles qui portent sur la partie commande.

C'est lors de cette troisième étape qu'est utilisé le GRAFCET.

2) Cahier des charges :

Le cahier des charges est le descriptif fourni par l'utilisateur au concepteur de l'automatisme pour lui indiquer les différents modes de marches et les sécurités que devra posséder l'automatisme. Il décrit le comportement de la partie opérative par rapport à la partie commande.

Cette description du fonctionnement d'un système automatisé ne doit pas être source de malentendus (mots ambigus, mots techniques...). En effet, l'automaticien doit se référer au cahier des charges pour réaliser l'automatisme, il fait force de loi.

Plusieurs outils ont été utilisés tels que le GRAFCET, les organigrammes, les logigrammes, les chronogrammes, ...

Cependant le GRAFCET est devenu l'outil préférable de l'automaticien, d'où l'intérêt que nous allons porter dans ce chapitre à cet outil de description.

II. Le GRAFCET

1) Introduction :

Le GRAFCET est né en 1977 des travaux de l'AFCE (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique), en tant que synthèse théorique des différents outils existants à cette époque (organigramme, réseaux de Pétri, ...).

Il a été mis sous sa forme graphique actuelle par et l'ADEPA (Agence pour le Développement de la Productique Appliquée) en 1979, normalisé sur le plan français (norme NF C03-190), et il est aujourd'hui normalisé sur le plan international (norme CEI 848).

C'est un modèle de représentation graphique des comportements dynamiques de la partie commande. Sa formulation est indépendante de toute technologie de réalisation (que celle-ci soit câblée ou programmée).

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 décrites.

2) Le modèle GRAFCET :

Le GRAFCET est un modèle de représentation graphique des comportements dynamiques de la partie commande, préalablement défini par ses entrées et ses sorties. Il décrit les interactions entre la partie commande et la partie opérative à partir de la frontière d'isolement.

Ce modèle est défini par un ensemble constitué :

- d'éléments graphiques de base : les étapes, les transitions et les liaisons orientées, formant l'ossature graphique du GRAFCET ;

- d'une interprétation, traduisant les comportements de la partie commande vis-à-vis de ses entrées/sorties et caractérisée par les actions associées aux étapes et les réceptivités associées aux transitions;
- de cinq règles d'évolution, définissant formellement le comportement dynamique.

a- Eléments graphiques de base et interprétation :

i- Etape : Elle caractérise un comportement invariant d'une partie ou de la totalité de la partie commande à un instant donné : elle correspond à une phase durant laquelle on effectue une ACTION pendant une certaine DUREE (même faible mais jamais nulle).

L'action doit être stable, c'est à dire que l'on fait la même chose pendant toute la durée d'activation de l'étape, mais la notion d'action est assez large, en particulier composition de plusieurs actions, ou à l'opposé l'inaction (étape dite d'attente).

L'étape sera symbolisée par un carré et repérée par un identificateur, en général un numéro, mais pas nécessairement croissant par pas de 1, il faut simplement que deux étapes différentes n'aient pas le même numéro. L'action est représentée dans un rectangle à gauche de l'étape.



Par l'ensemble de ces étapes, le GRAFCET représente l'ensemble des comportements possibles du système.

Remarques :

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



- L'étape initiale (initialement active au début du fonctionnement) sera représentée par un double carré.



- Suivant l'évolution du système, une étape est soit active, soit inactive et l'ensemble des étapes actives définit la situation de la partie commande.

Une étape est dite active lorsqu'elle correspond à une phase "en fonctionnement", c'est à dire qu'elle effectue l'action qui lui est associée. On représente quelquefois une étape active à un instant donné en dessinant un point à l'intérieur ou en changeant la couleur.



A chaque étape numéro i on associe une variable booléenne X_i tel que: si l'étape est active alors $X_i = 1$ sinon $X_i = 0$.

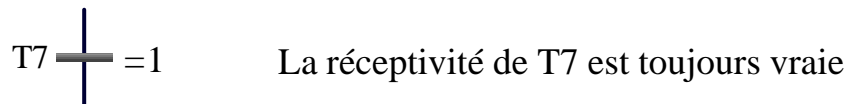
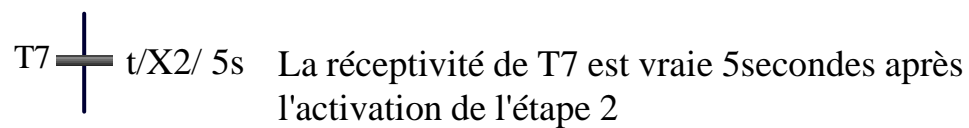
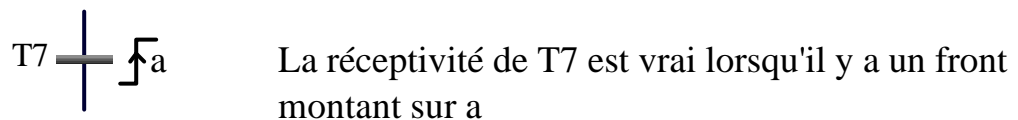
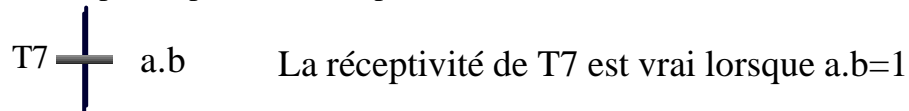
ii- Transition : Elle indique la possibilité d'évolution entre étapes. Chaque transition représente une et une seule possibilité d'évolution.

A 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.

On représente une transition par un petit trait horizontal sur une liaison verticale. On note à droite la réceptivité et on peut noter à gauche un numéro de transition T_i (entier positif, indépendant des numéros d'étapes).

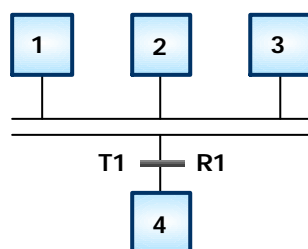


La réceptivité peut être sous plusieurs formes :

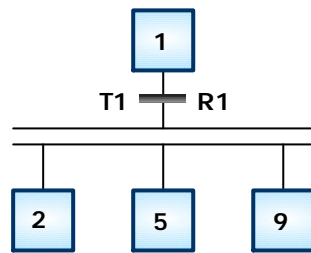


Remarques :

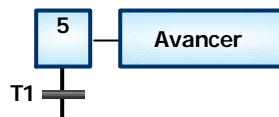
- Dans le cas de plusieurs liaisons arrivant sur une transition, on les fait converger sur une grande double barre horizontale, qui n'est qu'une représentation du dessus de la transition.



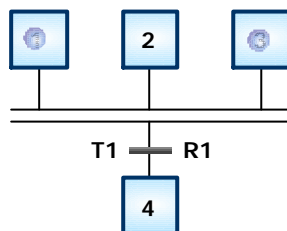
- De même le cas où plusieurs liaisons partent d'une transition (ceci représente plusieurs séquences simultanées), on utilise une grande double barre horizontale à la sortie de la transition.



- Une transition est dite validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes reliées à cette transition sont actives (toutes celles reliées directement à la double barre supérieure de la transition).



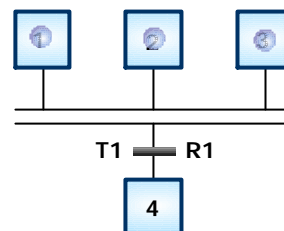
T1 n'est pas une transition validée



T1 n'est pas une transition validée
car l'étape 2 n'est pas active



T1 est une transition validée



T1 est une transition validée

- Une transition ne sera franchie que lorsqu'elle est validée et la réceptivité qui lui est associée est vraie .

iii- Liaisons : Les liaisons orientées relient les étapes aux transitions et les transitions aux étapes : elles indiquent les voies d'évolution du GRAFCET. Dans le cas général, les liaisons qui se font de haut vers le bas ne comportent pas de flèches. Dans les autres cas, il faut utiliser des flèches.

b- Règles d'évolution du GRAFCET :

La modification de l'état de l'automatisme est appelée évolution, et est régie par 5 règles que nous allons détailler dans ce paragraphe (extrait de la norme NF C 03-190).

Règle 1 : Situation initiale :

La situation initiale caractérise le comportement initial de la partie commande et correspond aux étapes actives au début du fonctionnement (à la mise sous tension du système).

Elle est représentée par les étapes initiales qui sont souvent des étapes d'attente pour ne pas effectuer une action dangereuse par exemple après le rétablissement de l'alimentation électrique suite à une panne du secteur.

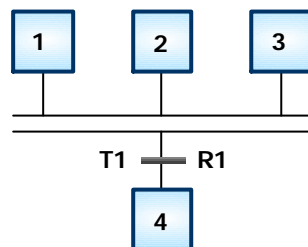


Règle 2 : Franchissement d'une transition :

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

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

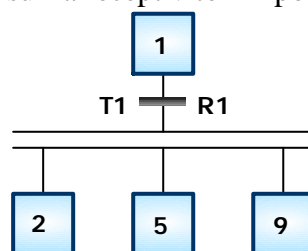
Exemple : la transition T1 du grafcet ci-dessous ne peut être franchie que si les 3 étapes d'entrée 1, 2 et 3 sont actives et la réceptivité R1 est vraie. Pour tester ce grafcet vous pouvez cliquer sur les étapes d'entrée de votre choix pour les activer et sur la réceptivité R1 pour la forcer à l'état vraie. Observer le résultat à chaque situation !



Règle 3 : Evolution 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.

Exemple : lors du franchissement de la transition T1 du grafcet ci-contre, il y aura simultanément activation des étapes 2, 3 et 4 et désactivation de l'étape 1. Pour tester ce grafcet vous pouvez cliquer sur l'étape d'entrée pour l'activer et sur la réceptivité R1 pour la forcer à l'état vraie. Observer le résultat !

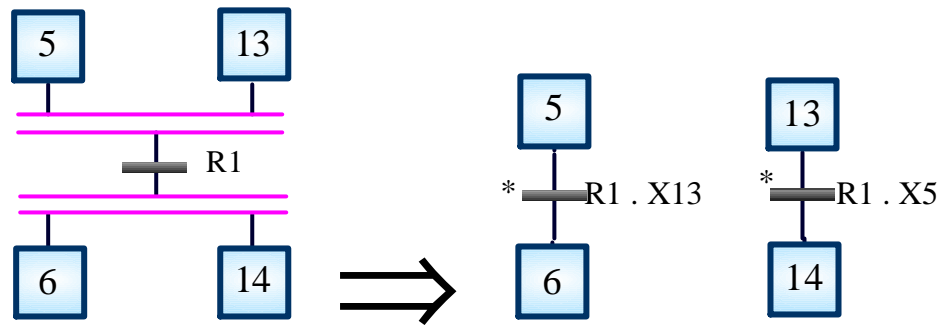


Règle 4 : Evolutions simultanées :

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 de l'étapes i notés X_i et $/X_i$ respectivement.

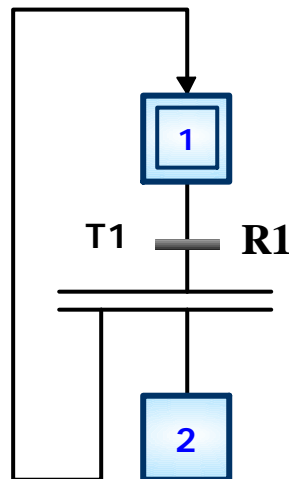
Pour mettre en évidence les franchissement simultanés, les transitions correspondantes seront repérées par un astérisque (*).



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.

Exemple : La validation de la réceptivité R1 de la transition T1 du grafcet suivant engendre à la fois l'activation et la désactivation de l'étape 1. Cette étape reste donc active. Vous pouvez tester ce fonctionnement en validant R1.



Règle 6 : Durées de franchissement et d'activité :

La durée de franchissement d'une transition est considérée théoriquement comme aussi petite que l'on veut, mais non nulle, même si en pratique cette durée peut être imposée par la technologie utilisée pour la réalisation de l'automatisme.

De même, la durée d'activité d'une étape ne peut pas être nulle, mais suffisante, si besoin est, pour effectuer une action fugitive à la vitesse de la partie commande.

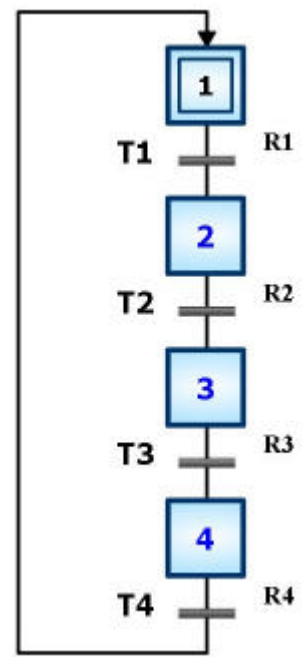
III. Structures de base :

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.

La séquence est dite active si une parmi ses étapes est active et inactive lorsque toutes ses étapes sont inactives.

Exemple : pour le grafcet ci-contre une seule séquence linéaire peut être exécutée : l'activation successivement des étapes 1, 2, 3 et 4.

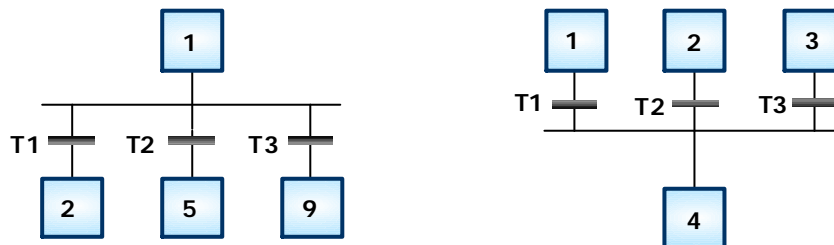


2) Sélection de séquence ou Aiguillage :

a- OU divergent / Convergent :

Une sélection de séquence est un choix d'évolution entre plusieurs séquences à partir d'une ou de plusieurs étapes.

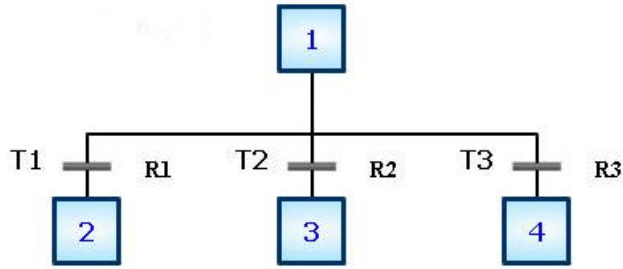
Une étape peut être reliée à plusieurs transitions en amont ou en aval :



Les notions des transitions en OU convergent et OU divergent sont introduites.

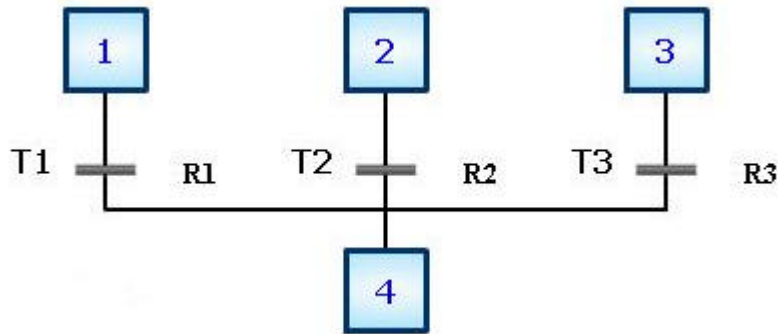
- i- OU divergent* : Le OU divergent permet de prendre en compte un choix : "aiguillage" entre deux possibilités d'évolution. Ce choix d'évolution entre plusieurs étapes ou séquences se présente, à partir d'une ou plusieurs étapes, par autant de transitions validées qu'il y a d'évolutions possibles. L'évolution du système vers une branche dépend des réceptivités associées aux différentes transitions.

Exemple : Sur cet exemple, lorsque l'étape 1 est active, la validation de l'une des réceptivités R_i conduit à l'activation de l'étape de sortie correspondante.



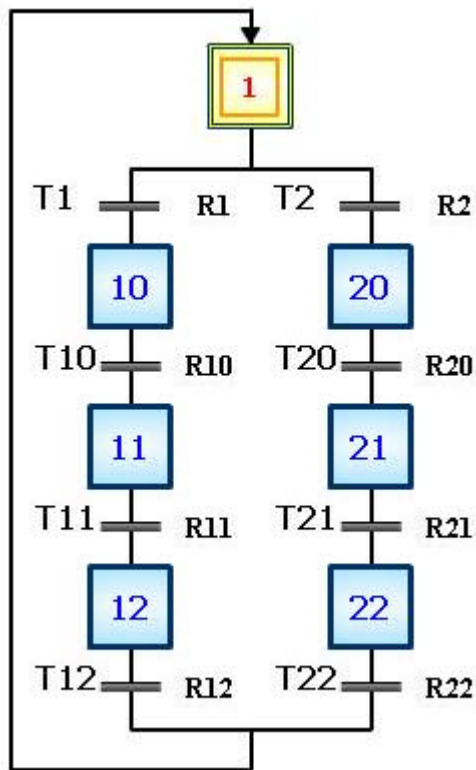
ii- OU convergent : Après l'évolution dans une branche, il y a convergence vers une étape commune.

Exemple:

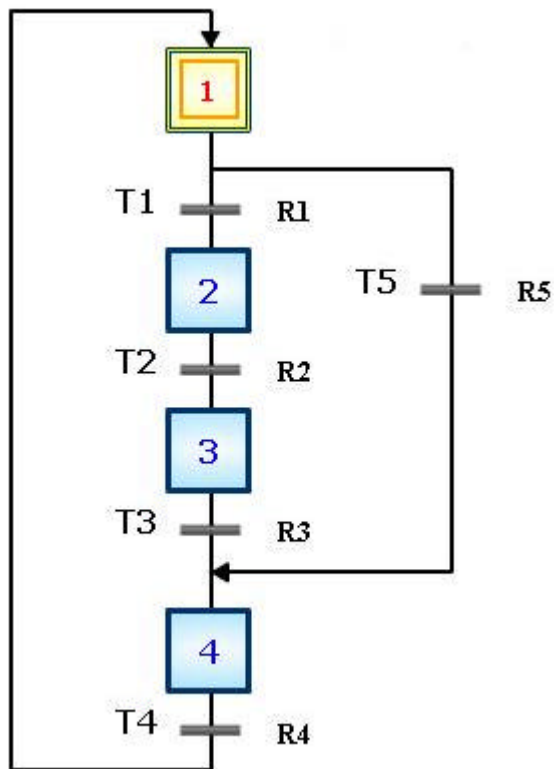


Remarques :

- Après une divergence en OU, on trouve une convergence en OU.
- Le nombre de branches peut-être supérieur à 2.
- La convergence de toutes les branches ne se fait pas obligatoirement au même endroit.
- Dans le cas de cette structure on trouve une nouvelle qui est la structure exclusive, en effet pour obtenir une sélection exclusive entre plusieurs évolutions possibles à partir d'une même étape, il est nécessaire de s'assurer que toutes les réceptivités associées aux transitions sont exclusives, c'est à dire qu'elles ne peuvent pas être vraies simultanément. Il y a deux d'exclusion :
 - d'ordre physique (incompatibilité mécanique ou temporelle) .
 - d'ordre logique ceci se manifeste dans l'écriture de réceptivités

**b- Saut d'étape:saut en avant :**

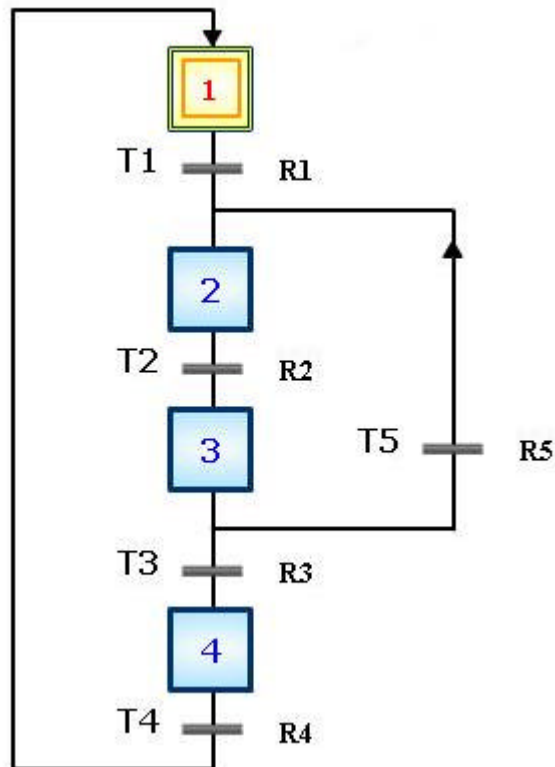
Il permet de sauter une ou plusieurs étapes lorsque les actions à réaliser deviennent inutiles.



Dans l'exemple ci-contre, le saut des étapes 2 et 3 est effectué lorsque l'étape 1 est active et la réceptivité R5 est valide. Dans ce cas, la transition T5 sera franchie ce qui aboutit à l'activation de l'étape 4. Tester ce concept !

c- Reprise d'étape:saut en arrière :

Il permet de reprendre une séquence lorsque les actions à réaliser sont répétitives.



Remarque :

Pour éviter le problème d'indéterminisme, il faut utiliser des réceptivités mutuellement exclusives.

3) Séquences simultanées :

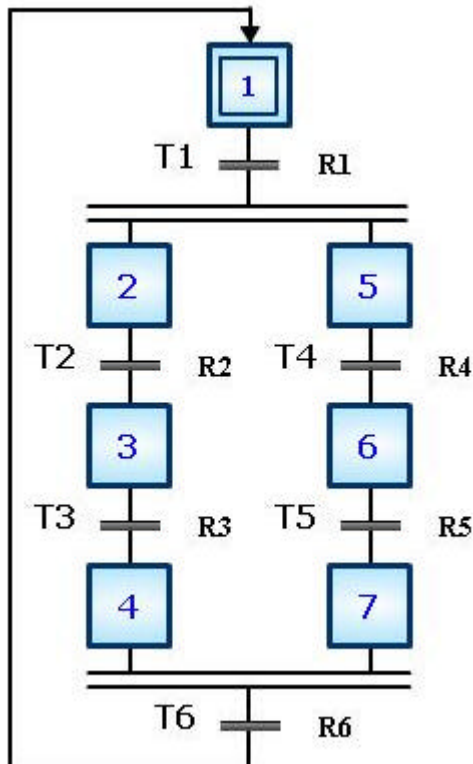
Souvent, dans une machine automatique à postes multiples, plusieurs séquences s'exécutent simultanément, mais les actions des étapes de chaque branche restent indépendantes. Pour représenter ces séquences simultanées, nous utilisons la structure en ET divergeant qui est représentée par une transition unique suivi de 2 traits parallèles indiquant le début des séquences simultanées et la structure en ET convergeant qui est représentée par 2 traits parallèles et suivi par une transition unique indiquant la fin des séquences simultanées.

a- Divergence et convergence en ET:

Une transition peut supporter plusieurs étapes en amont et plusieurs étapes en aval : la notion de transitions en ET divergent, ET convergent est introduite. Le ET divergent et le ET convergent permettent de décrire deux ou plusieurs séquences parallèles.

Exemple :

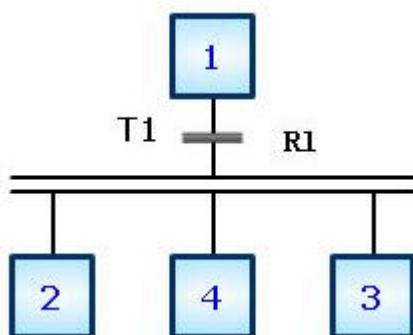
- Divergence en ET : lorsque la transition T1 est franchie, les étapes 2 et 5 sont actives.
 - Convergence en ET : la transition T6 sera validée lorsque les étapes 4 et 7 seront actives.
- Si la réceptivité associée à cette transition est vraie, alors celle-ci est franchie.



i- Début de séquences simultanées (divergence en ET) :

Lorsque le franchissement d'une transition conduit à activer plusieurs séquences en même temps, ces séquences sont dites simultanées.

Un seul symbole commun de transition est permis au dessus de la double ligne horizontale de synchronisation.

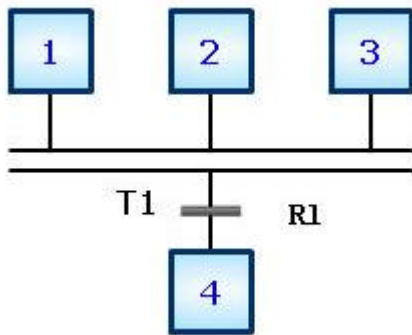


Après l'activation de ces séquences, les évolutions des étapes actives dans chacune des séquences deviennent alors indépendantes.

Fin de séquences simultanées (convergence en ET):

- Dans le but de synchroniser la convergence de plusieurs séquences en même temps, la structure ci-contre est utilisée.

-Un seul symbole commun de transition peut être placé en dessous de la double ligne horizontale de synchronisation.

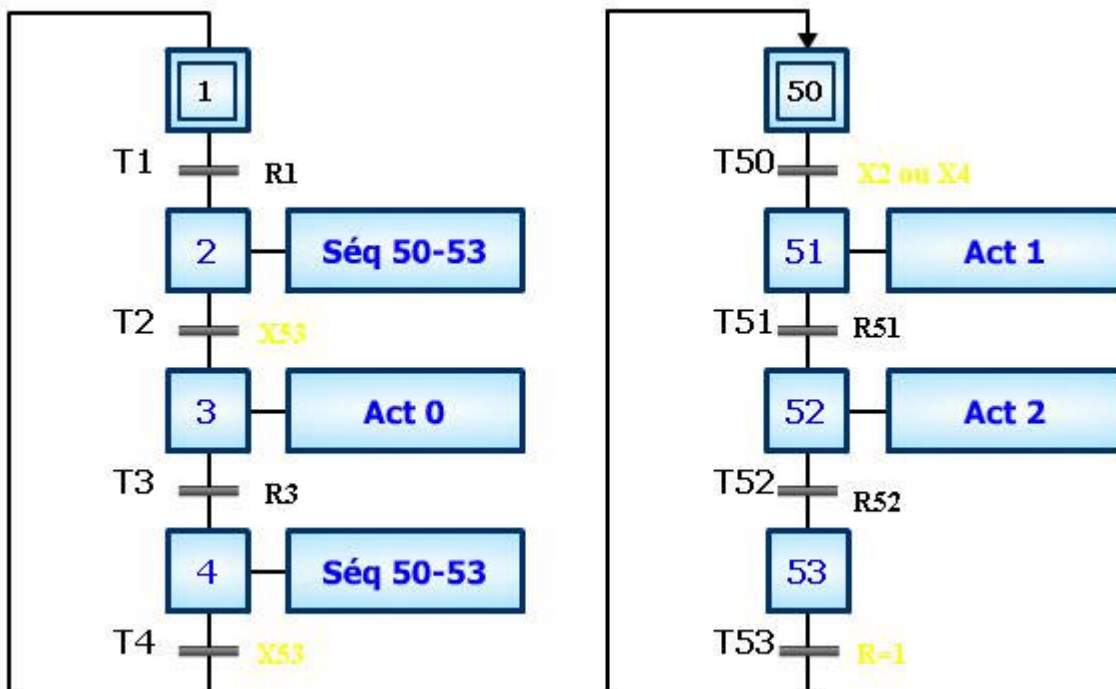


Remarques :

- Après une divergence en ET, on trouve souvent une convergence en ET.
- Le nombre de branches parallèles peut-être supérieur à 2.
- La réceptivité associée à la convergence peut-être de la forme $= 1$.
Dans ce cas la transition est franchie dès qu'elle est active.

4) Réutilisation d'une séquence (notion de tâche) :

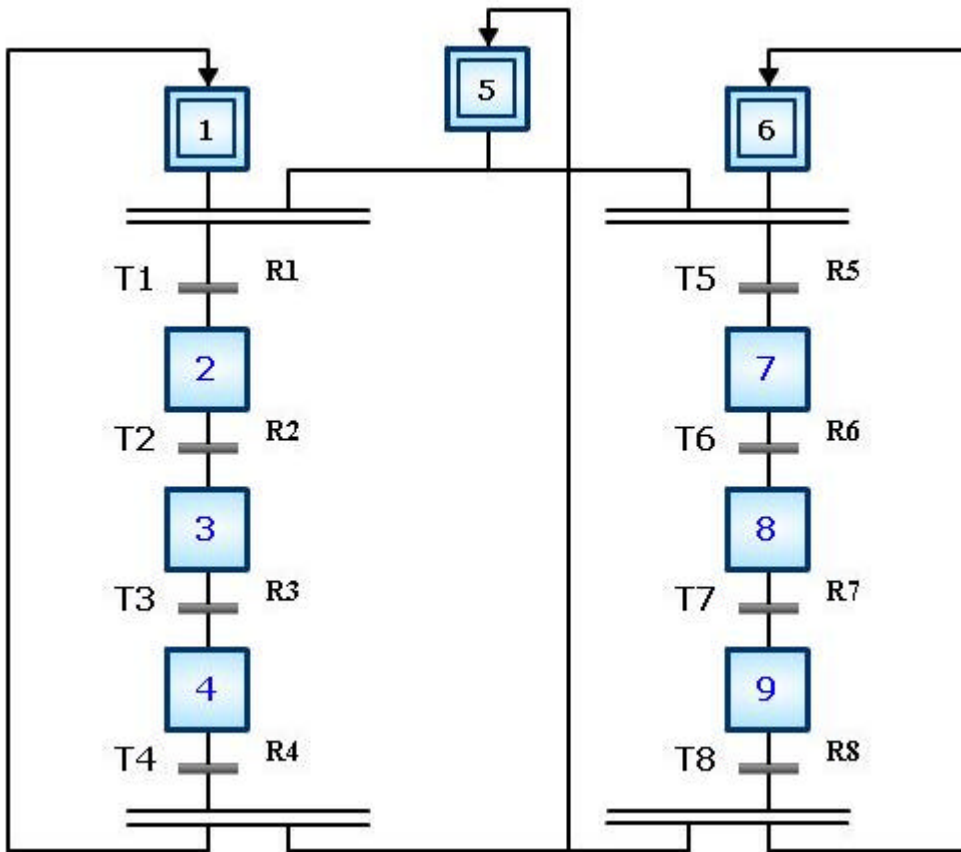
En fait une séquence fonctionnelle utilisée plusieurs fois peut être organisée en un sous diagramme. Cette séquence deviendra opérationnelle à chaque demande si elle est disponible, et elle peut être considérée comme action associée à plusieurs étapes.



5) Partage de ressource:

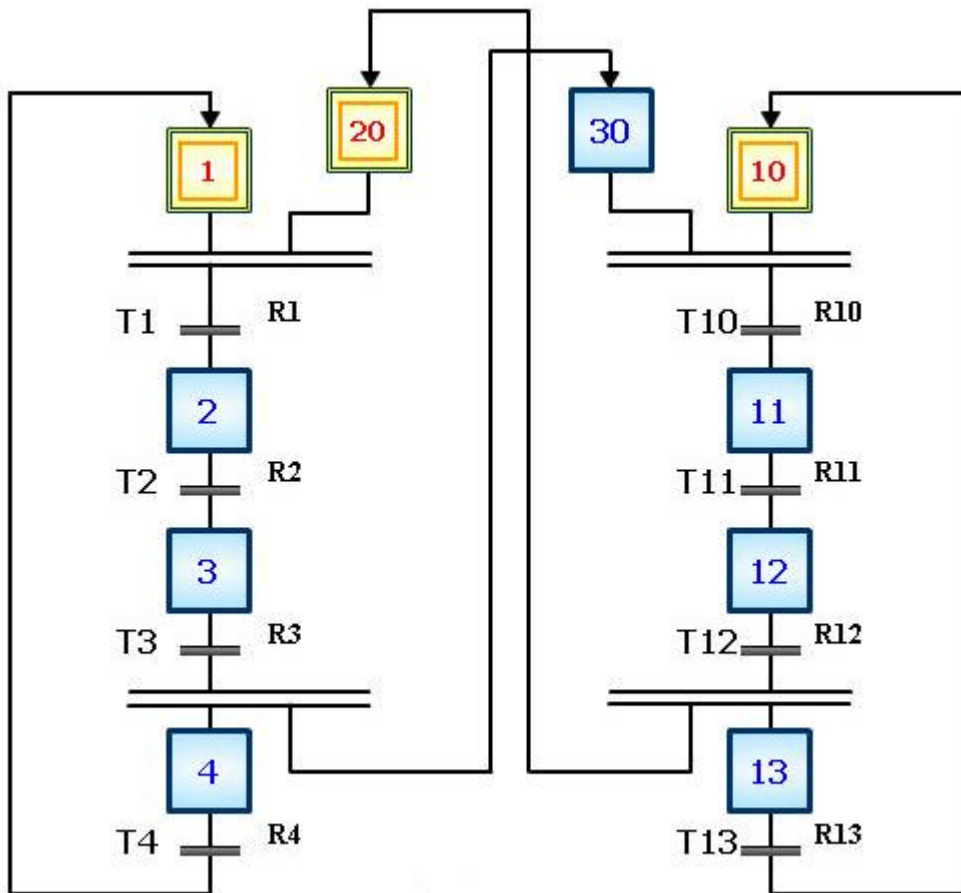
Une ressource représentée sous la forme d'une étape peut être partagée entre plusieurs séquences utilisatrices devant s'exécuter exclusivement. Lorsque cette étape est active, la ressource sera attribuée à la première transition franchissable.

Elle utilise une ET divergente pour la libération de ressource et une ET convergente pour sa prise.



6) Séquences alternées : Etape de Synchronisation :

Cette particularité se compose d'une étape initiale complémentaire et d'une étape normale. Elles synchronisent deux séquences dans le cas où une séquence devant obligatoirement se dérouler après une autre.



7) Macro-Représentation et Représentation détaillée :

Devant la complexité des systèmes automatisés actuels, il devient indispensable d'utiliser une méthodologie rigoureuse pour définir la commande. Celle-ci est basée sur l'utilisation d'une approche progressive structurée en partant d'un haut niveau de description (macro-représentation) jusqu'au niveau de détail complet où tous les ordres et informations élémentaires sont pris en compte. Ceci permet d'obtenir une représentation claire et précise dont les avantages sont :

- une représentation homogène facilement analysable ;
- sur format réduit : A4, A3 ;
- approche pédagogique ;
- facilité de mise à jour, ...

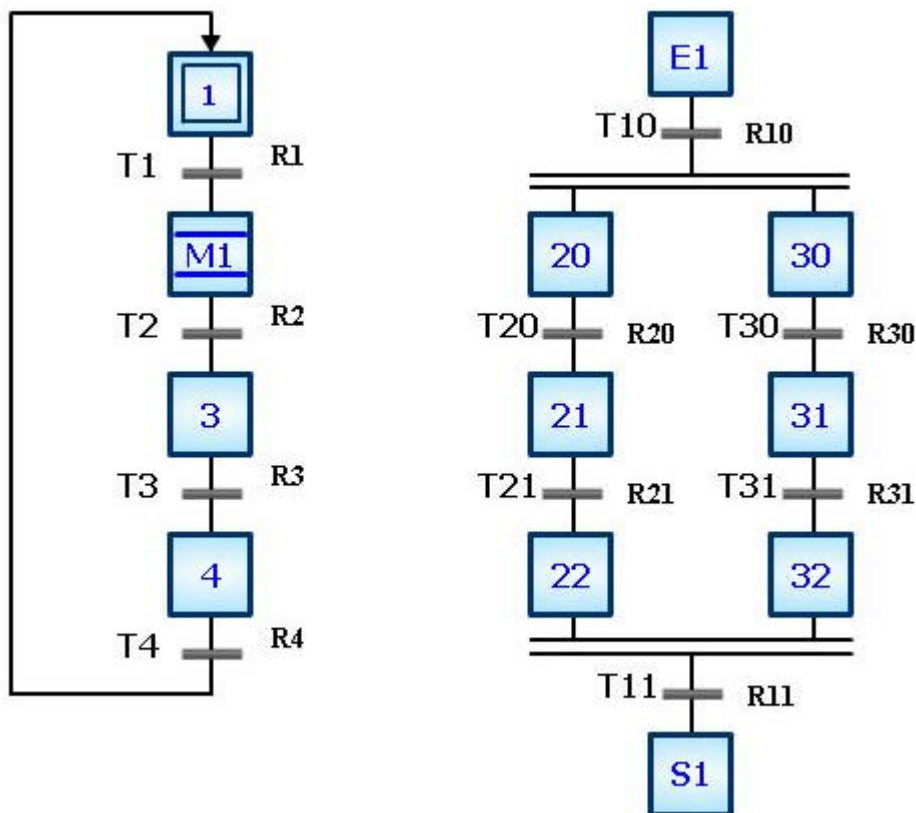
La Macro-Etape : est la représentation unique d'un ensemble fonctionnel d'étapes et de transitions appelé : expansion de Macro-Etape.

Les règles associées à la macro-étape sont :

- l'expansion de Macro-Etape comprend une étape d'entrée et une étape de sortie ;
- l'étape de sortie participe à la validation des transitions avales
- aucune liaison entre la Macro-Etape et son environnement en dehors de ses points d'accès qui sont l'étape d'entrée et l'étape de sortie

Remarque :

L'expansion d'une macro-étape peut comporter d'autres macro-étapes et des étapes initiales. Cependant, il faut éviter que ces étapes initiales ne soient l'étape de sortie ou d'entrée de l'expansion de le Macro-Etape.



Chapitre 3	1
LE GRAFCET	1
I. Introduction	1
1) Le Processus de conception :	1
a- L'analyse de la demande :	1
b- La pré-étude :	1
c- L'étude d'automatisation :	1
2) Cahier des charges :	2
II. Le GRAFCET	2
1) Introduction :	2
2) Le modèle GRAFCET :	2
a- Eléments graphiques de base et interprétation :	3
b- Règles d'évolution du GRAFCET :	5
III. Structures de base :	7
1) Séquence unique:	8
2) Sélection de séquence ou Aiguillage :	8
a- OU divergent / Convergeant :	8
b- Saut d'étape: saut en avant :	10
c- Reprise d'étape: saut en arrière :	12
3) Séquences simultanées :	12
a- Divergence et convergence en ET:	12
4) Réutilisation d'une séquence (notion de tâche) :	14

5) Partage de ressource:.....	14
6) Séquences alternées : Etape de Synchronisation :.....	15
7) Macro-Représentation et Représentation détaillée :.....	16