

Chapitre 13

Le Grafcet

Le GRAFCET (GRaphe Fonctionnel de Commande Étape / Transition) est un outil de spécification de la partie séquentielle d'un système automatisé depuis le cahier des charges jusqu'à son exploitation.

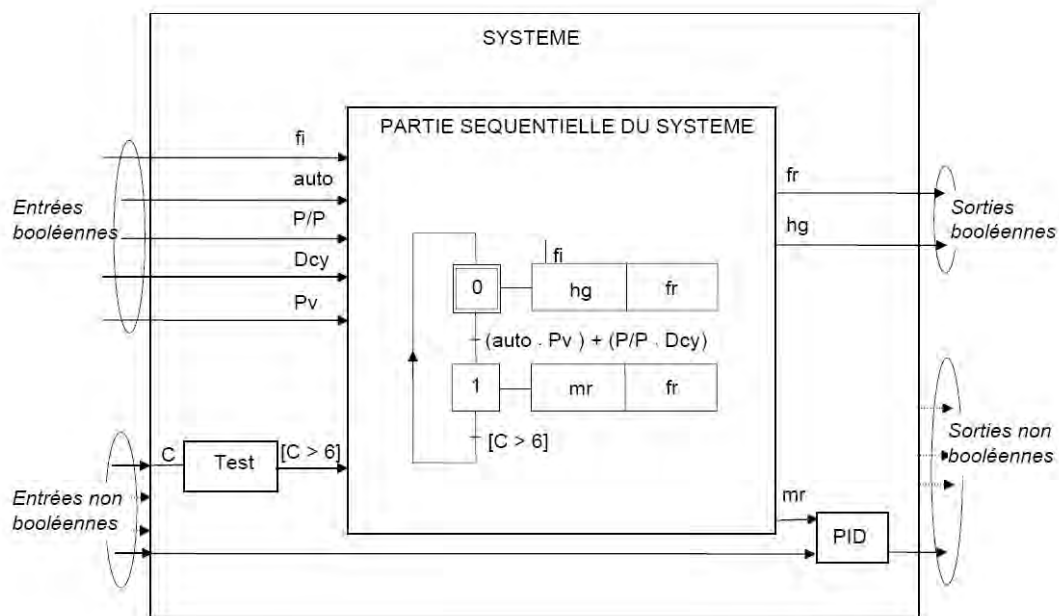


FIGURE 13.1 – Situation du grafcet dans un système séquentiel

Le GRAFCET est né en 1975 des travaux du groupe de travail “systèmes logiques” de l’AFCET¹ sur la normalisation de la représentation du cahier des charges d’un automate logique. En partant des modèles existants (Réseau de Petri, Graphe d’état ou Organigramme), ils développèrent un nouvel outil de modélisation, appelé GRAFCET². Les

1. Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique, association créée en 1968 et dont le but était de promouvoir les nouvelles technologies, elle a été remplacée depuis par l’ASTI (Association française des sciences et technologies de l’information).

2. L’acronyme est double GrAFCET pour groupe de l’AFCET et GRAFCET pour GRaphe Fonctionnel

résultats de ces travaux firent l'objet de publications en 1977, date de naissance officiel du petit GRAFCET. Dès 1979, sous l'impulsion de l'AFCET auprès des enseignants techniques et de l'ADEPA³ auprès des PMI/PME, le GRAFCET commence à être utilisé puis il fait l'objet d'une norme AFNOR en 1982 (NF C03-190).

Au départ national, cet outil de modélisation est maintenant utilisé de manière internationale⁴ par toutes les entreprises nécessitant une production automatisée, il est normalisé au plan international depuis 1987 (on parle alors de SFC pour Sequential Function Chart).

Le GRAFCET fait l'objet de la norme CEI 60848-2 publiée en Août 2002 "Langage de spécification GRAFCET pour diagrammes fonctionnels en séquence".

REMARQUE 1 *GRAFCET en majuscules désigne le modèle en général, alors que grafcet en minuscules désigne la représentation d'un système logique donné... utilisant bien sur le modèle GRAFCET.*

La partie séquentielle d'un système est caractérisée par ses variables d'entrée, ses variables de sortie et son comportement. Cette partie séquentielle ne comporte que des variables d'entrées et de sorties booléennes. Toutefois le langage de spécification GRAFCET permet par extension de décrire le comportement de variables non booléennes (exemple : évaluation d'un prédicat ou affectation d'une valeur numérique à une variable).

Il est important de noter qu'il existe d'autres types de spécification d'un système séquentiel, nous en avons déjà vu certaines :

- les réseaux de Pétri,
- les graphes d'état,
- les chronogrammes,
- les algorithmes et les organigrammes.

13.1 Notions de base

Le GRAFCET est utile pour concevoir des grafkets donnant une représentation graphique et synthétique du comportement des systèmes. La représentation distingue :

- la structure avec les éléments graphiques (étapes, liaisons orientées, transitions), qui permet de décrire les évolutions possibles entre les situations,
- l'interprétation, qui fait la relation entre les variables d'entrées, la structure, et les variables de sorties (actions associées aux étapes, réceptivités associées aux transitions),
- des règles d'évolution, d'assignation et d'affectation définissent formellement le comportement dynamique de la Partie Commande.

CAHIER DES CHARGES 1

Un chariot doit effectuer un aller retour entre deux positions "chariot à gauche" et "chariot à droite". Lorsqu'il est à gauche, l'appui sur le bouton "départ cycle" provoque un cycle de déplacement.

de Commande Étape / Transition.

3. Agence nationale pour le Développement de la Production Automatisée.

4. Il est même à la base de langages de programmation d'automates programmables (PL7-2 de Télémécanique).

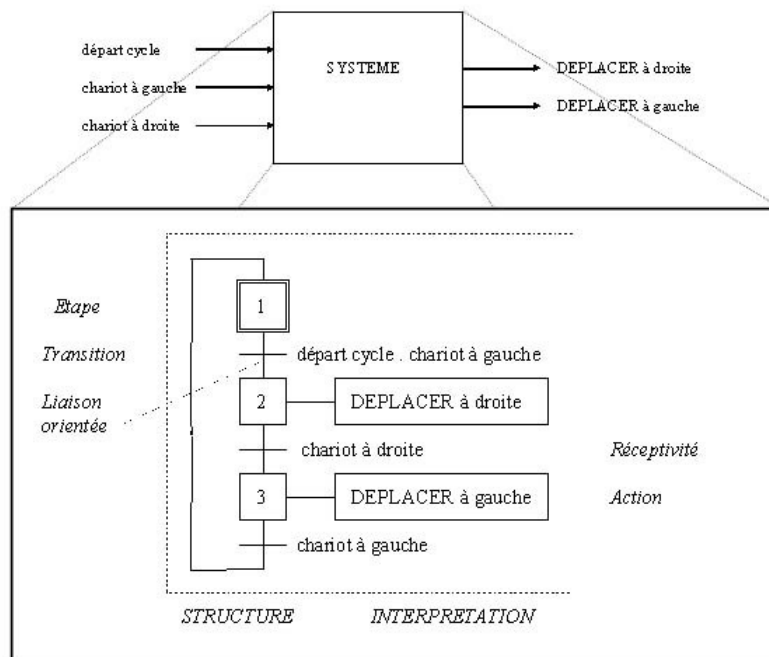


FIGURE 13.2 – Principe du GRAFCET

13.1.1 Les étapes

Une étape est représentée par un carré et identifiée par un numéro. A un instant donné, une étape est soit active, soit inactive.

On représente une étape active par un point dans sa partie inférieure.

L'ensemble des étapes actives d'un Grafcet à un instant donné définit la situation de ce Grafcet à l'instant considéré (on la note par exemple $\{3; 10; 101\}$ où les étapes 3, 10 et 101 sont actives).

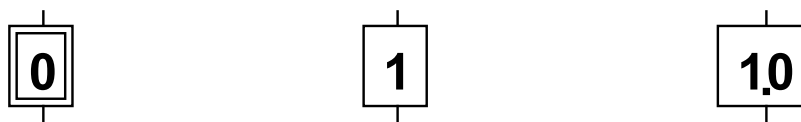


FIGURE 13.3 – Étape initiale, étape et étape active

Les étapes initiales se représentent par un double carré. Elles indiquent la situation initiale du système, elles sont les étapes actives du Grafcet à l'instant initial.

REMARQUE 2 Plusieurs étapes initiales peuvent être nécessaires pour décrire le comportement d'un système.

13.1.2 Les Actions

L'action indique, dans un rectangle, comment agir sur la variable de sortie, soit par assignation (action continue), soit par affectation (action mémorisée).



FIGURE 13.4 – *Exemple d'action*

Les actions sont liées à la situation. Par conséquent, les actions sont associées aux étapes.

13.1.3 Les transitions

Une transition indique la possibilité d'évolution entre plusieurs étapes. Le franchissement d'une transition, provoque un changement de situation du grafcet. Elle modélise les changements d'état du système.

Une transition est placée entre une ou plusieurs étapes d'entrée, situé en amont, et une ou plusieurs étapes de sortie, situées en aval de cette transition.

Elle est représentée par un trait horizontal.

13.1.4 Les réceptivités

Associée à chaque transition, la réceptivité est une condition logique qui est soit vraie, soit fausse, et qui est composée de variables d'entrées et/ou de variables internes. Cette réceptivité peut s'écrire sous forme de texte ou d'expression logique.

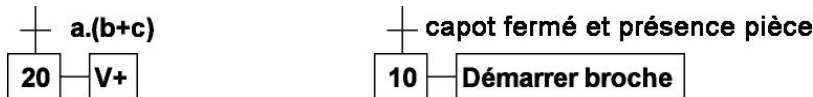


FIGURE 13.5 – *Transitions et réceptivités*

Ces réceptivités permettent de savoir dans quelles conditions la ou les étapes de sortie doivent devenir actives.

13.1.5 Vocabulaire associé au modèle GRAFCET

DÉFINITION 1 *Situation d'un Grafcet*

.....

DÉFINITION 2 *Événement d'entrée*

.....

DÉFINITION 3 *Événement interne*

.....

.....

DÉFINITION 4 *Occurrence*

Au cours du cycle d'un système, de nombreux changements d'état des variables d'entrée se produisent. Pour les distinguer les uns des autres, nous appellerons occurrence chaque changement.

13.2 Structure graphique de base**RÈGLE DE SYNTAXE 1**

L'alternance étape/transition, transition/étape doit toujours être respectée, c'est à dire que deux étapes doivent toujours être séparées par une seule et unique transition.

13.2.1 Les liaisons orientées

Elles sont orientées de haut en bas, si ce n'est pas le cas, une flèche doit indiquer le sens. Plusieurs liaisons peuvent arriver ou partir d'une étape.

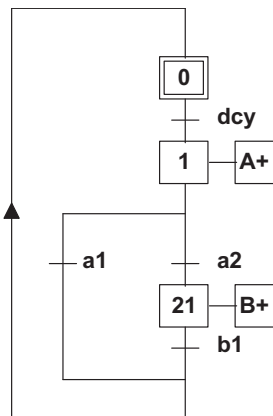


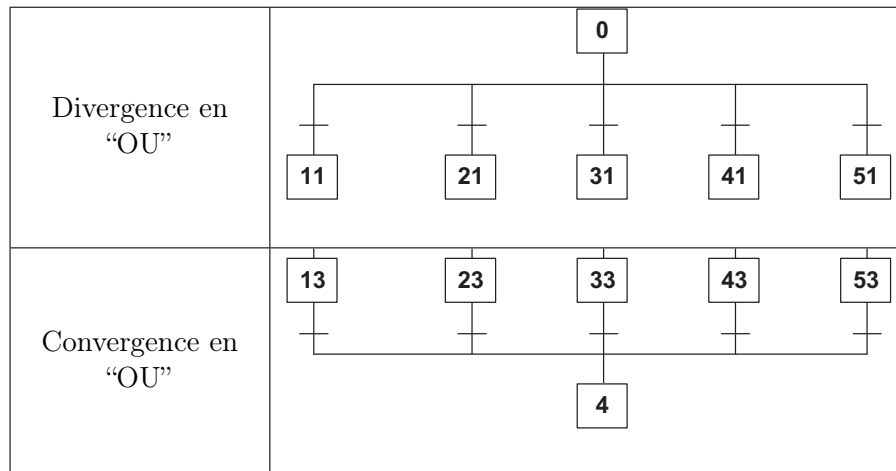
FIGURE 13.6 – Saut d'étape et retour de séquence

13.2.2 Structure de base

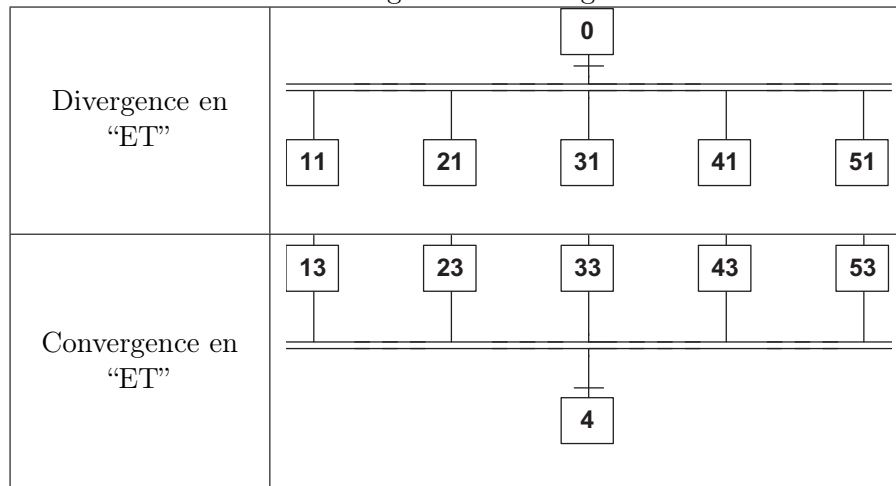
Plusieurs structures de base du GRAFCET répondent à ces règles de syntaxe, nous pouvons donner les structures de base ci-dessous ⁵ :

- la structure linéaire, avec une séquence dite unique, composée d'une suite d'étapes qui ne peuvent être activées que les unes après les autres, chaque étape n'est suivie que par une transition et chaque transition n'est validée que par une étape,
- les structures alternatives avec divergence et convergence en "OU",

5. Nous verrons plus tard que nous pouvons mélanger ces différentes structures dans un même Grafcet.



— les structures simultanées avec divergence et convergence en "ET".



13.2.2.1 Sélection de Séquence (structure alternative)

La sélection de séquences exprime un choix d'évolution entre plusieurs séquences à partir d'une ou de plusieurs étapes. Cette structure se représente par autant de transitions validées simultanément qu'il peut y avoir d'évolutions possibles.

CAHIER DES CHARGES 2

Un chariot peut effectuer :

- soit un aller retour entre deux positions "chariot au centre" et "chariot à droite" si le bouton "droite" est actionné,
- soit un aller retour entre deux positions "chariot au centre" et "chariot à gauche" si le bouton "gauche" est actionné.

Si les deux boutons sont actionnés en même temps, le chariot part à droite.

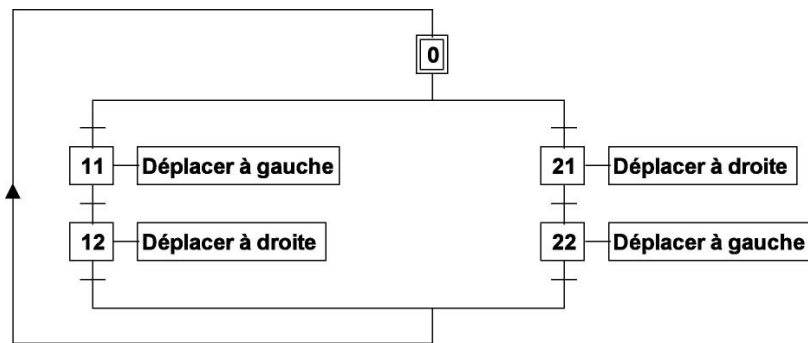


FIGURE 13.7 – Exemple de structure avec sélection de séquence

13.2.2.2 Parallélisme structural (structure simultanée)

Lors de la divergence en “ET”, le symbole de synchronisation est utilisé dans cette structure pour indiquer l’activation simultanée de plusieurs séquences. Après leur activation simultanée, l’évolution des étapes actives dans chacune des séquences parallèles devient alors indépendante.

De même, lors de la convergence en “ET”, le symbole de synchronisation est utilisé dans cette structure pour indiquer l’attente de la fin des séquences amont avant d’activer la séquence aval. La transition n’est validée que lorsque toutes les étapes amont sont actives.

CAHIER DES CHARGES 3

Deux chariots 1 et 2 ont pour position de départ respective “d1” et “d2”. Après un appui sur un bouton “dcy”, il doivent simultanément se déplacer à droite pour rejoindre une position d’arrivée “a1” et “a2”. Ensuite ils doivent repartir simultanément de cette position d’arrivée pour rejoindre leur position de départ. Un nouveau cycle ne sera possible que s’ils sont tous les deux sur leur position de départ.

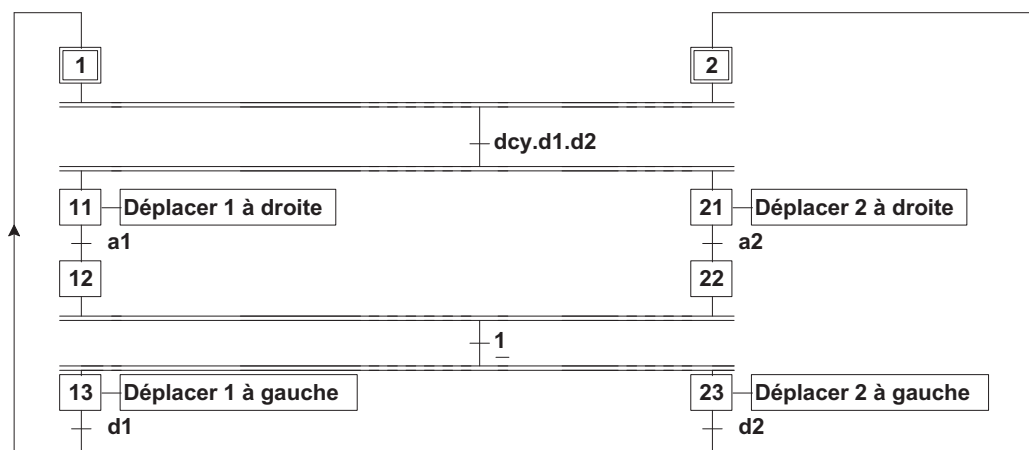


FIGURE 13.8 – Exemple de parallélisme structural

13.3 Les règles d'évolution

Ces règles sont fondamentales et sont à connaître afin de bien appréhender le fonctionnement d'un Grafcet.

RÈGLE 1 Situation initiale

La situation initiale est la situation à l'instant initial, elle est donc décrite par l'ensemble des étapes actives à cet instant.

Le choix de la situation à l'instant initial repose sur des considérations méthodologiques et relatives à la nature de la partie séquentielle du système visé.

RÈGLE 2 Transition franchissable

Une transition est dite validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes reliées à cette transition sont actives. Le franchissement d'une transition se produit :

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

Une transition franchissable est obligatoirement franchie.

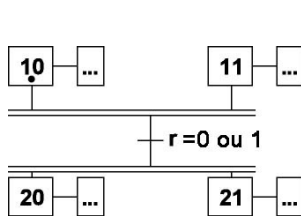


FIGURE 13.9 – Situation : 10 11

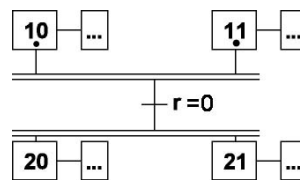


FIGURE 13.10 – Situation : 10, 11

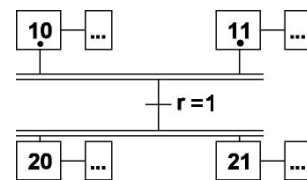


FIGURE 13.11 – Situation : 10, 11

REMARQUE 3 *La durée de franchissement d'une transition est non nulle dans le temps interne, mais est très faible à l'échelle du temps externe.*

RÈGLE 3 Franchissement d'une transition

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

REMARQUE 4 *Le terme simultanément signifie à temps interne nul...*

RÈGLE 4 Franchissements simultanés

Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies.

RÈGLE 5 Activation et désactivation simultanées

Si, au cours du fonctionnement, la même étape est simultanément activée et désactivée, elle reste active.

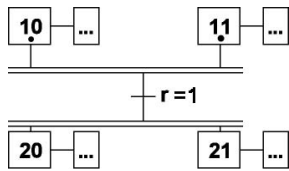


FIGURE 13.12 – Situation : 10, 11

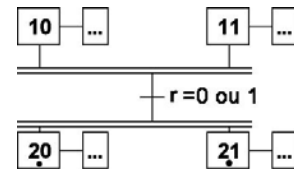
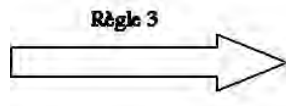


FIGURE 13.13 – Situation : 20, 21

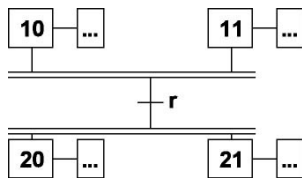


FIGURE 13.14 – Structures équivalentes déduites de la règle 4

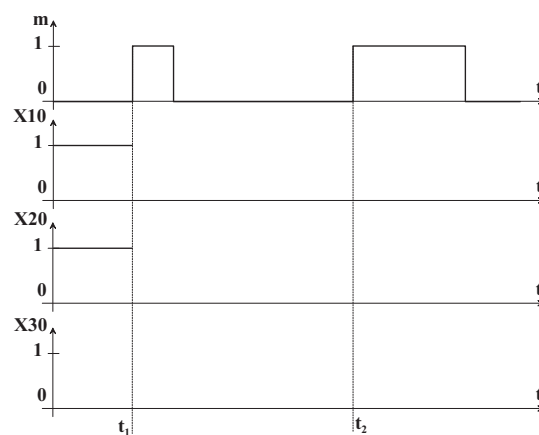
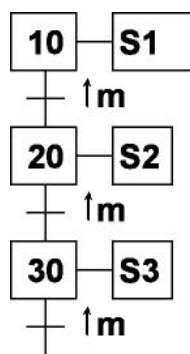


FIGURE 13.15 – Exemple d'application de la règle 5

13.4 Le temps en GRAFCET

Le temps est un élément fondamental de la modélisation des systèmes logiques séquentiels⁶.

À l'extérieur de la partie commande, le temps s'écoule de manière continu. Alors qu'à l'intérieur de la partie commande, le temps est discret. C'est pourquoi, nous retrouvons dans tout système informatisé ou automatisé une horloge interne. La période de cette horloge interne conditionne la rapidité de traitement des informations par la partie commande (0,00001 ms à 20 ms en électronique, 20 à 500 ms en électromécanique, 0.1 à 1 s en pneumatique).

Ainsi, l'échelle du temps interne (PC) et l'échelle du temps externe (PO) sont très différentes. Ceci pose un problème de synchronisation entre la PO et la PC si la durée séparant deux occurrences d'événements externes est inférieure à la période de l'horloge du système.

Afin de parer à cette éventualité, nous devons formuler le postulat temporel ci-dessous :

“Les intervalles de temps interne (retard entre deux dates internes) sont infiniment petits et donc considérés nuls à l'échelle du temps externe. La causalité (externe) est à temps nulle dans le modèle GRAFCET.”

13.4.1 Temps externe

Dans le temps externe, seules sont connues les dates d'occurrence des événements externes (changement d'état des variables d'entrée).

Nous pouvons alors écrire ce nouveau postulat relatif au temps externe :

“Les occurrences d'événements externes sont temporellement distinctes.”

En conséquence, ces occurrences sont associées à des dates différentes.

13.4.2 Temps interne

Le temps interne est discret, les dates d'occurrence des événements internes (changement de situation des étapes, ordre interne, etc.) sont les seules données.

Nous pouvons écrire le postulat ci-dessous concernant le temps interne :

*“La durée séparant l'instant ou une transition est franchissable de l'instant où elle est franchie est non nulle, à l'échelle du temps interne. Elle est appelée **durée d'évolution**.”*

Nous pouvons alors illustrer les différents postulats temporels par l'exemple ci-dessous.

13.5 Construction d'un Grafcet

La construction d'un Grafcet nécessite le respect des règles de syntaxe et d'évolution d'un Grafcet mais aussi une analyse approfondie du cahier des charges. Une impasse sur

6. Logique, ils dépendent du temps...

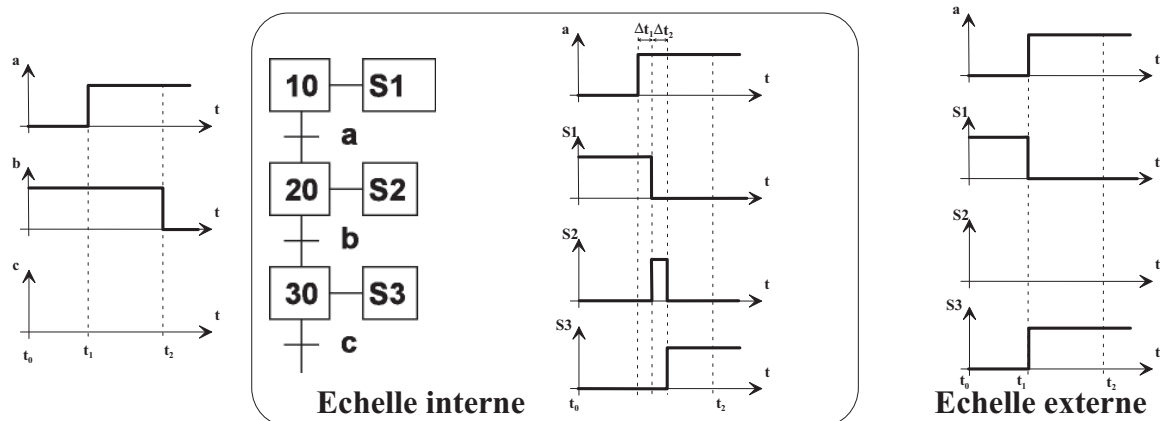


FIGURE 13.16 – Évolution du temps interne et du temps externe

cette analyse méthodique du cahier des charges rend très difficile l'élaboration d'un Grafcet correct.

La méthode de construction décrite ci-dessous provient de *Monsieur Christian Merlaud*, un des personnages à l'origine du Grafcet, membre de l'AFCET dès ses débuts, éminent professeur à l'École Normale Supérieure de Cachan, décédé accidentellement il y a quelques années ⁷.

Cette méthode peut se décomposer en cinq étapes successives :

1° étape : Caractériser des entrées/sorties de la partie commande

Cette étape se traduit généralement par un schéma fonctionnel permettant de mettre en place les différentes entrées/sorties et les notations associées.

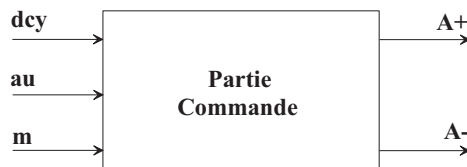


FIGURE 13.17 – Exemple de schéma fonctionnel

REMARQUE 5 Cette partie est souvent donnée dans un sujet écrit afin d'imposer une notation commune et de faciliter la correction. A l'oral, c'est tout autre chose, vous devez être capable de caractériser les entrées/sorties à partir de la connaissance du système (technologie employé, etc.).

2° étape : Identifier les comportements de la PC vis à vis de la PO

C'est à dire, identifier les ordres que la PC donne à la PO.

3° étape : Associer au moins une étape à chacun des comportements

Désormais, on connaît le nombre maximum d'étapes du Grafcet.

7. Tous ceux qui ont été ses élèves se souviennent de lui et le regrette amèrement... Un excellent professeur, doué d'un grande pédagogie et spécialiste de l'automatique.

4° étape : Caractériser les transitions entre comportements

Cette phase peut être abordée par une simple technique de dénombrement : partant d'un comportement donné, il suffit de rechercher si une transition avec chacun des autres comportements est possible, et ceci sans s'occuper de la réceptivité associée. Désormais, le nombre maximum de transitions nécessaires à la construction du Grafcet est connu.

5° étape : Interpréter le Grafcet (actions et réceptivités)

Pour déterminer les actions, l'analyse s'effectue comportement par comportement en déterminant les ordres alors émis.

Pour déterminer les réceptivités :

- un point de vue “événementiel” consiste à représenter l'événements par un front montant ou descendant d'une entrée,
- un point de vue “conditionnel” consiste à exprimer de manière implicite les événements précédents à partir de l'état des entrées.

Ce point de vue est celui qui anticipe la réalisation, il a l'avantage de permettre un questionnement de type “positif” ou “négatif” :

Questionnement positif : A quelle condition passer du comportement C_i au comportement C_j ?

Questionnement négatif : A quelle condition quitter le comportement actuel ?

13.6 Complément sur les actions

L'action indique, dans un rectangle, comment agir sur la variable de sortie, soit par assignation (action continue), soit par affectation (action mémorisée).

En mode continu, c'est l'association d'une action à une étape qui permet d'indiquer qu'une variable de sortie a la valeur vraie si l'étape est active et si la condition d'assignation est vérifiée.

En mode mémorisé, c'est l'association d'une action à des événements internes qui permet d'indiquer qu'une variable de sortie prend et garde la valeur imposée si l'un de ces événements se produit.

Il peut y avoir une, plusieurs ou aucune action, associées à une étape. Elles traduisent ce qui doit être fait à chaque fois que l'étape associée est active.

Lorsqu'il y a plusieurs actions, elles sont toutes exécutées en même temps. Leur durée est égale à la durée de l'activation de l'étape concernée.



FIGURE 13.18 – *Exemple de plusieurs actions associées à une étape*

13.6.1 Les actions conditionnelles en mode continu

DÉFINITION 5 Condition d'assignation

Une proposition logique, appelée condition d'assignation, qui peut être vraie ou fausse, conditionne toute action continue. **L'absence de notation signifie que la condition d'assignation est toujours vraie.**

Dans le cas d'une action conditionnelle, la sortie "A" est assignée à la valeur vraie si l'étape "20" est active et si la variable "p" est vraie. Si deux actions sont liées à la même étapes et qu'une seule est conditionnelle, alors seule celle associée à la condition d'assignation dépend de la valeur de "p". Pour l'exemple ci-dessous, nous pouvons dire que :

$$A = X20 \cdot p \quad B = X20$$

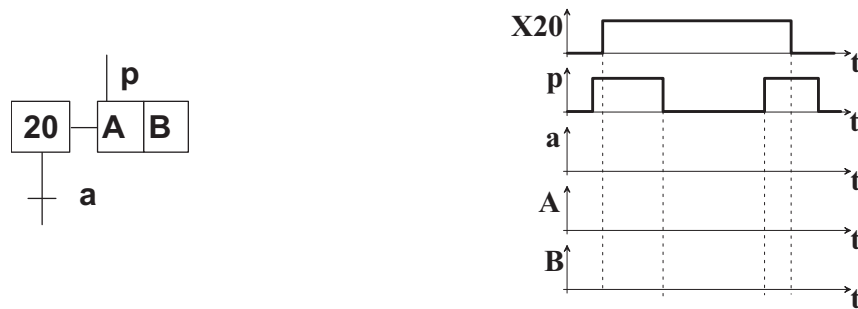


FIGURE 13.19 – Exemple d'action conditionnelle

13.6.2 Les actions fonction du temps

La condition d'assignation peut être dépendante du temps, dans ce cas, le temps intervient comme condition logique. Il existe alors trois cas possibles :

- les actions retardées dans le temps, dans ce cas, la condition d'assignation n'est vraie qu'après un temps défini à partir de l'activation de l'étape. Si la durée d'activité de l'étape est inférieure au temps spécifié dans la condition d'assignation de l'action retardée, alors la sortie n'est pas assignée à la valeur vraie.
- les actions limitées dans le temps, dans ce cas, la durée spécifiée dans la condition d'assignation est la durée maximale, définie à partir de l'activation de l'étape, d'assignation de la valeur vraie à la sortie.
- les actions retardées et limitées dans le temps, on utilise alors l'opérateur retard de la norme CEI 617-12. Dans ce dernier cas, la condition d'assignation 3s/b/5s est vraie 3s après l'occurrence d'un front montant de la variable "b" et reste vraie jusqu'à 5 s après l'occurrence d'un front descendant de "b". La variable temporisée "b" doit rester vraie pendant un temps égal ou supérieur à 3s pour que la condition d'assignation puisse être vraie. L'action "A" reste cependant dépendante de l'activation de l'étape "20".

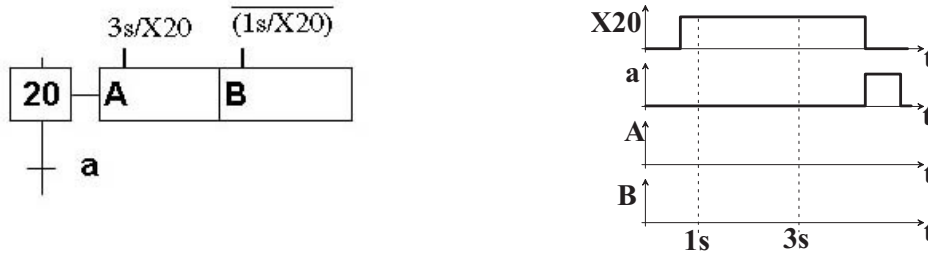


FIGURE 13.20 – Exemple d'action retardée dans le temps et action limitée dans le temps

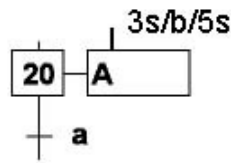


FIGURE 13.21 – Exemple d'action retardées et limitée dans le temps

13.6.3 Évolution fugace

Dans le cas général, l'évolution est non fugace, c'est-à-dire que l'événement d'entrée ne provoque qu'un seul pas d'évolution (le franchissement simultané d'une ou plusieurs transitions).

Une évolution fugace se produit quand plusieurs transitions successives sont franchies à l'occurrence d'un unique événement d'entrée. L'évolution correspondante est dite fugace.

Les étapes intermédiaires correspondantes, dites étapes instables, ne sont pas activées, mais on considère qu'elles ont été "virtuellement" activées et désactivées le long du chemin d'évolution intuitive, et de même que les transitions correspondantes ont été "virtuellement" franchies.

L'assignation d'une valeur de sortie par une action continue associée à une étape, qui à l'occasion d'une évolution fugace est une étape instable, n'est pas effective puisque l'étape n'est pas réellement activée.⁸

13.7 Complément sur les réceptivités

Une réceptivité est une condition logique. Elle est soit vraie, soit fausse. Elle peut être inscrite de manière littérale ou de manière symbolique (équation logique). Une réceptivité peut être une information externe (entrée) ou interne (variable d'étape par exemple).

CAHIER DES CHARGES 4

8. Nous verrons d'ici peu, que dans le cas des actions mémorisées, le passage par une étape instable permet d'affecter une valeur à une sortie mémorisée... Toujours le même problème de temps interne et de temps externe.

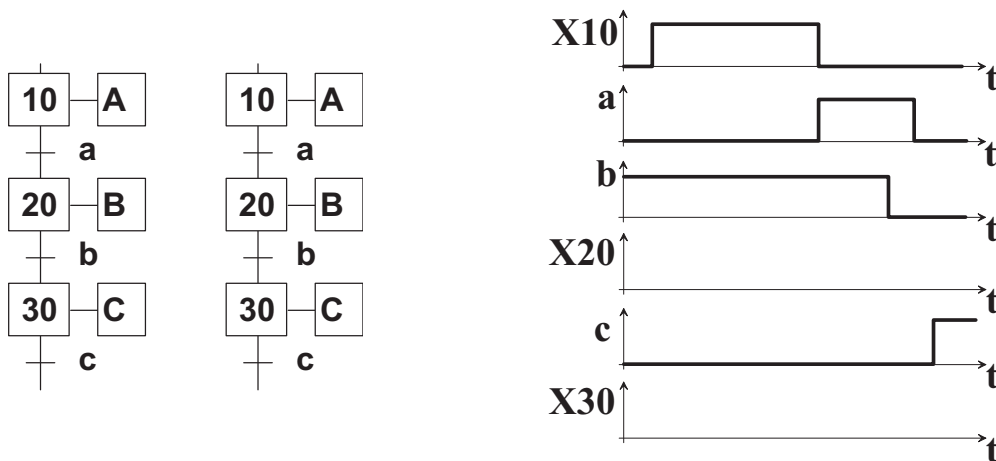


FIGURE 13.22 – Evolution fugace

Un chariot doit effectuer deux allers retours entre deux positions “chariot à gauche = cg” et “chariot à droite = cd”. Une impulsion sur le bouton “départ cycle = dcy” provoque un cycle de déplacement.

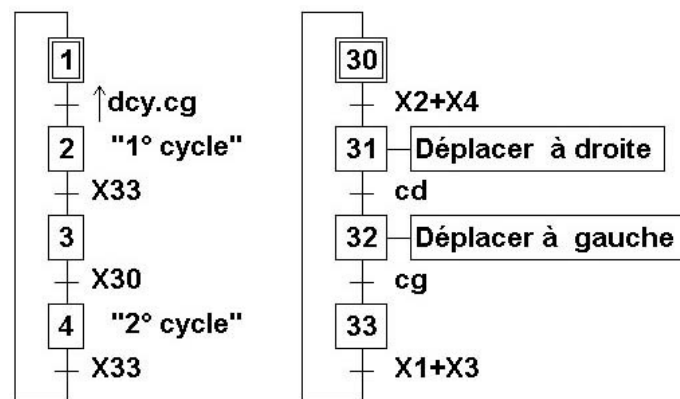
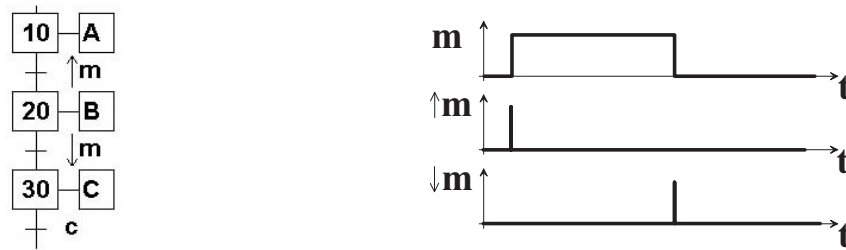


FIGURE 13.23 – Grafcet général et grafcet de tâche

Pour noter une réceptivité toujours vraie, on utilise la notation “1”.

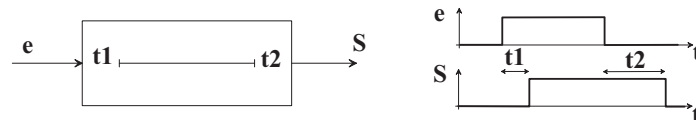
13.7.1 Front montant ou front descendant

On peut aussi utiliser les notations non booléennes de front montant et front descendant. La notation $\uparrow *$ indique que la réceptivité n’est vraie qu’au changement d’état de la variable $*$ (front montant : passage de la valeur 0 à la valeur 1). Cette notation est générale et s’applique à toute proposition logique, qu’il s’agisse d’une variable élémentaire ou d’une combinaison de plusieurs variables booléennes. De même, la notation $\downarrow *$ indique que la réceptivité n’est vraie qu’au changement d’état de la variable $*$ (front descendant : passage de la valeur 1 à la valeur 0).

FIGURE 13.24 – *Front montant et front descendant*

13.7.2 Réceptivité fonction du temps

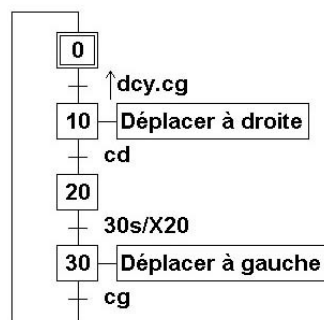
De la même manière que pour les actions, on peut prendre en compte le temps dans une réceptivité à l'aide de l'opérateur normalisé " $t1/x/t2$ ". La variable " x " peut être une variable d'état d'une étape ou une variable d'entrée du système.

FIGURE 13.25 – *Représentation de l'opérateur retard*

L'utilisation la plus courante de ce type de réceptivité est la temporisation de variable d'étape avec un temps $t2$ égal à zéro. L'étape temporisée doit rester active pendant un temps supérieur ou égal à $t1$ pour que la réceptivité puisse être vraie.

CAHIER DES CHARGES 5

Un chariot doit effectuer un aller retour entre deux positions "chariot à gauche= cg " et "chariot à droite= cd ". Lorsqu'il est à gauche, une impulsion sur le bouton "départ cycle= dcy " provoque un cycle de déplacement. Lorsqu'il est à droite, il doit attendre 30 secondes.

FIGURE 13.26 – *Exemple de chariot avec temporisation*

13.7.3 Valeur booléenne d'un prédicat

La notation “[*]” signifie que la valeur booléenne du prédicat constitue la variable de réceptivité. Ainsi, lorsque l’assertion * est vérifiée, le prédicat vaut 1, dans le cas contraire, il vaut 0. L’astérisque doit être remplacé par l’assertion que l’on veut tester.

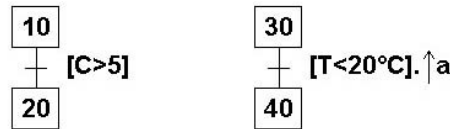


FIGURE 13.27 – Exemple de transitions avec prédicat

13.8 Outils d'analyse d'un Grafcet

Trois outils sont couramment employés pour l’analyse et aussi pour la conception d’un Grafcet :

- le chronogramme à l’échelle de temps externe,
- le tableau d’évolution,
- le graphe des situations accessibles.

Le chronogramme permet d’illustrer le comportement temporel du Grafcet (nous l’avons déjà souvent utilisé pour cela).

Le graphe des situations accessibles permet de connaître quelles sont les situations accessibles pour un Grafcet donné et d’y associer des réceptivités.

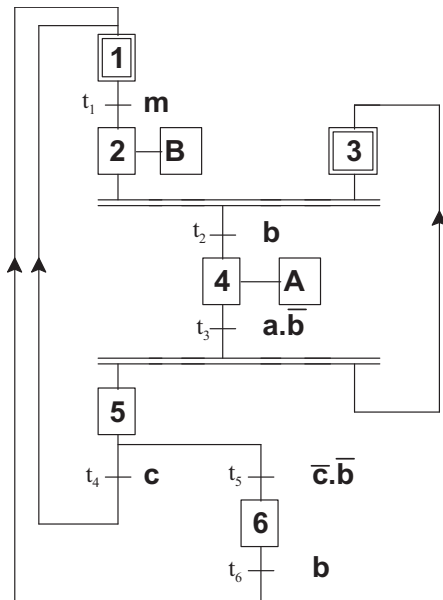


FIGURE 13.28 – Grafcet et graphe des situations accessibles

Situation	Transitions validées	Événement condition	Transition franchissable	Nouvelle situation	Action effectuée

FIGURE 13.29 – *Tableau d'évolution*

13.9 Structures supplémentaires

13.9.1 Sélection de séquence

Une sélection de séquence correspond à un choix d'évolution entre plusieurs séquences à partir d'une ou plusieurs étapes. Cette sélection de séquence utilise des divergences en "OU"⁹. Il faut bien veiller au respect de la règle d'alternance étape/transition lors de la création de ce type de Grafcet.

REMARQUE 6 *La sélection de séquence est utilisée pour effectuer un partage de ressource. On peut prendre comme exemple un système de deux vérins rentrant leurs tiges respectives dès qu'elles sont sorties. On souhaite que chaque vérin sorte (S_i) puis rentre (R_i) sa tige sur impulsion d'un opérateur ($\uparrow m$). Le premier vérin qui a fini cet "aller-retour" doit immédiatement en effectuer un deuxième. Le cycle est alors terminé.*

13.9.2 Reprise de séquence et saut d'étape(s)

Ces deux cas correspondent tous les deux à des cas particuliers de l'utilisation de la sélection de séquence (divergence en "OU"). Les reprises de séquence sont des aiguillages qui permettent de reprendre plusieurs fois la même séquence tant qu'une condition donnée n'est pas remplie.

Le saut d'étape est un aiguillage qui permet soit de parcourir la séquence complète soit de sauter une ou plusieurs étapes de la séquence lorsque, par exemple, les actions associées à ces étapes deviennent inutiles.

13.9.3 Accumulation et réservoir

L'accumulation permet les activations successives de plusieurs étapes puis les désactivations simultanées de ces étapes par le franchissement d'une transition.

CAHIER DES CHARGES 6

On désire accumuler trois cartons puis les évacuer ensemble. Chaque carton qui arrive dans la zone de stockage est détecté par une cellule photoélectrique (c).

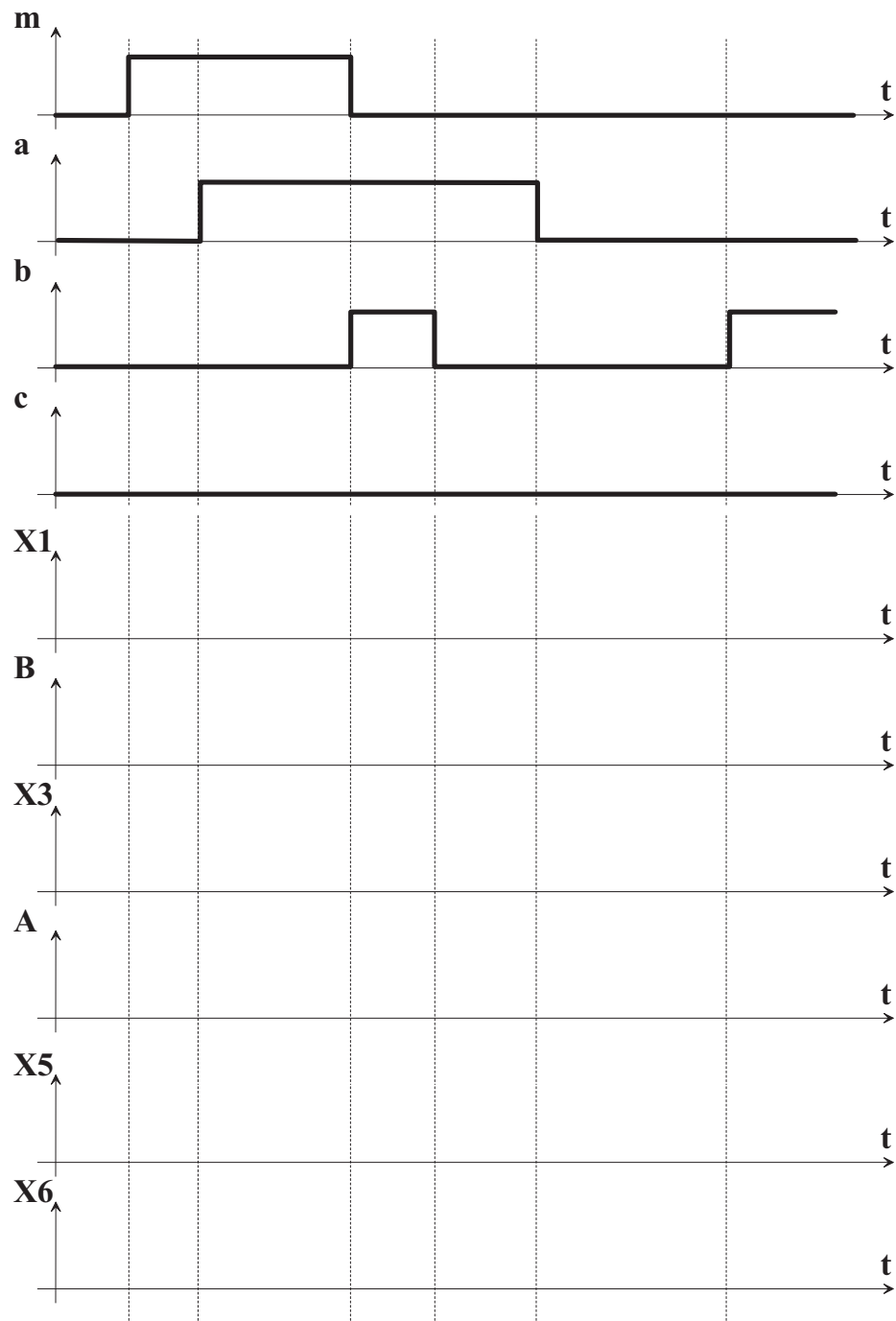


FIGURE 13.30 – Chronogramme

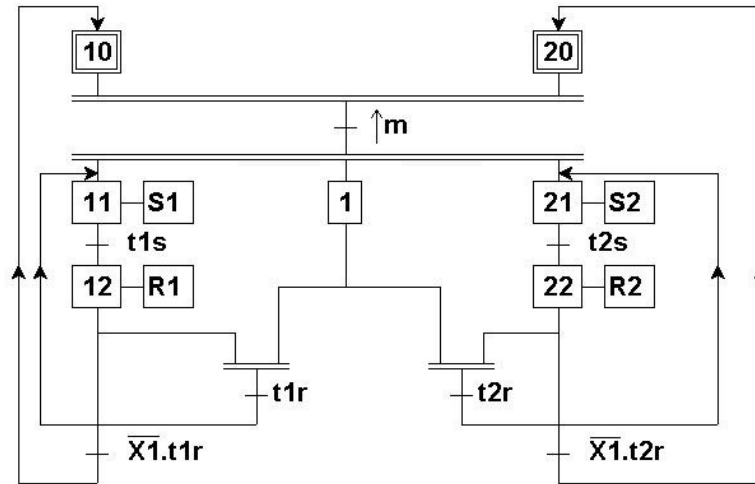


FIGURE 13.31 – Exemple de partage de ressource

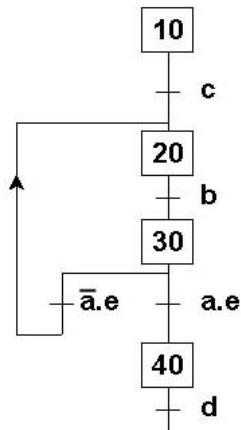


FIGURE 13.32 – Exemple de reprise de séquence

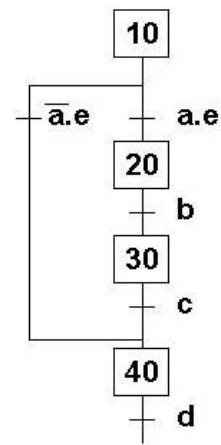


FIGURE 13.33 – Exemple de saut de séquence

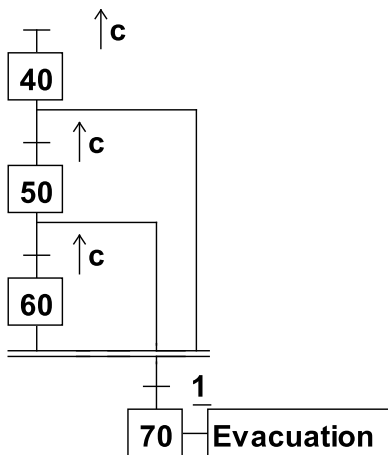


FIGURE 13.34 – Exemple d'accumulation

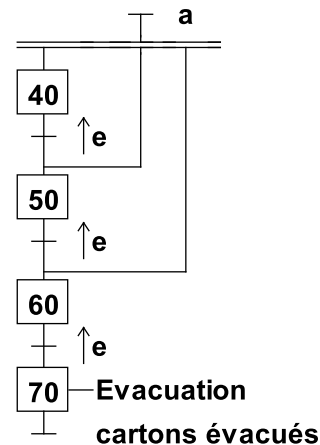


FIGURE 13.35 – Exemple de réservoir

La structure en réservoir, quant à elle, permet les activations simultanées de plusieurs étapes par le franchissement d'une transition puis la désactivation successive de ces étapes.

CAHIER DES CHARGES 7

On reprend les trois cartons précédents et on désire les évacuer successivement à l'aide d'un vérin suite à l'impulsion d'un bouton (e) par un opérateur.

13.10 Les étapes et transitions sources ou puits

Les *étapes sources* sont des étapes initiales par lesquelles le système ne repasse plus en fonctionnement cyclique ou des étapes simples forcées à l'activation par un grafcet hiérarchiquement supérieur.

Les *étapes puits* sont des étapes qui une fois activées, ne peuvent être désactivées que par un grafcet hiérarchiquement supérieur (ordre de forçage) ou par une mise hors énergie du système.

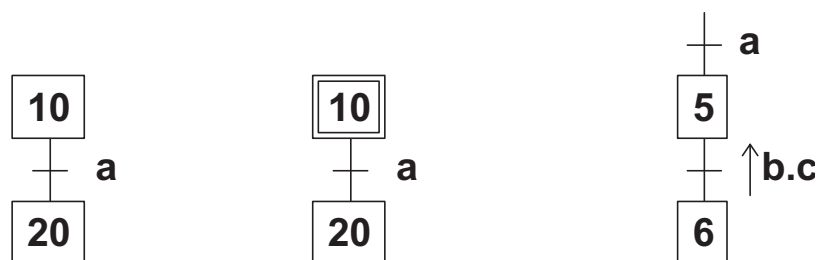


FIGURE 13.36 – Exemple d'étapes sources et d'étape puit

9. On peut cependant utiliser des divergences en "OU" et des divergences en "ET" pour cette sélection de séquence... Voir l'exemple.

Une *transition source* est une transition qui ne possède aucune étape amont. Par convention, la transition source est toujours validée et est franchie dès que sa réceptivité est vraie. Les transitions sources correspondent à des entrées provoquant l'activation d'une étape du système à un moment quelconque du fonctionnement.

Les *transitions puits* sont des transitions qui désactivent une séquence sans conséquence sur la suite du fonctionnement du système.

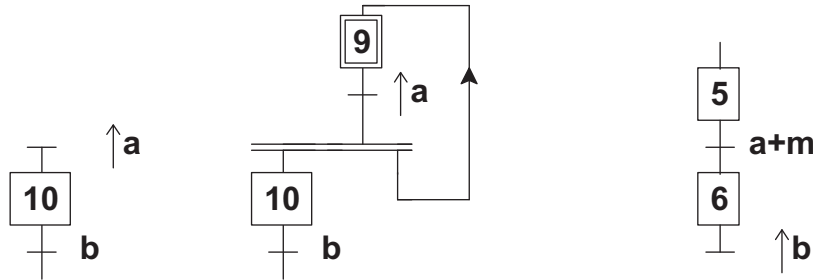


FIGURE 13.37 – Exemple de transition source et de transition puit

13.11 Les macro-étapes

Afin de rendre la lecture d'un grafcet plus simple, un ensemble unique d'étapes et de transitions peut être remplacé par une macro-étape qui sera détaillée par la suite.

L'expansion d'une macro-étape M^* est une partie de grafcet munie d'une étape d'entrée E^* et d'une étape de sortie S^* . L'étape d'entrée E^* devient active lorsque l'une des transitions amont de la macro-étape est franchie. La ou les transitions aval de la macro-étape ne sont validées que lorsque l'étape de sortie S^* est active.

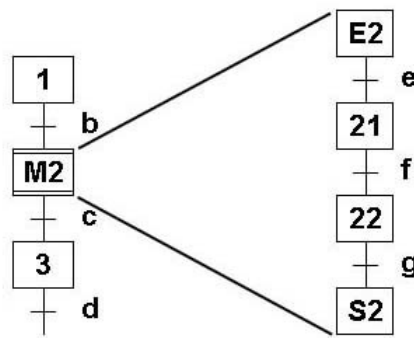


FIGURE 13.38 – Exemple de macro-étape avec son expansion

Une macro-étape est dite active lorsque l'une au moins de ses étapes est active, elle est conséquemment dite inactive lorsque aucune de ses étapes n'est active. L'état actif ou inactif d'une macro-étape peut être représenté respectivement par les valeurs logiques "1" ou "0" d'une variable XM^* (par exemple $XM2=1$) appelée variable de la macro-étape.

EXEMPLE 1 *Doseur malaxeur automatique*

Un malaxeur N reçoit des produits A et B préalablement dosés par une bascule C et des briquettes solubles amenées une par une par un tapis. L'automatisme décrit ci-dessous permet de réaliser un mélange comportant ces trois produits.

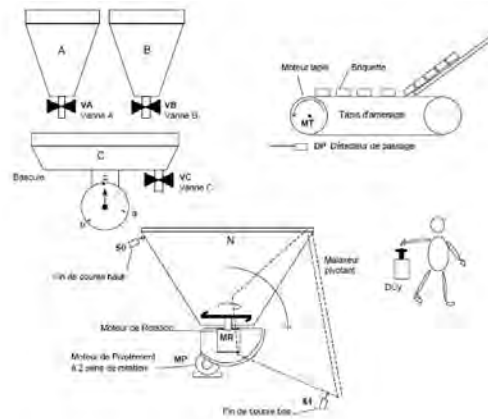


FIGURE 13.39 – Schéma descriptif du système

L'action sur le bouton "Départ Cycle" provoque simultanément le pesage des produits et l'amenage des briquettes de la façon suivante :

- dosage du produit A jusqu'au repère "a" de la bascule, puis dosage du produit B jusqu'au repère "b" suivi de la vidange de la bascule C dans le malaxeur ;
- amenage de deux briquettes.

Le cycle se termine par la rotation du malaxeur et son pivotement final au bout d'un temps t_1 , la rotation du malaxeur étant maintenue pendant la vidange.

13.12 Structuration

Les systèmes automatisés industriels ont un fonctionnement le plus souvent extrêmement répétitif et un simple grafcet ¹⁰ permet généralement de décrire ce fonctionnement normal. Malheureusement, il arrive fréquemment pour un système industriel réel qu'un certain nombre d'événements obligent à prévoir un comportement pour le système totalement différent du fonctionnement normal (procédure de réglage, d'arrêt d'urgence, de mise en production ou d'arrêt de production, etc.). La prise en compte de ces différents cas de figure, amène trop souvent à la réalisation de grafcet très complexes, très rapidement illisibles et très certainement incomplets...

Afin de simplifier les grafkets obtenus, le modèle GRAFCET nous propose de décomposer le grafcet en plusieurs parties en fonction des différentes sous-fonctions du système. Nous appellerons les différents grafkets permettant de décrire un même système des *grafkets partiels*. Ils sont englobés dans un *grafcet global*. Ces grafkets partiels sont nommés :

- soit à partir de la fonction décrite par le grafcet (grafcet bouchage),
- soit à partir du numéro de l'étape initiale du grafcet (G20).

10. C'est une façon de parler... Il ne sera pas toujours simple) !

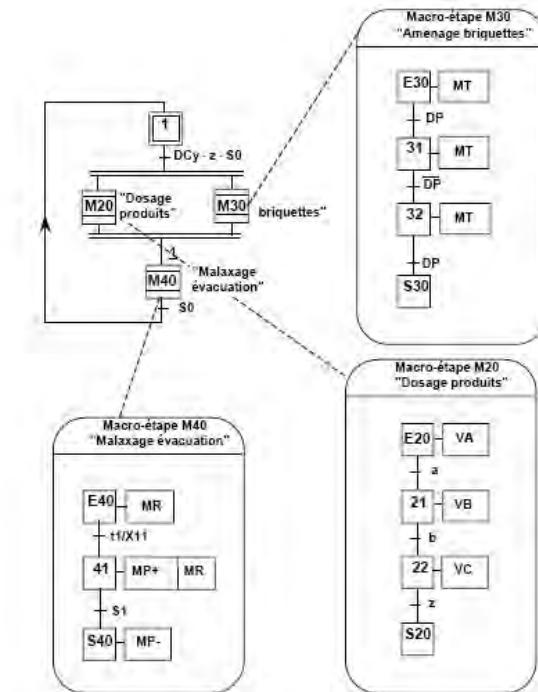


FIGURE 13.40 – Description du système par un grafcet avec des macro-étapes

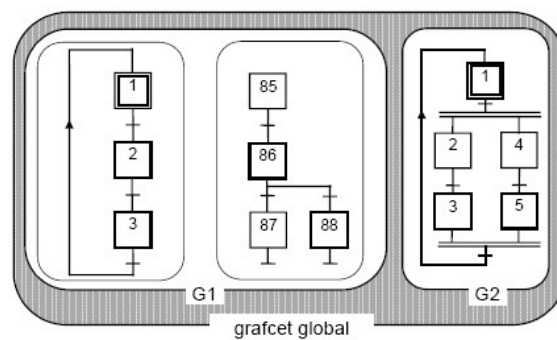


FIGURE 13.41 – Exemple de partitionnement d'un grafcet

Il se peut que plusieurs grafquets soient nécessaires pour caractériser le fonctionnement d'une partie d'un système. Dans ce cas, les différents grafquets composant le grafquet partiel sont appelés *grafquet connexe*.

Cette structuration, peut se limiter à un simple découpage de la spécification ou intégrer des notions de hiérarchie par forçage ou par encapsulation.

13.12.1 Structuration par forçage

Ce moyen de structuration de la spécification de la partie séquentielle d'un système utilise les ordres de forçage. Ces ordres permettent d'imposer une situation spécifique à un grafquet partiel donné, à partir de la situation d'un autre grafquet partiel.

Le grafquet donnant l'ordre de forçage sera appelé grafquet maître et l'autre, grafquet esclave. Il y a donc une hiérarchisation entre les différents grafquets décrivant le système. L'ordre de forçage est représenté dans un double rectangle associé à l'étape pour le différencier d'une action.

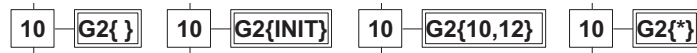


FIGURE 13.42 – Représentation du forçage

En fonction de l'ordre de forçage apparaissant dans le double rectangle, il est possible de forcer le grafquet G2 dans des situations diverses :

G2{ } : Situation où le grafquet 2 est totalement désactivé,

G2{ INIT } : Situation initiale du grafquet 2,

G2{ 10 12 } : Situation où 10 et 12 sont actives et toutes les autres étapes sont inactives,

G2{ * } : Situation actuelle figée pour le grafquet 2 (maintien dans l'état).

REMARQUE 7 *Le forçage est un ordre interne, dont l'exécution est prioritaire sur l'application des règles d'évolution.*

REMARQUE 8 *Le grafquet forcé ne peut pas évoluer tant que dure l'ordre de forçage, on dit alors que le grafquet est figé.*

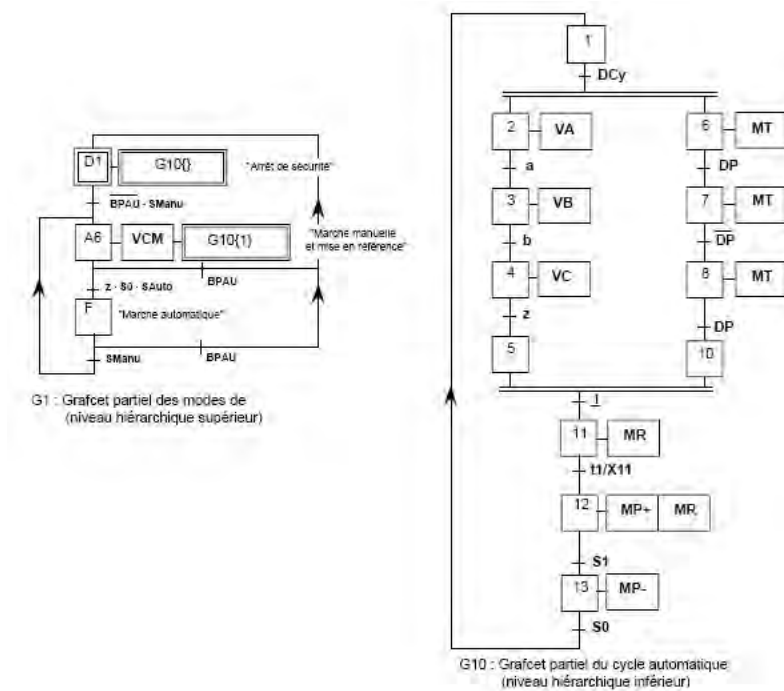
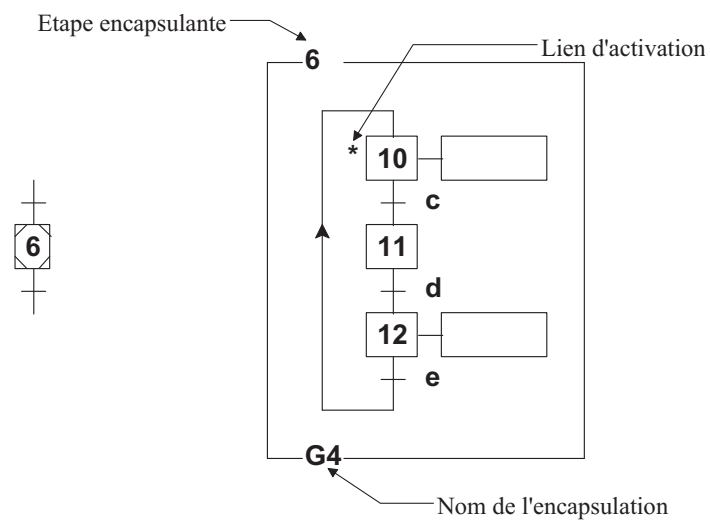
EXEMPLE 2 *La prise en compte des modes de marche (manuel, automatique et arrêt d'urgence) du doseur malaxeur automatique peut conduire à structurer hiérarchiquement la spécification en utilisant des ordres de forçage.*

13.12.2 Structuration par encapsulation

Il y a encapsulation d'un ensemble d'étapes, dites encapsulées, par une étape dite encapsulante, si et seulement si lorsque cette étape est active, l'une au moins des étapes encapsulées est active.

Une étape encapsulante possède toutes les propriétés de l'étape.

Son encapsulation est un graphe partiel représenté comme ci-dessus, entouré d'un cadre qui porte, en haut le numéro de l'étape encapsulante, en bas son nom. Les étapes actives

FIGURE 13.43 – *Grafcet du système de dosage avec forçage*FIGURE 13.44 – *Exemple d'étape encapsulante et d'encapsulation*

à l'activation de l'étape encapsulante sont indiquées (à gauche) par un *, appelé lien d'activation. La variable d'état d'une étape appartenant à un grafcet encapsulé sera noté par exemple $X6/X10$.

Une étape encapsulante peut donner lieu à une ou plusieurs encapsulations possédant chacune au moins une étape active lorsque l'étape encapsulante est active et ne possédant aucune étape active lorsque l'étape encapsulante est inactive.

La désactivation de l'étape encapsulante entraîne la désactivation de toutes les étapes actives des encapsulations.

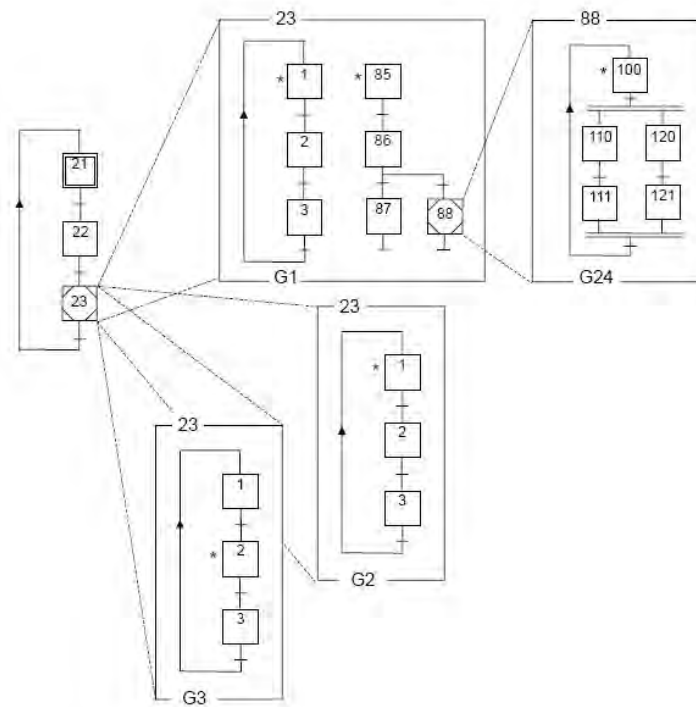


FIGURE 13.45 – Exemple d'encapsulation

EXEMPLE 3 L'étape encapsulante 23 possède 3 encapsulations représentées par les grafkets partiels 1, 2 et 3. Le grafket partiel 24 est encapsulé dans l'étape 88 du grafket partiel 1. Lorsque l'étape encapsulante 23 est activée, les étapes 1 et 85 de G1 sont également activées (de même pour les autres encapsulations de 23 : G2 et G3). Lorsque l'étape encapsulante 88 est activée, l'étape 100 de G24 est également activée. La désactivation de l'étape 88 provoque celle de toutes les étapes de G24. La désactivation de l'étape 23 provoque celle de toutes les étapes de G1, G2, G3, et de toutes celles de G24 (si l'étape 88 était active).

13.13 Actions mémorisées

En mode mémorisé, c'est l'association d'une action à des événements internes qui permet d'indiquer qu'une variable de sortie prend et garde la valeur imposée si l'un de ces événements

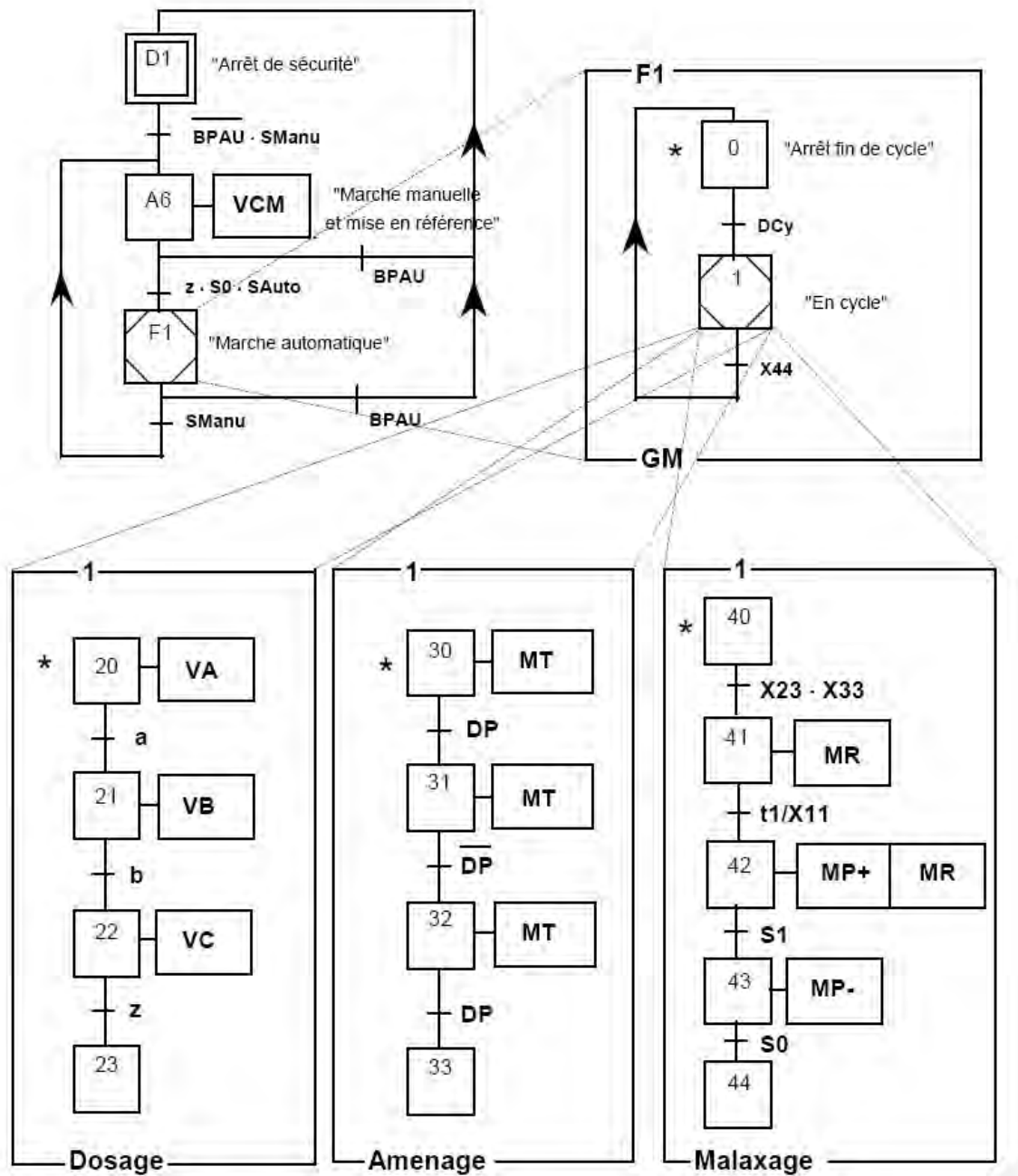


FIGURE 13.46 – Système de dosage géré par encapsulation

se produit.

La valeur d'une variable de sortie relative à une action mémorisée reste inchangée tant qu'un nouvel événement spécifié ne la modifie pas. On appelle affectation le fait de mémoriser, à un instant donné, la mise à une valeur déterminée d'une variable de sortie.

RÈGLE 6 Règle d'affectation

La valeur d'une sortie, relative à une action mémorisée et associée à un événement, est affectée à la valeur indiquée si l'événement interne spécifié se produit; à l'initialisation la valeur de cette sortie est nulle.

13.13.1 Action à l'activation

Une action à l'activation est une action mémorisée associée à l'ensemble des événements internes qui ont chacun pour conséquence l'activation de l'étape liée à cette action. La représentation traditionnelle de l'action par un rectangle est complétée, au côté gauche, d'une flèche symbolisant l'activation de l'étape.

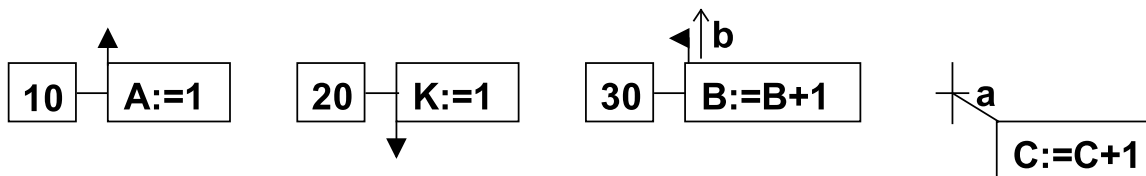


FIGURE 13.47 – Différents types d'actions mémorisées

13.13.2 Action à la désactivation

Une action à la désactivation est une action mémorisée associée à l'ensemble des événements internes qui ont chacun pour conséquence la désactivation de l'étape liée à cette action. La représentation traditionnelle de l'action par un rectangle est complétée, au côté gauche, d'une flèche symbolisant la désactivation de l'étape.

13.13.3 Action sur événement

Une action sur événement est une action mémorisée associée à chacun des événements internes décrits par l'expression associée, à condition que l'étape, à laquelle l'action est reliée, soit active. La représentation traditionnelle de l'action par un rectangle est complétée, sur le côté haut, d'un symbole indiquant que l'action est conditionnée à l'occurrence d'un des événements internes spécifiés par l'expression associée. Il est impératif que l'expression logique associée, qui doit décrire un ensemble d'événements internes, comporte un ou plusieurs fronts de variables d'entrée.

13.13.4 Action au franchissement

Une action au franchissement est une action mémorisée associée à l'ensemble des événements internes qui ont chacun pour conséquence le franchissement de la transition à laquelle l'action est reliée.

La représentation traditionnelle de l'action par un rectangle est complétée par un trait oblique reliant l'action à la transition.

13.14 Différents points de vue

Un observateur qui s'implique dans le fonctionnement d'un système peut donner trois types de descriptions. Cette dimension de la description est caractéristique du Point de vue.

13.14.1 Point de vue Système (ou Procédé)

Ce premier niveau d'analyse est une approche générale qui porte essentiellement sur l'évolution de la matière d'oeuvre. La description est réalisée en terme de fonctions ou tâches élémentaires et peut rester relativement abstraite. En effet, l'observateur étant extérieur au système, son existence physique n'est donc pas nécessaire.

Le GRAFCET ou Graphe de coordination des tâches permet la description globale du fonctionnement normal à partir de l'enchaînement de tâches symboliques.

Le GEMMA ("Guide d'Étude des Modes des Marches et d'Arrêts") permet la description fonctionnelle des différents modes de marche et d'arrêt.

La définition des tâches étant réalisée, d'autres outils de type algorithmique ou encore des chronogrammes (diagramme de Gantt) permettent ce niveau de description.

13.14.2 Point de vue Partie Opérative (P.O.)

L'observateur s'implique ici dans le comportement attendu de la partie opérative à partir des choix techniques du système. Chaque tâche symbolique ou macro-étape du Graphe de coordination pourra ainsi être décomposée d'un point de vue P.O. Le comportement de la partie opérative pourra être décrit de manière littérale ou symbolique.

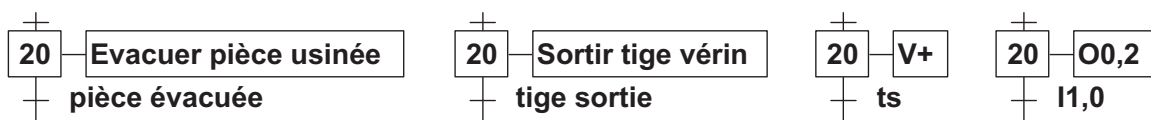


FIGURE 13.48 – Exemple illustrant les différents points de vue

13.14.3 Point de vue Partie Commande (P.C.)

C'est le point de vue de l'automaticien, encore appelé point de vue réalisateur. L'observateur s'implique dans le fonctionnement de la P.C. et décrit les ordres que cette dernière doit émettre pour obtenir les effets attendus au niveau de la P.O. Dans cette description, on fera apparaître tous les signaux émis par la P.O. ou l'opérateur à destination de la P.C. ainsi que toutes les fonctions gérées de manière interne (Tempo, comptage,...).

D'un point de vue P.C., deux descriptions sont envisageables : soit on considère la commande des préactionneurs en fonction des signaux émis par les détecteurs, soit on considère les signaux d'entrée/sortie propres à une technologie de partie commande.

REMARQUE 9

Plusieurs GRAFCET hiérarchisés et coordonnés permettent de décrire un système :

- GRAFCET de production normale (un ou plusieurs).
- GRAFCET de conduite qui gère les différents modes de marche issus du GEMMA.
- GRAFCET de sûreté qui gère les arrêts de sécurité issus du GEMMA.

En plus du GRAFCET de sûreté, certaines sécurités dites cablées font l'objet d'un traitement purement combinatoire.

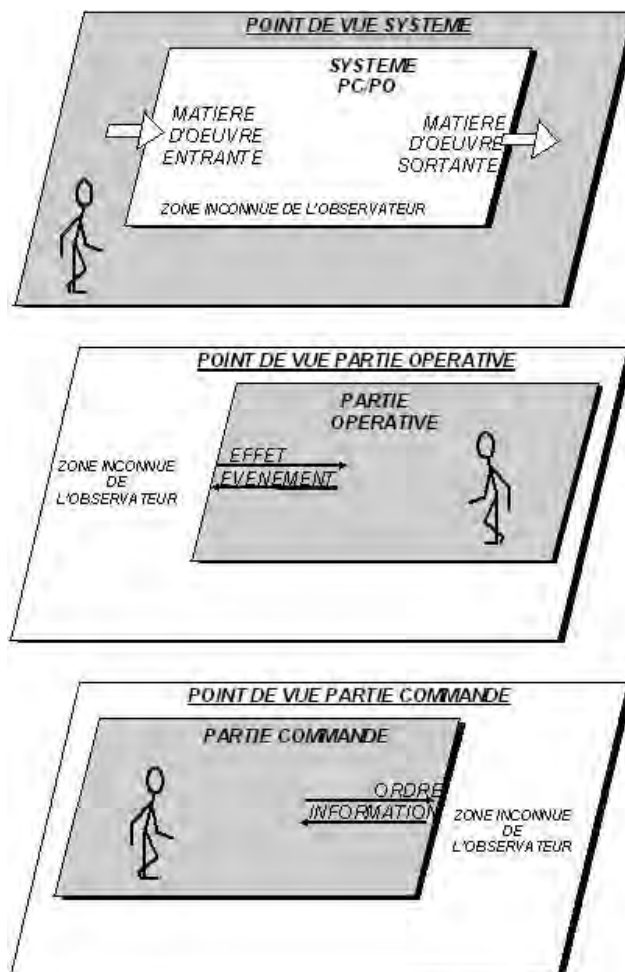


FIGURE 13.49 – Organisation des différents niveaux d'analyse

