

LES SYSTEMES INDUSTRIELS AUTOMATISES

Généralités

Chaque processus industriel de fabrication ou de transformation se compose d'un ensemble de machines destinées à réaliser la fabrication ou la transformation considérée.

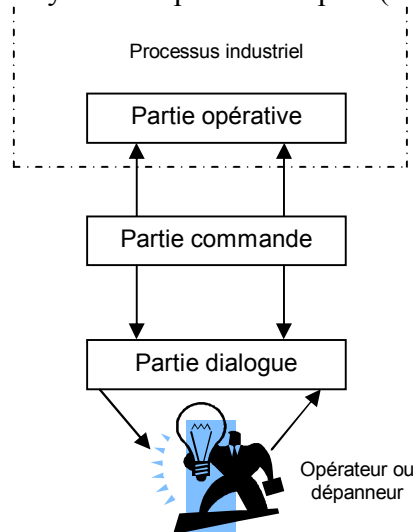
Chaque machine ou partie opérative comprend un ensemble de moteurs, vérins, vannes et autres dispositifs qui lui permet de fonctionner.

Ces moteurs, vérins, vannes et autres dispositifs s'appellent actionneurs. Ils sont pilotés par un automate ou partie commande.

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

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

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



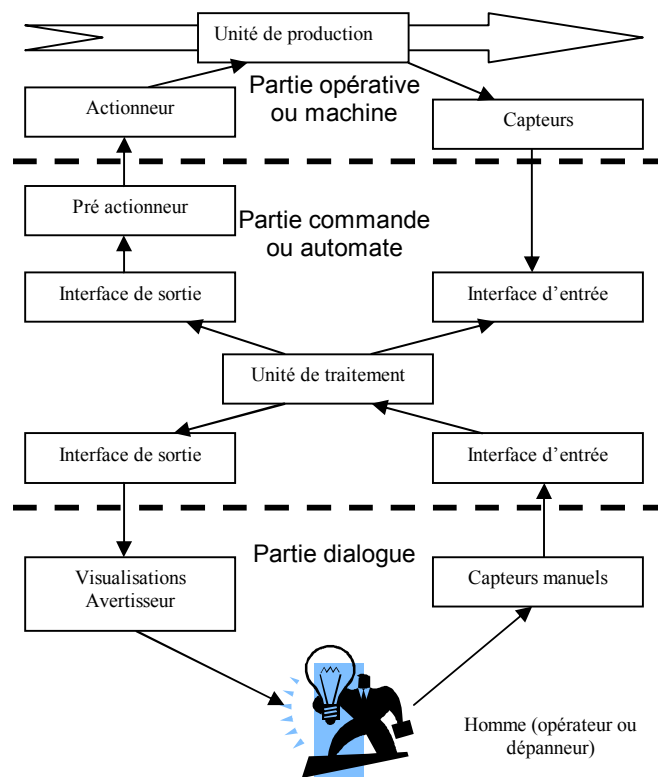
Structure générale d'un automatisme

De même, la partie commande retourne vers l'homme des informations sous des formes compréhensibles par lui (voyant, afficheurs, cadrans, etc.).

Ainsi, entre l'homme et la partie opérative, s'instaure un dialogue homme machine dont l'importance naguère sous-estimée est aujourd'hui reconnue et qui est actuellement l'objet de nombreuses études.

2 Structure des automatismes

Partant des définitions de base énoncées au paragraphe précédent, nous allons maintenant détailler les éléments constitutifs d'un automatisme (figure suivante).



Analyse de la partie opérative :

La partie opérative se compose de trois ensembles :

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

Analyse de la partie commande

La partie commande se compose de quatre ensembles :

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

Analyse de la partie dialogue

La partie dialogue se compose de deux ensembles :

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

LE GRAFCET

1. Introduction :

Le GRAFCET est un diagramme fonctionnel dont le but est de décrire graphiquement les différents comportements d'un automatisme séquentiel.

Créé par l'AFCET (Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique), le Grafcet est la synthèse d'une vingtaine de systèmes de description proposés à l'origine (1976).

Sa promotion en a été faite par l'ADEPA (Agence pour le Développement de la Production Automatisée) puis a été acceptée par les instances internationales de normalisation, notamment par le Comité Électrotechnique International dans sa publication 848 de l'année 1988 d'où proviendront de large extraits de ce cours (CEI 848)

Domaine d'application du GRAFCET

Le GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande Etape Transition), également appelé Diagramme Fonctionnel en Séquence ou Sequential Function Chart, permet "...l'établissement des descriptions de la fonction et du comportement des systèmes de commandes en établissant une représentation graphique indépendante de la réalisation technologique...".

Plus pragmatiquement, le GRAFCET est destiné à représenter des automatismes logiques séquentiels, c'est à dire des systèmes événementiels dans lesquels les informations sont de type booléennes (tout ou rien) ou peuvent s'y ramener (numériques). Le GRAFCET est utilisé généralement pour spécifier et concevoir le comportement souhaité de la partie commande d'un système de commande mais il peut également être utilisé pour spécifier le comportement attendu de la partie opérative ou bien de tout le système de commande.

Destiné à être un moyen de communication entre l'automaticien et son client, le GRAFCET est un outil utilisé pour la rédaction du cahier des charges d'un automatisme. Cependant un des points forts du GRAFCET est la facilité de passer du modèle à l'implantation technologique de celui-ci dans un automate programmable industriel. Le GRAFCET passe alors du langage de spécification au langage d'implémentation utilisé pour la réalisation de l'automatisme. On parle ainsi de grafcets de spécification et de grafcets de réalisation. Les chapitres suivants seront donc consacrés à la définition du GRAFCET et à son utilisation en tant que langage d'implémentation.

2. Exemple Poinçonneuse semi-automatique :

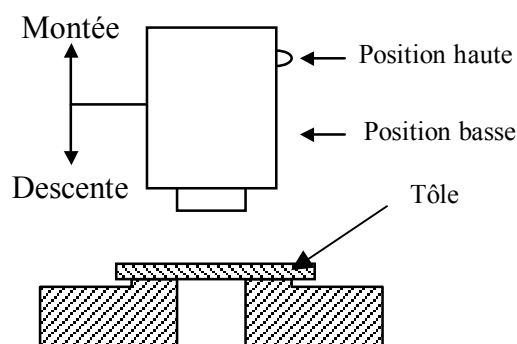


Fig. 1 Constitution de la poinçonneuse

La poinçonneuse représentée très schématiquement ci-contre se compose d'une table fixe recevant la tôle à poinçonner et d'un poinçon mobile. Considérons la poinçonneuse en sa position origine au repos, poinçon en haut.

L'opérateur en donnant l'information "Marche" provoque automatiquement la descente du poinçon puis sa remontée en position repos. Nous dirons alors que la poinçonneuse décrit un cycle de fonctionnement.

Une telle machine présente successivement trois comportements différents. Nous appellerons étape chacun de ces comportements.

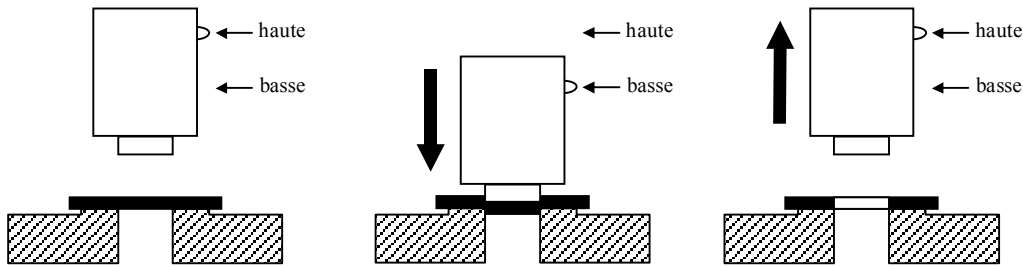


Fig. 2. Description des étapes

Ces trois étapes sont :

- ETAPE 1 - Comportement : La poinçonneuse est au repos
- ETAPE 2 - Comportement : Descendre le poinçon
- ETAPE 3 - Comportement : Remonter le poinçon

Il s'agit maintenant de préciser ce qui provoque un changement de comportement de la machine c'est à dire les conditions logiques qui déterminent le passage d'un comportement à un autre. Nous qualifierons chaque passage d'un comportement à un autre comme étant le franchissement d'une transition pour bien montrer son irréversibilité.

Par exemple, le passage de la position de repos (étape 1) à la descente du poinçon (étape 2) ne peut s'effectuer que si l'opérateur fournit l'information "Marche" et que si le poinçon est en position haute (Conditions Initiales).

Ces deux informations, "Marche" et "Conditions Initiales", constituent la condition de transition appelée "Réceptivité" associée à la transition de l'étape 1 vers l'étape 2 ($t_{1 \rightarrow 2}$).

Cette description de fonctionnement de la poinçonneuse est représentée par le GRAFCET suivant :

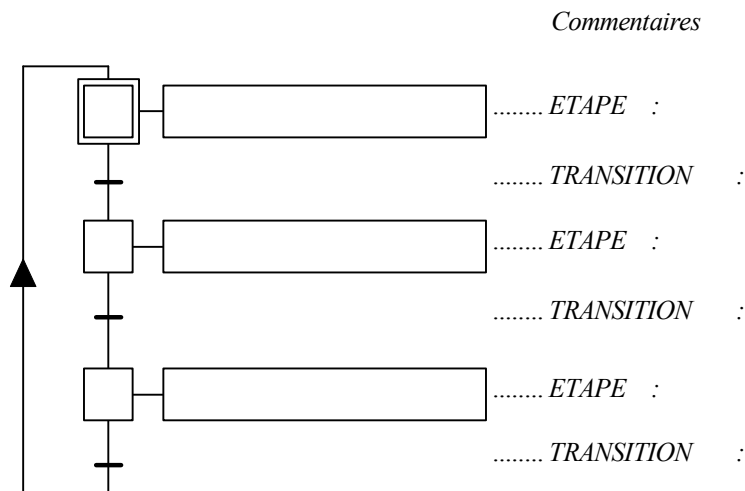


Fig. 3. Grafcet fonctionnel de la poinçonneuse

Nous remarquerons que ce Grafcet correspond à une succession alternée d'étapes et de transitions.

Nous associerons :

- À chaque étape, le comportement ou l'action à obtenir.
- À chaque transition, les informations permettant leur franchissement sous la forme d'une condition logique ou réceptivité.

Nous pouvons donc, dans un premier temps, définir une étape comme une situation du cycle de fonctionnement pendant laquelle le comportement de l'automatisme demeure constant.

Sous une autre forme, le changement de comportement provoque obligatoirement le passage à une autre étape.

Sur la machine le comportement de l'automatisme se manifestera par des actions ou plus exactement par des ordres envoyés vers les organes chargés d'exécuter ces actions.

Sur la poinçonneuse deux actions sont effectuées :

- La descente du poinçon associée à l'étape 2 ;
- La remontée du poinçon associée à l'étape 3.

Une étape est soit active, soit inactive, et les actions associées à une étape sont effectives que lorsque celle-ci est active.

Les transitions indiquent, avec les liaisons orientées, les possibilités d'évolution entre étapes.

La condition de transition est appelée réceptivité, car elle permet de distinguer, parmi toutes les informations disponibles, uniquement celles qui, à un instant donné, sont susceptible de provoquer un changement de comportement. Soit encore que dans une étape, l'automatisme n'est réceptif qu'à ces informations.

La symbolisation utilisée dans l'écriture des Grafcet peut être résumée par la figure suivante :

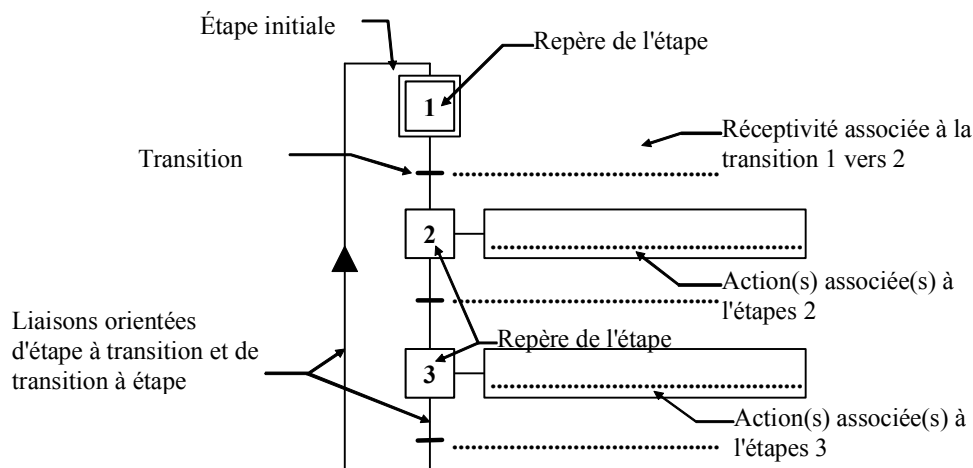


Fig. 4. Symbolisation du grafcet

Chaque étape est représentée par un carré repéré numériquement. En addition à ce repère un nom symbolique peut être ajouté représentatif de la fonction principale de l'étape (ex. : attente, fin, etc.).

Les étapes initiales, représentant les étapes actives au début du fonctionnement, se différencient en doublant les côtés du carré.

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

Les transitions sont repérées par des barres horizontales.

Les réceptivités sont inscrites, sauf cas particulier, à droite de chaque transition.

3. Structure de base :

Les évolutions courantes peuvent être représentées par les structures de base suivantes.

3.1 Séquence unique :

Une séquence unique est composée d'une suite d'étapes qui seront activées les unes après les autres. Dans cette structure, chaque étape est suivie par une seule transition et chaque transition par une seule étape.

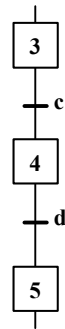


Fig. 5 Exemple d'une séquence unique

La figure 5 illustre l'exemple d'une séquence unique. Une évolution de l'étape 3 vers l'étape 4 pourra se produire uniquement si l'étape 3 est active ($X_3 = 1$) et la condition de transition "c" associée à la transition $t_{3 \rightarrow 4}$ est vraie ($c = 1$). Il en est de même lorsque l'étape 4 est active ($X_4 = 1$). Si la réceptivité "d" est vraie ($d = 1$), le franchissement de la transition $t_{4 \rightarrow 5}$ conduit vers l'étape 5 et désactive l'étape 4.

3.2 Sélection de séquence (mode de sélection) :

3.2.1 Début de sélection de séquence (divergence de sélection de séquence) :

Une sélection entre une ou plusieurs séquences est représentée (sous la ligne horizontale) par autant de symboles de transition qu'il y a d'évolutions différentes. Aucun symbole commun de transition n'est permis au-dessus de la ligne horizontale.

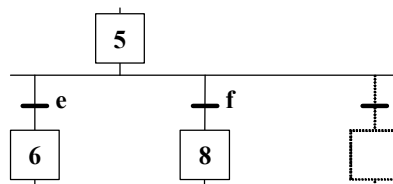


Fig. 6 Exemple d'une sélection de séquence

La figure 6 présente un exemple de sélection de séquence. Une évolution s'effectuera de l'étape 5 vers l'étape 6 si l'étape 5 est active ($X_5 = 1$) et si la condition de transition "e" est vraie ($e = 1$) ou de l'étape 5 vers l'étape 8 si la condition de transition "f" est vraie ($f = 1$).

Note : de façon à sélectionner une seule séquence, il est nécessaire que les conditions de transition associées à ces séquences soient exclusives afin de ne pas être vraies en même temps. Il est toujours possible d'attribuer un ordre de priorité dans l'annotation des conditions de transitions (voir fig. 7).

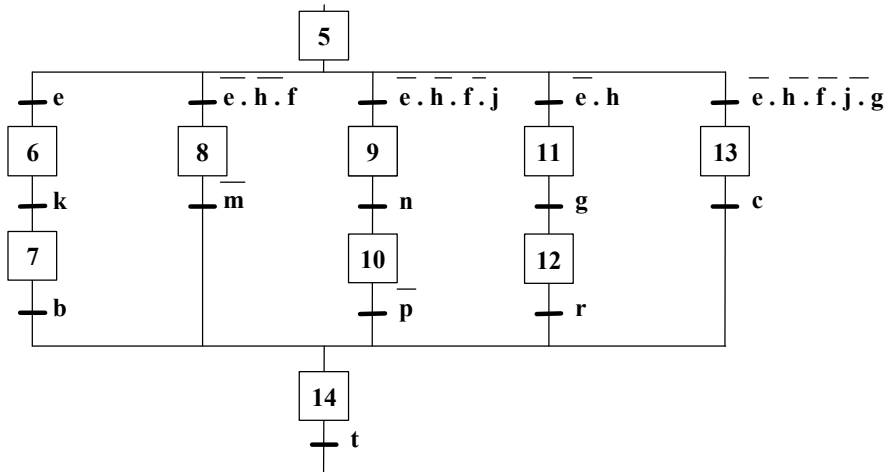


Fig. 7 Exemple d'une sélection de séquence après l'étape 5, spécifiée par annotation des conditions de transitions

3.2.2 Fin de sélection de séquence (convergence de sélection de séquence) :

La convergence de plusieurs étapes vers une séquence commune se représente (au-dessus de la ligne horizontale), par autant de symboles de transition qu'il y a de séquences à regrouper. Aucun symbole commun de transition n'est permis en dessous de la ligne horizontale.

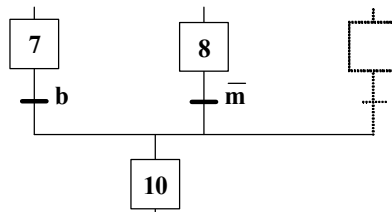


Fig. 8 Exemple de fin de sélection de séquences

La figure 8 représente un exemple de fin de séquence. Une évolution pourra se produire de l'étape 7 vers l'étape 10 si l'étape 7 est active et si la condition de transition "b" est vraie ($b = 1$), ou de l'étape 8 à l'étape 10 si l'étape 8 est active ($X8 = 1$) et si la condition de transition "m" est vraie ($\bar{m} = 1$).

3.3 Séquences simultanées (parallélisme structural) :

Début de séquences simultanées (divergence de séquences simultanées) :

Lorsque le franchissement d'une transition conduit à activer plusieurs séquences en même temps, ces séquences sont dites simultanées. Après leur activation simultanée, l'évolution des étapes actives dans chacune de ces séquences devient alors indépendante. Un seul symbole commun de transition est permis au-dessus de la double ligne horizontale de synchronisation (ISO 5807, symbole n° 9.2.2.5).

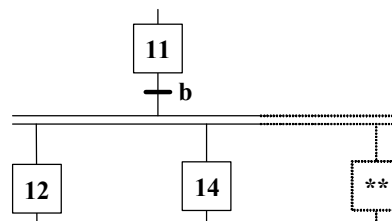


Fig. 9 Exemple de début de séquences simultanées

La figure 9 illustre l'exemple de séquences simultanées. Une évolution de l'étape 11 ne pourra s'effectuer vers les étapes 12, 14, et ** que si l'étape 11 est active ($X_{11} = 1$) et si la condition de transition "b" associée à la transition commune ($t_{11 \rightarrow 12,14,**}$) est vraie ($b = 1$).

3.3.1 Fin de séquences simultanées (convergence de séquences simultanées) :

Pour synchroniser les convergences de plusieurs séquences en même temps, la structure suivante est utilisée.

Un seul symbole commun de transition peut être placé sous la double ligne horizontale de synchronisation. La divergence et la convergence de séquences simultanées peuvent être effectuées en une ou plusieurs fois (voir figure 16).

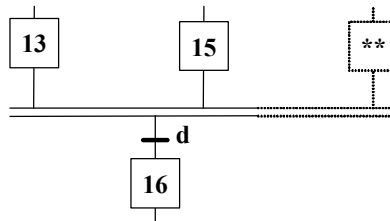


Fig. 10 Exemple de fin de séquences simultanées

La figure 10 illustre l'exemple de convergence de séquences simultanées. Une évolution des étapes 13, 15 et ** ne pourra s'effectuer vers l'étape 16 que si les étapes immédiatement au-dessus de la double ligne sont actives et si la condition de transition "d" associée à la transition commune est vraie ($d = 1$).

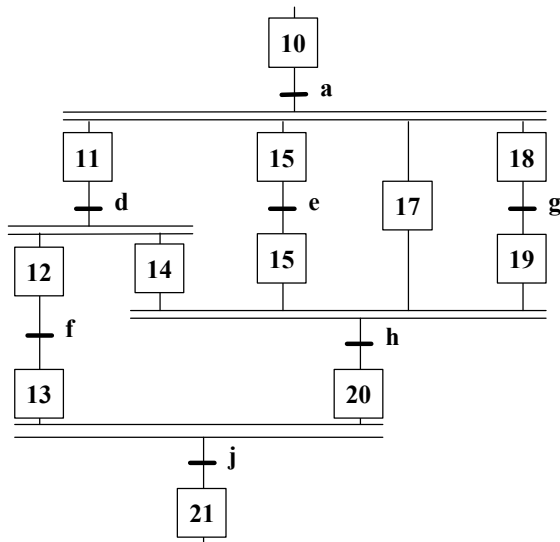


Fig. 11 Exemple de divergence et de convergence en plusieurs séquences simultanées

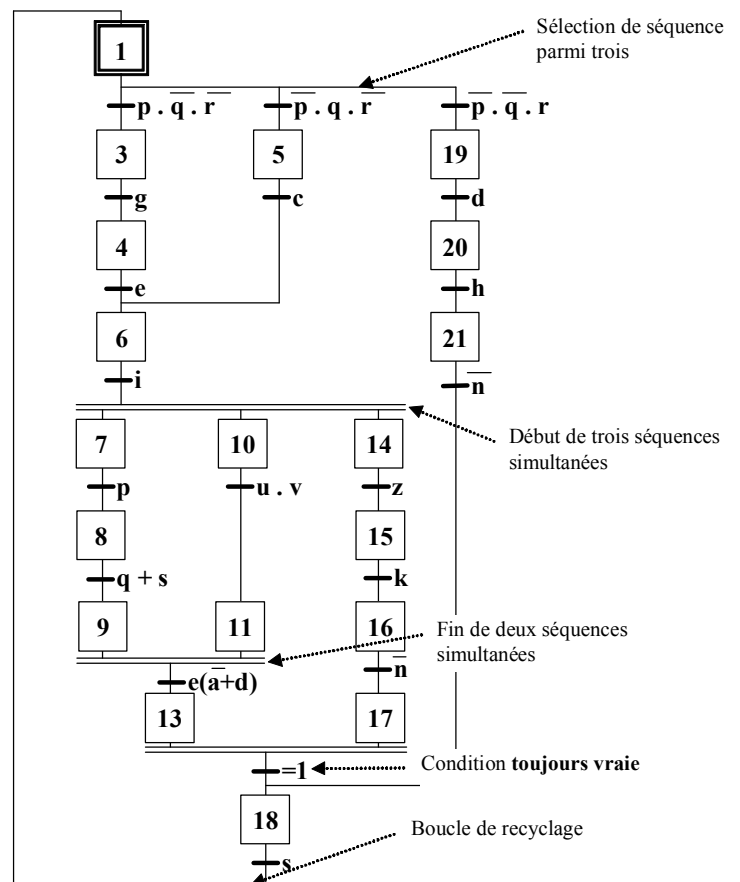


Fig. 11 Exemple de cycle décrit par un Grafcet

4. Règles de syntaxe :

L'alternance étape - transition et transition - étape doit toujours être respectée pour chaque séquence parcourue, par exemple :

- Deux étapes ne doivent jamais être reliées directement, elles doivent être séparées par une transition ;
- Deux transitions ne doivent jamais être reliées directement, elles doivent toujours être séparées par une étape.

5. Ordres détaillés ou actions détaillées et conditions de transition détaillées

5.1 Qualification des ordres (actions)

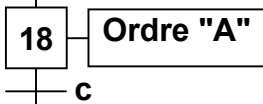
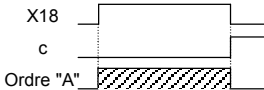
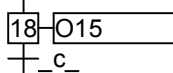
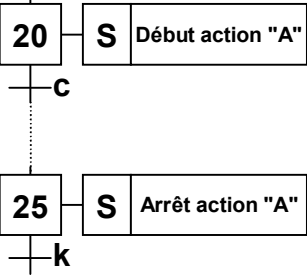
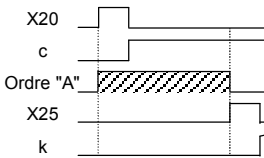
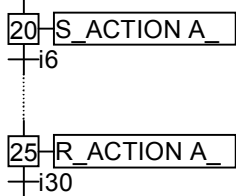
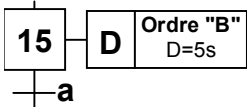
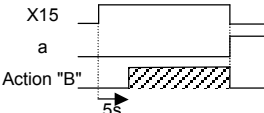
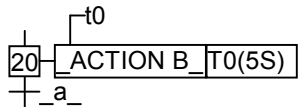
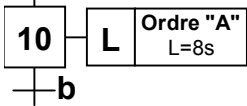
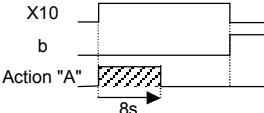
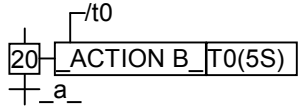
La correspondance exacte entre la durée des ordres et la durée de l'activité des étapes est indiquée en affectant aux symboles des ordres détaillés les lettres suivantes :

- S (mémorisation d'activation) ;
- D (retardé) ;
- L (limité dans le temps).

Si la durée de L est courte, L peut être remplacée par :

- P (Impulsion sur un cycle de scrutation).

5.2 Ordres (actions) détaillé(e)s :

N°	Symbole	Description	Écriture Automgen
Action non mémorisée			
5.2.			
Action mémorisée			
5.3.			
Action non mémorisée mais retardée			
5.4.			
Action non mémorisée mais limitée dans le temps			
5.5.			
Action mémorisée et retardée			

5.6.			
Action retardée et mémorisée			
5.7.			
N°	Symbole	Description	Écriture Automgen
Action mémorisée et limitée dans le temps			
5.8.			

5.3 Ordres (actions) conditionnel(le)s :

Un ordre peut être soumis à une condition logique de validation avant ou après le traitement indiqué de son signal d'étape (section "a" du symbole d'ordre). Cela est particulièrement important quand l'ordre est mémorisé. Une telle condition peut être indiquée à l'intérieur ou à l'extérieur du symbole d'ordre, suivant la place disponible pour l'écriture.

N°	Symbole	Description	Écriture Automgen
Action conditionnelle			
6.1.	<p style="text-align: center;">Forme 1</p>		
6.2.	<p style="text-align: center;">Forme 2</p>		
Action mémorisée et conditionnelle			

6.3.	<p>Forme 1</p>		
6.4.	<p>Forme 2</p>		
N°	Symbole	Description	Écriture Automgen
Action conditionnelle et mémorisée			
6.3.	<p>Forme 1</p>		
6.4.	<p>Forme 2</p>		

5.4 Conditions de transition détaillées :

5.4.1 Annotation de la dépendance de temps :

N°	Symbole	Description	Écriture Automgen
7.1.		<p>Durée d'activité de l'étape 27 limitée à 4s par le franchissement de la transition</p>	

5.4.2 Annotation de l'état logique

Le franchissement d'une transition peut dépendre non seulement de la présence de l'état logique de la variable logique symbolisant la condition mais aussi de son changement d'état logique

N°	Symbole	Description	Écriture Automgen
8.1	$\uparrow c$	Transition du signal logique binaire c de 0 à 1 (front montant)	
N°	Symbole	Description	Écriture Automgen
8.2.	c	État 1 du signal logique binaire c	
8.3.	$\downarrow c$	Transition du signal logique	

		binaire c de 1 à 0 (front descendant)	
8.4.	\bar{c} ou non c	État 0 du signal logique c	
N°	Symbole	Description	Écriture Automgen
8.5.		<p>L'activation et la désactivation de l'étape 12 sont provoquées par des conditions de transition dynamiques.</p>	
8.6.		<p>La transition de l'état actif de l'étape 33 vers l'étape 34 se produira uniquement lorsque la condition "c" est vraie pendant le temps ou "g" passe de 0 à 1.</p>	

5.5 Réutilisation de la même séquence

Une séquence d'étape qui se produit plusieurs fois peut être représentée à chaque occasion par un seul symbole d'étape avec un symbole d'ordre simple.

Exemple :

N°	Symbole	Description	Écriture Automgen
9.1.		<p>Séquence 34 – 42 activée par les étapes 7 et 56</p> <p>Note : L'astérisque sert à marquer les transitions, situées sur différents diagrammes, qui doivent être franchies simultanément.</p>	

