

Chapitre 1

Le GRAFCET

Le GRAFCET

1.1 Introduction

Le Grafcet, Inventé en 1977 en France par l'AFCET (Association Française pour la Cybersécurité Économique et Technique) est l'abréviation de l'expression «Graphe Fonctionnel de Commande Etape/Transition». Il permet de décrire tous les comportements attendus d'un automatisme de commande face aux événements ou aux informations issues d'un processus automatisé. En d'autres termes, c'est un modèle graphique de représentation du cahier des charges d'un automatisme logique.

Le GRAFCET est diffusé par l'ADEPA (Agence Nationale pour le Développement de la Productique Appliquée à l'industrie).

1.2 Mise en situation

Le développement des ateliers flexibles et la robotisation ont imposé un outil graphique simple qui permet, à partir d'un cahier de charges bien défini, de résoudre un problème d'automatisation et d'établir le cycle de fonctionnement du processus, cet outil est le Grafcet. Le Grafcet répond particulièrement bien aux besoins de l'industrie dans les automatismes séquentiels dont la décomposition en étapes est possible. Il nous permet non seulement d'analyser le problème posé mais, également de concevoir une solution programmable quel que soit la technologie de l'automate. Cet outil se base sur une représentation graphique très détaillée du système et ceci, avant de faire sa synthèse.

Notre choix s'est porté sur cet outil car c'est un langage clair, strict permettant de décrire un fonctionnement sans ambiguïté.

1.2.1 Normalisation

- NFC (Norme français de l'électricité) : La présente norme s'applique à tout système logique de commande d'automatisme industriel quelle que soit la complexité ou la technologie utilisée (électrique, électronique câblée ou programmée, mécanique, pneumatique, etc.). Le diagramme fonctionnel «Grafcet» décrit tout système dont les évolutions peuvent s'exprimer séquentiellement, c'est à dire dont la décomposition en étapes est possible. Le Grafcet peut être aussi utilisé pour la description de processus combinatoire lorsqu'il permet de donner, de l'automatisme de commande, une description séquentielle plus facilement analysable et compréhensible.

La présente norme a entré en vigueur depuis 19 juin 1982 sous le nom NFC 03-190 de 1982, et depuis le Comité Electrotechnique International : CEI / IEC 848 (1988), CEI : IEC 1131.3 (mars 1993).

Il existe une documentation et symboles graphiques, diagramme fonctionnel "Grafcet" éditée par l'Union Technique de l'Electricité, UTE C03-190 novembre 1990.

1.2.2 Domaine d'application

Le diagramme fonctionnel est indépendant des techniques séquentielles “tout ou rien”, pneumatique, électrique ou électronique, câblées ou programmées, pouvant être utilisées pour

réaliser l'automatisme de commande. Mais l'utilisation de séquenceurs, d'une part, et d'automates à instructions d'étapes d'autre part, permet une transcription directe du diagramme fonctionnel.

Cette représentation graphique concise et facile à lire est aisément compréhensible par toute personne en relation avec le système automatisé, du concepteur à l'utilisateur sans oublier l'agent de maintenance.

Utilisé industriellement, le Grafct est aussi enseigné dans les options techniques et l'enseignement supérieur.

Noter bien :

- Le Grafct ne s'attarde qu'au fonctionnement normal de l'automatisme et ne prend pas en compte les divers modes de marche et d'arrêt, de même que les défaillances ;
- Le GEMMA nous introduira à ces modes ultérieurement.

1.3 Niveaux de Grafct

Le langage Grafct comporte deux niveaux, dont voici les caractéristiques.

⊕ Niveau 1 (spécification) :

- Ne traite que le comportement logique de l'application ;
- Ignore les contraintes spécifiques des capteurs et des actionneurs ;
- Les actions et les réceptivités sont décrites par des phrases.

⊕ Niveau 2 (réalisation) :

- Décrit le fonctionnement réel de l'automatisme ;
 - Tient en compte la technologie des capteurs et des actionneurs ;
 - Les actions et les réceptivités sont données par des équations logiques sur des signaux réels.
- Vu les avantages que nous apporte le Grafct niveau 2, nous allons l'utiliser pour la modélisation de nos futurs processus.

1.4 Eléments de base d'un Grafct

Le Grafct est une succession de transitions, il est composé de (voir Figure 1.1):

- **Etape initiale** : représente une étape qui est active au début du fonctionnement, elle se différencie des autres étapes en doublant les côtés du carré ;
- **Etape** : à laquelle sont associées des actions, chaque étape est représentée par un carré repéré numériquement ;
- **Transition** : à laquelle est associée une Réceptivité, la transition est représentée par un trait horizontal ;
- **Réceptivité** : les conditions de réceptivité sont inscrites à droite de la transition ;
- **Action** : elles sont décrites littéralement ou symboliquement à l'intérieur d'un ou de plusieurs rectangles reliés par un trait à la partie droite de l'étape ;
- **Liaisons orientées** : reliant les étapes aux transitions et les transitions aux étapes. Ces liaisons seront fléchées que lorsqu'elles ne respectent pas le sens de parcours général du haut vers le bas. Elles indiquent le sens du parcours.

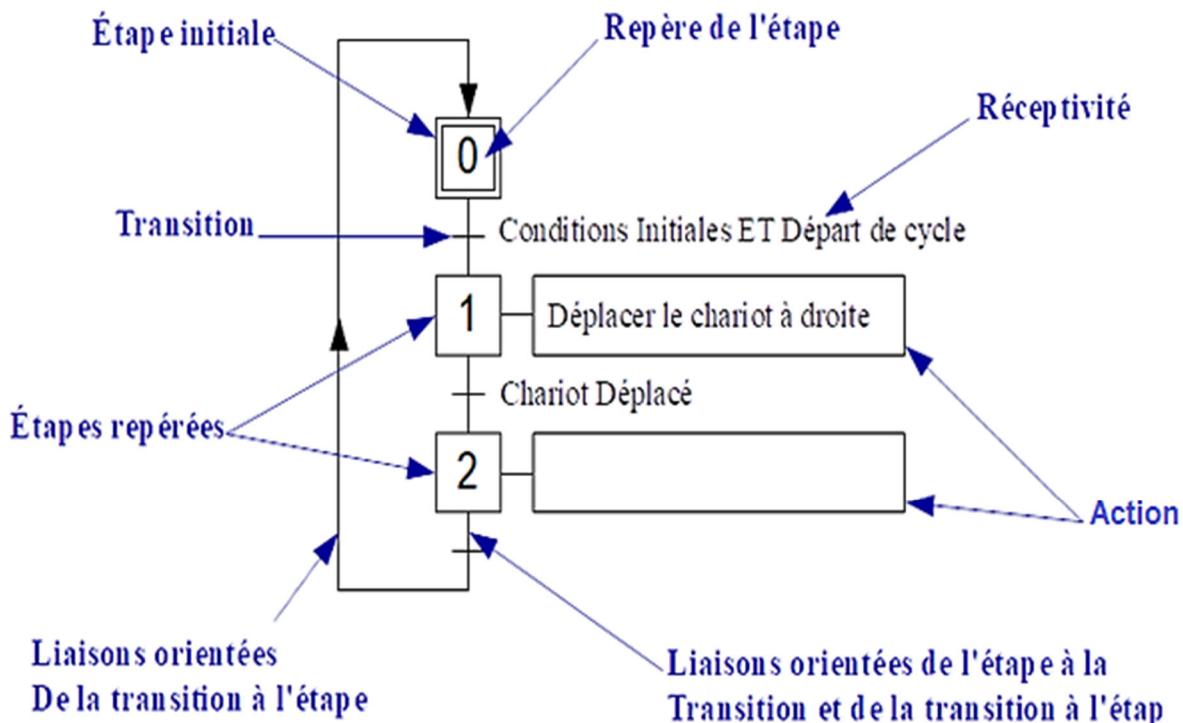


Figure 1.1 - Eléments de base d'un Grafcet

1.5 Règles d'évolutions d'un Grafcet

- ⊕ **Règle 1 :** Etape initiale

L'étape initiale est représentée par un double carré et elle est toujours activée inconditionnellement. Dans un Grafcet on peut avoir plusieurs étapes initiales.

- ⊕ **Règle 2 :** Condition d'activation d'une étape

Le passage de l'étape **n** à l'étape **n+1** est soumis à deux conditions :

L'étape **n** doit être active **ET** la transition correspondante doit être validée.

- ⊕ **Règle 3 :** Activations simultanées

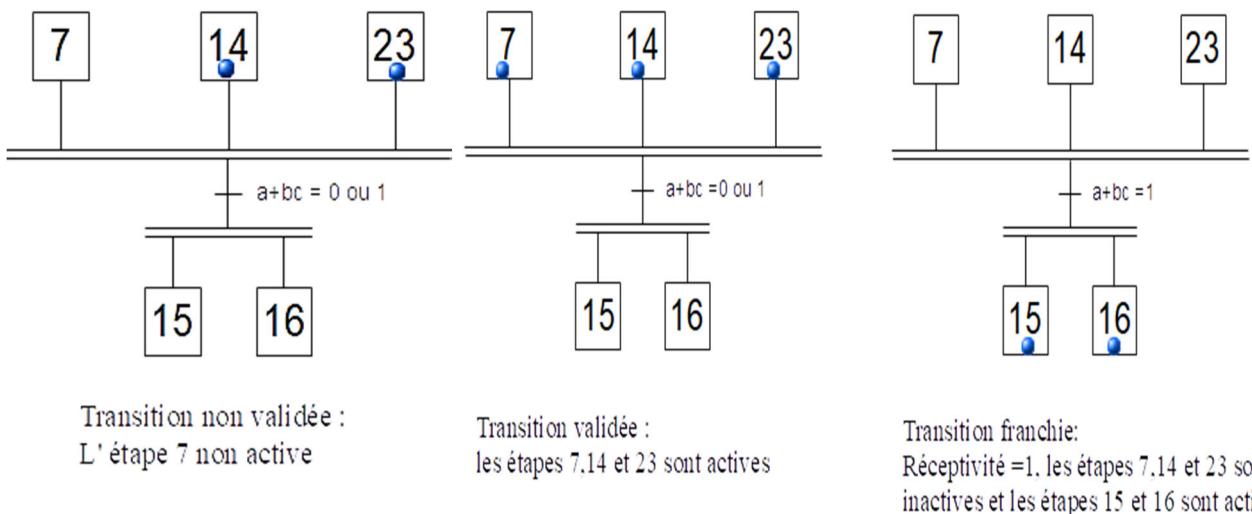
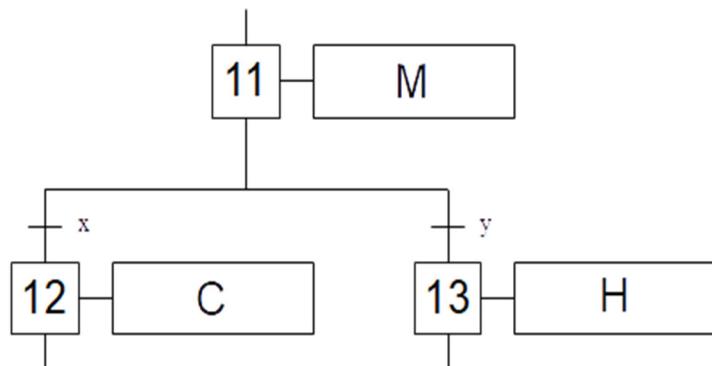
On a trois étapes en parallèle simultanée et une transition (a+bc) avec deux autres étapes simultanée 15 et 16 (voir Figure 1.2). Il faut que les étapes 23,14 et 7 soient actives (la transition est franchissable) **ET** que la transition (a+b.c) soit vraie (la transition est franchie) pour qu'on puisse activer les étapes 15 et 16. Si l'une des trois étapes n'est pas active, on ne peut pas passer à l'étape suivante. On doit avoir les 3 étapes actives et la condition (a+b.c=1).

- ⊕ **Règle 4 :** La convergence et divergence en OU

Cette règle est très importante et très utilisé dans les processus industriels notamment les ascenseurs.

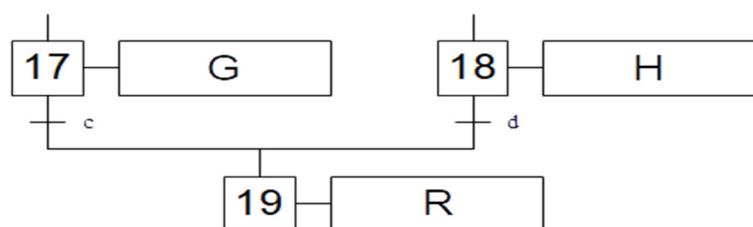
- La divergence en OU :

Le passage de l'étape 11 à l'étape 12 est conditionné par la transition x et le passage de 11 à 13 est conditionner par la transition y (voir Figure 1.3). Si x=1 et y=0, on passe de l'étape 11 à l'étape 12 et si x=0 et y=1, on passe de l'étape 11 à l'étape 13 ;

**Figure 1.2 - Actions simultanées****Figure 1.3 - Divergence en OU****- La convergence en OU :**

On a deux étapes qui sont déjà actives et deux transitions, le passage de l'étape 17 à l'étape 19 est conditionné par c et le passage de l'étape 18 à l'étape 19 est conditionné par d (voir Figure 2.4).

Après une divergence en OU, on trouve une convergence en OU. Le nombre de branches peut être supérieur à 2.

**Figure 1.4 - Convergence en OU**

- ⊕ **Règle 5 :** Une seule étape doit être activée

Dans une divergence en OU, une seule branche doit être exécuté (voir Figure 1.5):

- Si a est validée on passe de l'étape 1 à l'étape 2 ;
- Si b est validée on passer de l'étape 1 à l'étape 3.

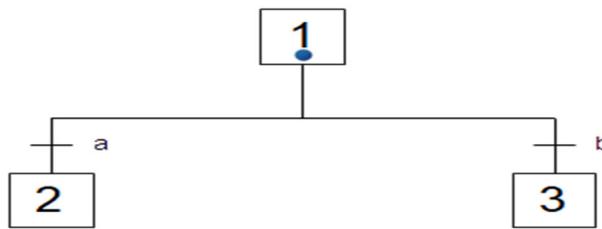


Figure 1.5 - Une seule étape doit être activée

⊕ **Règle 6 : Actions simultanées**

C'est à dire plusieurs étapes vont être exécutées en parallèle (par exemple des moteurs, des vérins, des lampes etc. fonctionnent en même temps).

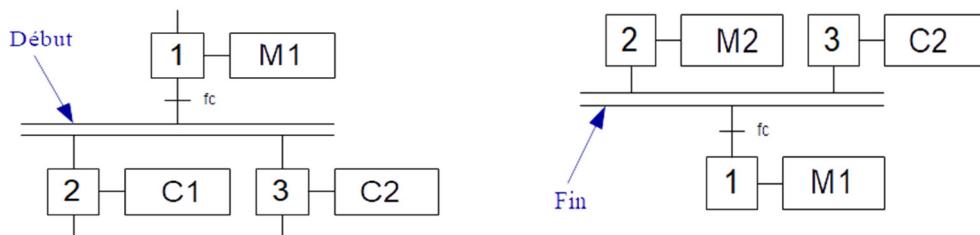


Figure 1.6 - Actions simultanées

Dans ce cas la transition est réalisée par une fin de course f_c (voir Figure 1.6).

Le passage de l'étape 1 aux étapes 2 et 3 se fait par la fin de course $f_c=1$. Et des étapes 2 et 3 à l'étape 1 aussi par $f_c=1$.

⊕ **Règle 7 : Passerelle entre Grafcets**

Si on a un cahier des charges complexe, pour simplifier le Grafcet on peut le diviser en plusieurs Grafcets où chacune gère une partie mais la condition doit être communicante c'est à dire on peut appeler un Grafcet à partir d'un autre.

La Figure 1.7 montre une communication bidirectionnelle entre les deux Grafcets et la transition X6 représente l'étape 6 du Grafcet à droite. Le passage de l'étape 1 à l'étape 2 est conditionné par l'activation est la validation de l'étape 6, si l'étape 6 est validé et la transition X6 est validé on peut passer de l'étape 1 à l'étape 2.

De même le passage de l'étape 4 à l'étape 5 est conditionné par la validation de l'étape X1 du Grafcet à gauche et le départ du cycle dcy.

⊕ **Règle 8 : Reprise d'étapes et saut en avant**

- **Reprise d'étapes :** La reprise d'étapes permet de recommencer plusieurs fois si nécessaire une même séquence comme le montre la Figure 1.8.
- **Saut en avant :** Le saut d'étapes est une sélection de séquence permettant de sauter plusieurs étapes en fonction des conditions d'évolution comme est représenté à la Figure 1.9.

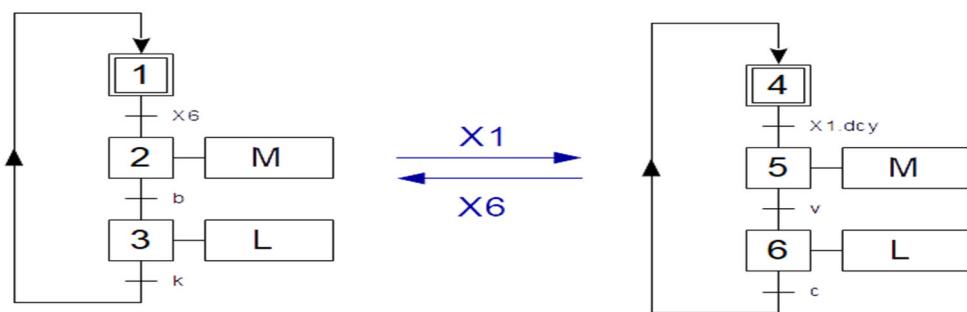


Figure 1.7 - Communication bidirectionnelle.

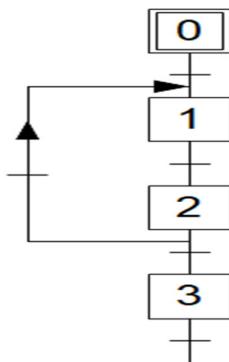


Figure 1.8 - Reprise d'étapes

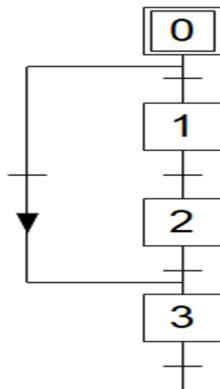


Figure 1.9 - Saut en avant

1.6 Grafcets de tâches et Sous-programmes

Un sous-programme est un Grafcet indépendant dont l'exécution et le déroulement sont synchronisés à un Grafcet principal.

Lorsqu'une tâche doit être réalisée plusieurs fois dans un cycle, la description de cette tâche sous la forme d'un Grafcet indépendant permet de simplifier l'analyse et de simplifier la programmation. Ce Grafcet indépendant est un sous-programme lancé par le programme qui correspond au Grafcet principal.

Dans l'exemple de la Figure 1.10, la tâche dosage (GT1) est exécutée 2 fois dans le cycle et le Grafcet dosage décrit cette tâche. Le lancement de cette tâche dosage est réalisée par l'activation de l'étape X2 ou l'activation de l'étape X5.

Lorsque la tâche est terminée, une information d'état (fin de tache) est retournée au Grafcet principal qui peut alors évoluer. Il est souhaitable de terminer le Grafcet de la tache par la vérification que l'étape de lancement du Grafcet principal est bien désactivée avant de le boucler.

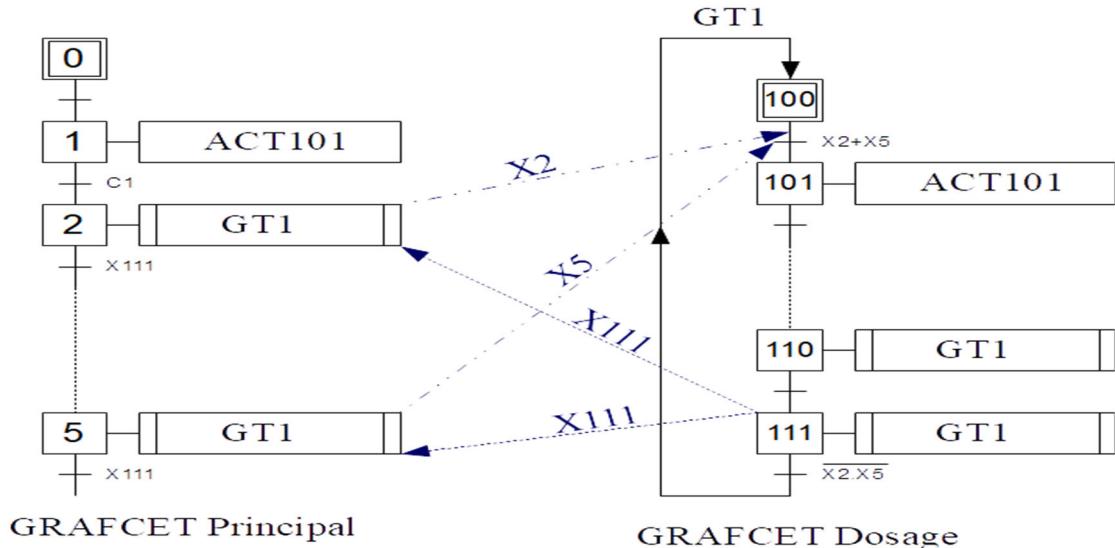


Figure 1.10 - Grafcet de taches

1.7 Macros étapes

Une macro-étape, répétée autant de fois que nécessaire, est introduite dans le graphe principal à la place de la séquence répétitive. Cette séquence est décrite au voisinage immédiat du graphe. La macro-représentation répond aux besoins d'approche progressive et structurée des applications industrielles complexes (voir Figure 1.11).

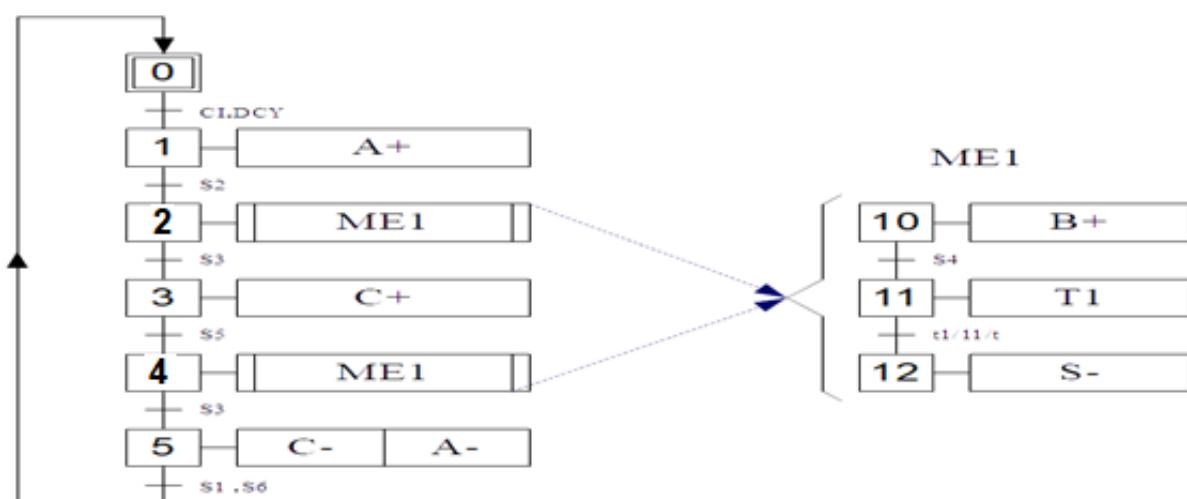


Figure 1.11 - Macro étape

Par rapport à la réalisation programmée, l'étape 10 correspond à un saut vers le sous-programme (appel du sous-programme ME1) et son activité est matérialisée par le pointeur programme principal.

Cependant, la programmation ne sera pas exactement conforme à cette description car, en général, le test S3 est incorporé dans le sous-programme.

1.8 Graphe auxiliaire

Les étapes 2 et 4 sont des étapes d'appel du graphe de séquence répétitive et provoquent l'activation de l'étape 10 par franchissement de la transition (1), réceptive à l'activité de ces étapes (X2 ou X4) comme le montre la Figure 1.12.

L'étape 13 est l'étape de retour au graphe principal.

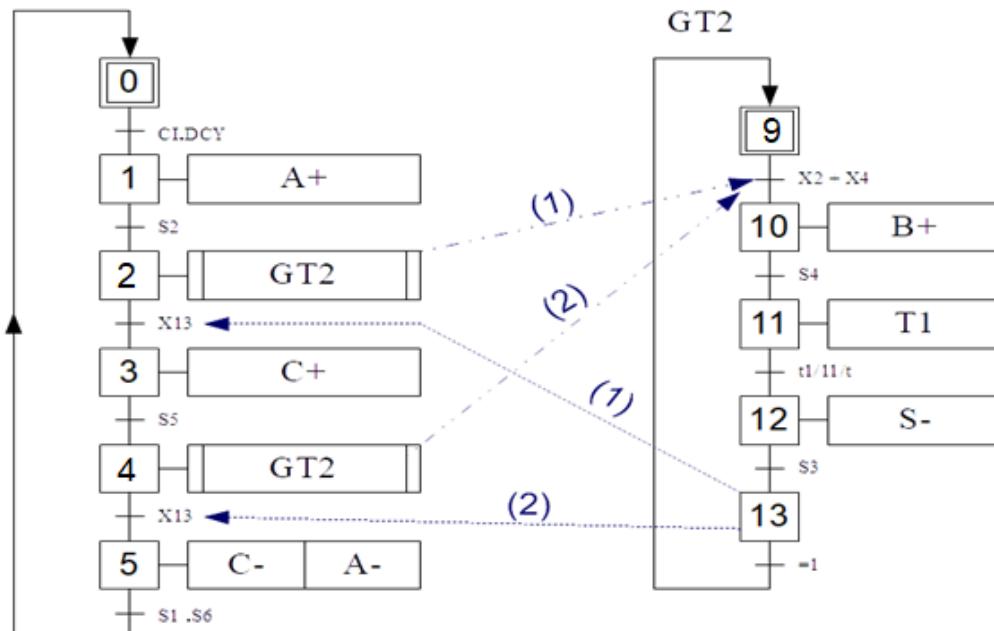


Figure 1.12 - Graphe auxiliaire

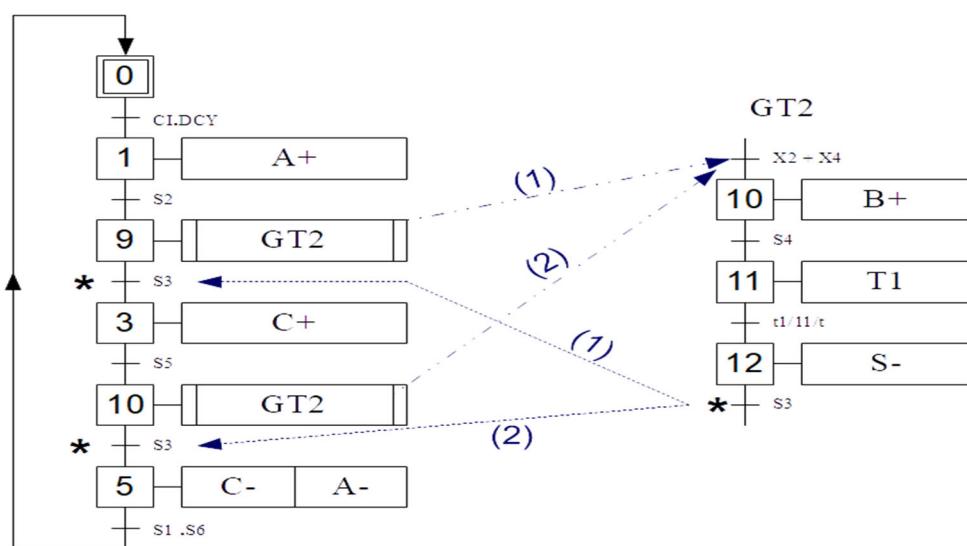


Figure 1.13 - Graphe auxiliaire, concepts de transitions source et puits

Il existe d'autres descriptions fonctionnelles possibles : exemple utilisant les concepts de transitions source et puits avec franchissements simultanés de transitions (*) (voir Figure 1.13). En conclusion, il existe de multiples représentations fonctionnelles possibles pour décrire l'utilisation d'une même ressource dans une séquence, à des instants différents.

Le problème peut être beaucoup plus complexe dans certains cas (appel de sous-programmes paramétrés ou multiplexés, la gestion d'appels multiples, etc.).

1.9 Forçage

Le forçage est une action continue, notée dans un double cadre, qui agit sur le graphe **Gi**, hiérarchiquement inférieur ou "esclave" en configurant ce Grafcet, depuis n'importe quelle situation, dans un état donné.

L'activation de l'étape 10 du Grafcet **G1** force le grafcet **G2** à son étape 21 (forcée à 1), les autres étapes du grafcet **G2** sont désactivées (forcées à 0) comme le montre la Figure 1.16.

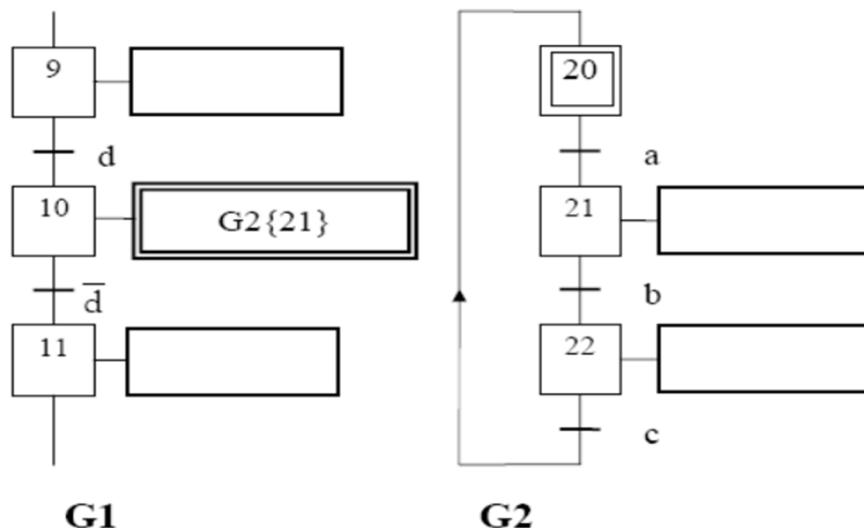


Figure 1.16 – Action de forçage

1.10 Grafcet d'un point de vue de la partie opérative (P.O)

Le Grafcet d'un point de vue de la partie opérative décrit en terme clair ou par symbole les actions et les réceptivités en tenant compte de la technologie choisie.

La technologie concerne les éléments de la partie opérative ainsi que le type d'informations reçues (ordres) ou envoyées (comptes rendus).

C'est en général la description de l'automatisme seul, c'est à dire l'enchaînement des actions et des transitions permettant de contrôler le procédé. Lorsque l'on aborde l'analyse et la description d'un système, on ne sait pas quelle technologie sera retenue pour les actionneurs, les capteurs et la commande. On décrira dans ce Grafcet les actions et les évènements en termes généraux. Ce graphe décrit le fonctionnement global du système. Il traduit le cahier des charges sans préjugé de la technologie adoptée. Il permet de dialoguer avec des personnes non spécialistes (fournisseurs, décideurs...) son écriture, en langage clair, permettant sa compréhension par tout le monde.

1.11 Grafset d'un point de vue de la partie commande (P.C)

Le Grafset d'un point de vue de la partie commande décrit les échanges de la partie commande avec la partie opérative et le dialogue avec l'opérateur, en tenant compte des choix technologiques des pré-actionneurs et des capteurs.

Dans ce type de Grafset on spécifie le type des informations reçues (ordres) et envoyées (comptes rendus). L'observateur de ce point de vue étant un spécialiste de la partie opérative, la partie commande ne l'intéresse que par ses effets.

1.12 Grafset de point de vue système (procédé et processus)

Description faite par un observateur se situant d'un point de vue externe au SAP.

Le point de vue système décrit le comportement du système vis à vis du produit.

Le procédé est l'ensemble des fonctions successives exécutées sur un même produit au cours de sa fabrication.

Le processus est l'organisation du procédé. C'est la succession des fonctions simultanées réalisées sur tous les produits présents dans le système automatisé.

Le Grafset du point de vue système permet le dialogue entre le client et le concepteur pour la spécification du système automatisé.

1.13 Interprétation algébrique

Les règles d'évolution du Grafset sont le point de départ des équations logiques décrivant la navigation entre les étapes de fonctionnement.

- ⊕ **1^{ère} règle :** une transition est, soit validée soit non validée.

Elle est validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes sont actives. Elle ne peut être franchie que :

Lorsqu'elle est validée ET que la réceptivité associée à la transition est VRAIE.

La traduction de cette règle donne la condition d'activation de l'étape n :

$$CA(X_n) = X_{n-1} \cdot t_n \cdot \overline{Init}$$

- ⊕ **2^{ème} règle :** le franchissement d'une transition entraîne l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.

La traduction de cette règle donne la condition de désactivation de l'étape n :

$$CD(X_n) = X_n \cdot t_{n+1} + Init = X_{n+1} + Init$$

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

D'après ces trois points précédents, il est possible d'écrire la table de vérité de l'activité de l'étape n d'un Grafset : Xn

Tableau 1.1 - Table de vérité de l'étape X_n

X _{n(t)}	CA(X _n)	CD(X _n)	X _{n(t+δt)}	Remarques
0	0	0	0	L'étape X _n reste inactive (effet mémoire)
0	0	1	0	L'étape X _n reste inactive
0	1	0	1	Activation de l'étape X _n
0	1	1	1	Activation ET Désactivation : Activation de X _n
1	0	0	1	L'étape reste Active (effet mémoire)
1	0	1	0	Désactivation de l'étape X _n
1	1	0	1	L'étape reste Active
1	1	1	1	Activation ET Désactivation : Activation de X _n

La table de Karnaugh associé est présentée par le Tableau 1.2.

Tableau 1.2 - Table Karnaugh de l'étape X_n

CA(X _n).CD(X _n)	00	01	11	10
X _n	0	0	0	1
	1	1	0	1

D'où l'équation de X_n :

$$X_n = CA(X_n) + \overline{CD(x_n)} \cdot X_n \quad \text{Ce qui donne que : } X_n = (X_{n-1} \cdot t_n + X_n \cdot \overline{X_{n+1}}) \cdot \overline{Init}$$

Ou encore et l'expression de l'équation de transfert généralisée d'une étape quelconque d'un Grafcet est la suivante :

$$X_n = (X_{n-1} \cdot t_n + X_n) \cdot \overline{X_{n+1}} \cdot \overline{Init}$$