



**LES AUTOMATISMES**

# **LE GRAFCET**



Lycée L.RASCOL 10, Rue de la République  
BP 218. 81012 ALBI CEDEX

# SOMMAIRE

## LE GRAFCET NORMALISATION

- I. Introduction
- II. Nécessité d'un outil normalisé
- III. Principes généraux
- IV. Règles
- V. Représentation graphique des éléments
- VI. Application des règles d'évolution
- VII. Actions associées

## LE GRAFCET CONSTRUCTION

- VIII. Structures basiques
- IX. Structures complexes
- X. Structures spéciales
- XI. Méthode de construction d'un grafcet
- XII. Représentation d'une automatisation

## LE GRAFCET COMPLEMENT A LA NORME

- XIII. Représentation du temps dans un grafcet
- XIV. Compléments sur les réceptivités
- XV. Le comptage
- XVI. Compléments sur les transitions et les étapes

## LE GRAFCET COORDINATION DES TACHES

- XVII. Méthodologie d'analyse
- XVIII. Représentation structurée du grafcet de coordination
- XIX. Calcul du temps de cycle

## LE GRAFCET LA HIERARCHIE

- XX. Fonction d'une partie opérative
- XXI. Structure d'une partie commande
- XXII. Hiérarchisation des fonctions
- XXIII. Forçage des situations
- XXIV. Représentation du niveau commande
- XXV. Représentation du niveau conduite
- XXVI. Représentation du niveau surveillance
- XXVII. Exemple

# **LE GRAFCET**

# **NORMALISATION**

## I. INTRODUCTION

Au début des années 70, le bilan de la conception des systèmes logiques n'était pas brillant. Chez les chercheurs, on constatait encore une importante dissipation d'énergie pour perfectionner les méthodes théoriques de synthèse (Huffman, expressions régulières...) afin de les rendre plus accessibles, plus efficaces et "optimales". Dans l'industrie, ces travaux étaient ignorés ou jugés avec quelque sévérité; ils avaient en tous cas peu d'impact sur les méthodes pratiques de synthèse qui restaient dans l'ensemble empiriques et rattachées à la technologie des automatismes à relais.

Avec l'arrivée des technologies nouvelles et l'accroissement de la complexité des systèmes étudiés. Les praticiens prirent conscience que l'approche empirique n'était ni sûre, ni adaptée à leurs besoins.

Le premier pas pour sortir de cette impasse fut accompli par P. GIRARD qui très tôt introduisit les notions de réceptivité et d'étape. A la même époque, aux Etats-Unis des équipes d'informaticiens totalement étrangers aux problèmes de synthèse des automatismes logiques, découvraient les réseaux de Pétri que celui-ci avait définis en 1962. La voie nouvelle dans laquelle s'engageait la conception des systèmes logiques se précisait alors. Deux mots clefs la définissent : cahier des charges et modélisation.

C'est en 1975 que fut créée une "commission de normalisation de la représentation du cahier des charges d'un automatisme logique" dans le cadre du groupe de travail "systèmes logiques" de l' AFCET<sup>1</sup>. L'objectif de la commission était clair : homogénéiser les différentes approches afin de dégager un outil unique de représentation d'un cahier des charges.

En 1977, deux ans après sa création, la commission dans son rapport final, définissait le contenu d'un cahier des charges et ses différents niveaux d'élaboration et proposait un outil pour sa représentation : le GRAFCET<sup>2</sup>.

Le groupe de travail "Automatisation séquentielle" de ADEPA<sup>3</sup> reprit le flambeau pour donner au GRAFCET, sans toucher au fond, une forme normalisée tenant compte des normes existantes et des usages généraux des symboles normalisés.

A la demande du GIMEE<sup>4</sup> et au sein de l'UTE<sup>5</sup>, un groupe d'étude élargi réunissant les experts des diverses commissions intéressées auxquels se sont joints des experts du CNOMO<sup>6</sup>, de l'UNM<sup>7</sup>, de l'Education Nationale de l'AFNOR<sup>8</sup> etc., a établi à partir des travaux effectués par l' AFCET et l'ADEPA un projet aboutissant à la norme NF C03-190 de Mai 1982. Le GREPA<sup>9</sup>, équipe d'industriels et de formateurs, améliora le concept du GRAFCET en proposant la notion de Macro étape et de Forçage. Ceci fut l'objet d'un projet de norme référencé NF C03-191 en 1993.

En 1988 le GRAFCET obtint ses galons internationaux avec la publication par la CEI<sup>10</sup> de la norme CEI/IEC 848.

Dès 1978, l'Inspection Générale des Sciences et Techniques Industrielles, convaincue du rôle fondamental de cet "outil" pour l'enseignement des automatismes industriels crée une commission de travail en liaison avec l'ADEPA et lance parallèlement des expérimentations en Lycées techniques. En 1980 le GRAFCET est introduit dans les programmes d'enseignement. Il est également enseigné dans plusieurs pays comme l'Autriche, la Suisse, la Hollande, la Suède...

<sup>1</sup> AFCET : Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique.

<sup>2</sup> GRAFCET : Graphe Fonctionnel de Commande Etape-Transition

<sup>3</sup> ADEPA : Agence pour le DEveloppement de la Production Automatisée

<sup>4</sup> GIMEE : Groupement des Industries et Matériels d'Equipements Electriques

<sup>5</sup> UTE : Union Technique de l'Electricité

<sup>6</sup> CNOMO : Comité de Normalisation des Outillages et des Machines Outils

<sup>7</sup> UNM : Union de la Normalisation de la Mécanique

<sup>8</sup> AFNOR : Association Française de NORmalisation

<sup>9</sup> GREPA : Groupe Equipement de Production Automatisé

<sup>10</sup> CEI : Commission Electrotechnique Internationale

En résumé, voici sur quelles bases a été conçu le GRAFCET:

- utilisation d'un procédé graphique, choix des symboles graphiques
- mise en évidence de chacune des situations de l'automatisme séquentiel à un moment donné, notion de situation, d'étape et d'action associées
- sélection des seules informations utiles à l'évolution de l'automatisme à partir d'une situation connue, notion de transition et de réceptivité
- définition des conditions d'évolution entre les étapes, établissement des règles d'évolution
- description progressive de l'automatisme, notion de niveau
- emploi d'un langage simple et accessible à l'ensemble des intervenants depuis le concepteur jusqu'à l'agent de maintenance, choix d'un vocabulaire

## II.NECESSITE D'UN OUTIL NORMALISE

Le cahier des charges d'un automatisme est un document régissant les rapports entre le fournisseur concepteur d'un matériel de commande et son client futur utilisateur de ce matériel. Un tel document peut donc faire intervenir des considérations judiciaires, commerciales, financières technico-économiques ou purement techniques. Nous nous placerons dans tout ce qui suit du seul point de vue du technicien : ce qu'il recherche dans un cahier des charges, c'est avant tout une description claire, précise, sans ambiguïtés ni omissions du rôle et des performances de l'équipement à réaliser.

Force est de constater que dans la plupart des cas cette description reste confuse, vague, ambiguë et incomplète d'où un risque permanent de mauvaises interprétations qui si elles ne sont pas détectées à temps, peuvent conduire à des catastrophes, ne serait-ce qu'au plan financier.

A l'origine le Grafcet est donc un outil de communication qui s'attache exclusivement à la description fonctionnelle des automatismes.

Il a été normalisé en juin 1982 (NF C 03-190). En 1985 le GREPA a publié de nouveaux concepts.

Une norme européenne est publiée en 1988 (CEI 848)

Une nouvelle norme française (suite à la publication internationale) est parue en 1990, complétée en 1993.

Une version complète sera publiée en 1995.

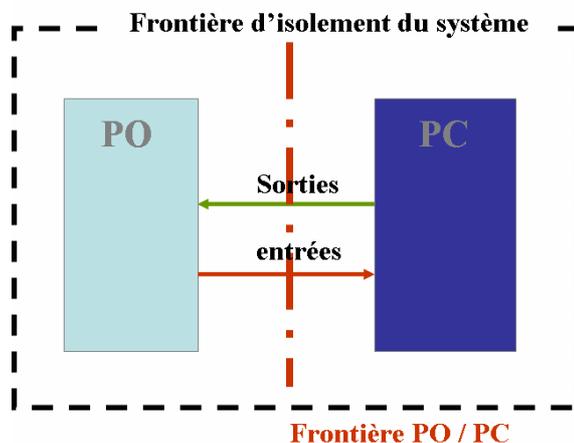
La dernière version, prenant en compte les concepts de description structurée et hiérarchisée est en vigueur depuis août 2002. C'est l'étude de cette version qui est l'objet de ce document.

Le concept de grafcet a été intégré dans la norme européenne sur les langages de programmation des automates (CEI 61131-3) sous la dénomination SFC<sup>11</sup>.

## III.PRINCIPES GENERAUX

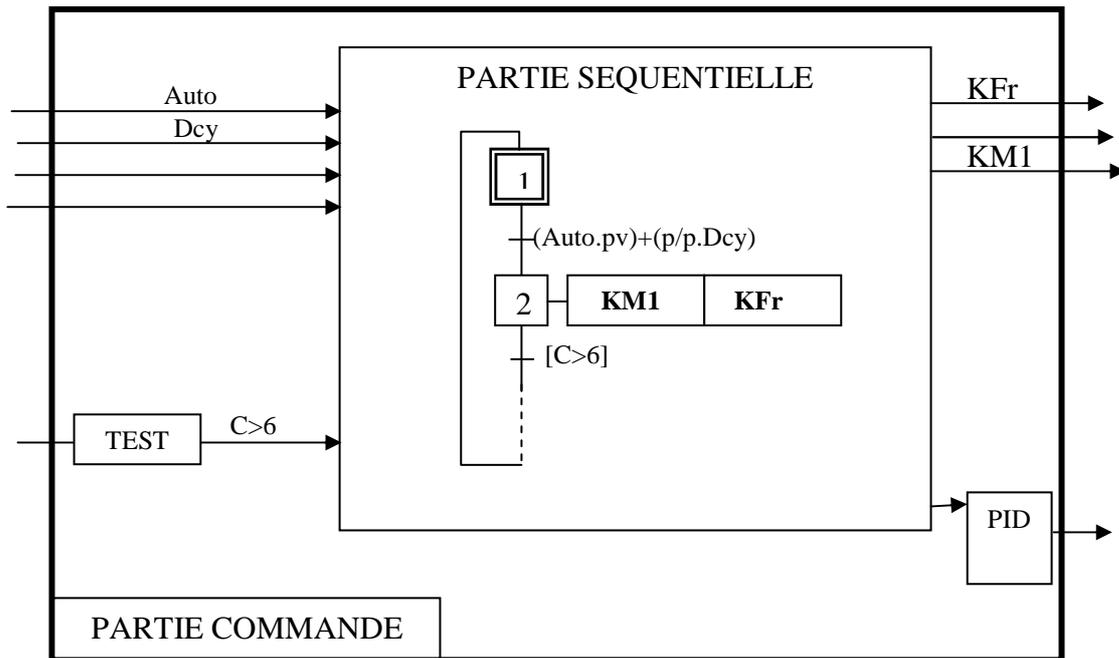
### III.1. contexte

Le grafcet décrit les interactions entre la partie opérative (PO) et la partie commande (PC) d'un système isolé. Cette première frontière d'isolement permet de définir les limites de l'étude.



<sup>11</sup> SFC : Séquential Function Chart (diagramme fonctionnel en séquence)

Dans la partie commande, la partie séquentielle du système est caractérisée par ses variables d'entrées, ses variables de sorties et son comportement.



La description par un grafcet de la partie séquentielle d'un système impose que les interactions entre la PO et la PC soient définies.

Autrement dit, il est nécessaire de caractériser toutes les entrées/sorties avant de pouvoir faire une description par grafcet.

Le GRAFCET est un outil de description du comportement déterministe de la partie commande.

### III.2. Présentation sommaire

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

- **La structure** qui décrit les évolutions séquentielles possibles
- **L'interprétation** qui fait la relation entre les E/S et la structure.

#### III.2.1 la structure

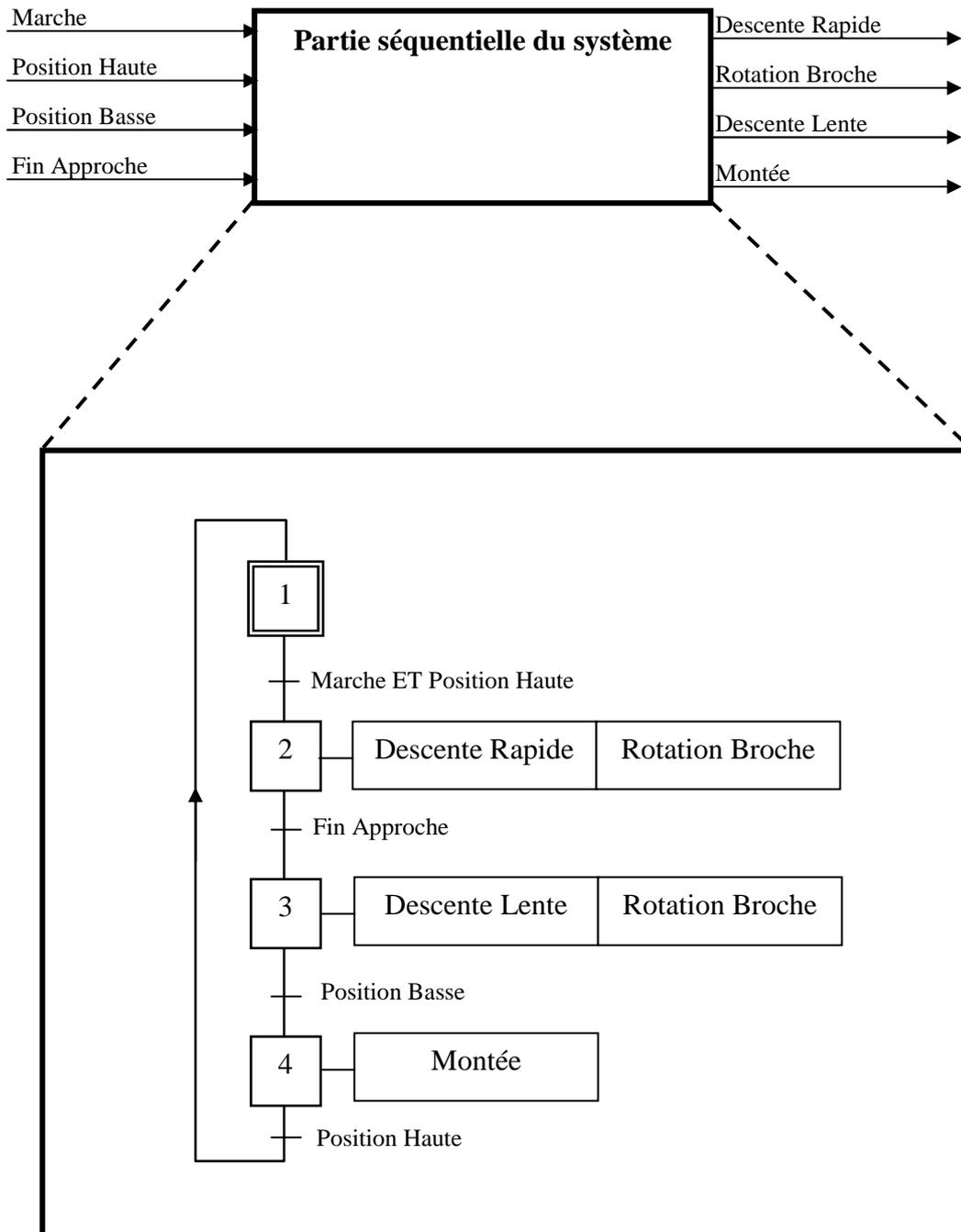
La structure est constituée des éléments de base suivants

- **Etape:** utilisée pour définir la situation de la partie séquentielle du système  
 Une étape est soit active soit inactive  
 L'ensemble des étapes actives représente la situation du grafcet
- **Transition :** indique la possibilité d'évolution d'activité entre deux ou plusieurs étapes. Cette évolution se traduit par le franchissement de la transition (voir règles)
- **Liaison orientée :** indique les voies et le sens d'évolution.

### III.2.2 l'interprétation

L'interprétation se fait grâce aux éléments suivants :

- Réceptivité : associée à chaque transition, elle est une condition logique qui est soit vraie soit fausse. Elle est composée de *variables d'entrées*
- Action : indique le comportement d'une *variable de sortie*, soit par assignation, soit par affectation.



## IV. REGLES

### IV.1. règles de syntaxes

**L'alternance étape/transition et transition/étape doit toujours être respectée, quelle que soit la séquence parcourue.**

Conséquences:

⇒ deux étapes ou deux transitions ne doivent jamais être reliées.

⇒ une liaison orientée relie obligatoirement une étape à une transition ou une transition à une étape

### IV.2. Règle d'évolution

- Règle 1 : règle de la situation initiale

**La situation initiale, choisie par le concepteur, est la situation à l'instant initial.**

- Règle 2 : règle du franchissement d'une transition

**Le franchissement d'une transition se produit:**

- **Lorsque la transition est validée**
- **ET que la réceptivité associée est VRAIE**

- Règle 3 : règle d'évolution 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.**

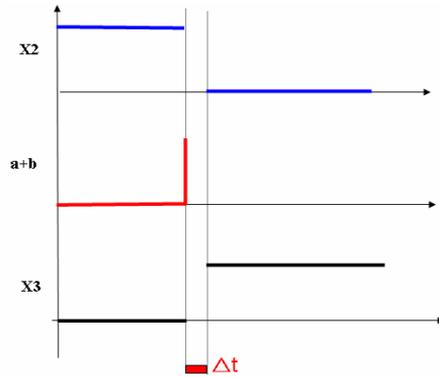
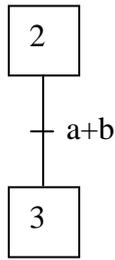
- Règle 4 : règle du franchissement simultané

**Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies.**

- Règle 5 : activation et désactivation simultanée d'une étape

**SI, au cours du fonctionnement, un étape active est simultanément activée et désactivée, elle RESTE ACTIVE**

REMARQUE



Le temps de franchissement d'une transition peut être admis comme très faible mais ne pourra jamais être considéré comme nul

Conséquence :

La durée d'activation d'une étape ne pourra jamais être considérée comme nulle

## V. REPRESENTATION GRAPHIQUE DES ELEMENTS

Les éléments du GRAFCET possèdent une représentation symbolique qui permet en les associant correctement de réaliser des diagrammes fonctionnels.

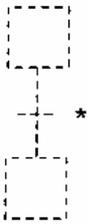
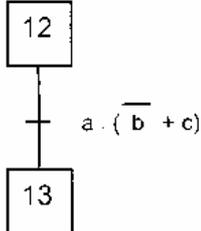
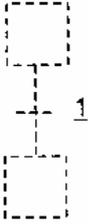
### V.1. étapes

Extrait de la norme NF EN 60848.

N°	Symbole	Description
[1]		<p><b>Etape:</b> A un instant donné une étape est soit active, soit inactive. L'ensemble des étapes actives définit la situation du système à l'instant considéré.</p> <p>Le rapport longueur/largeur est arbitraire, bien qu'un carré soit recommandé.</p> <p>Les étapes sont identifiées par un repère, par exemple alphanumérique. L'astérisque au centre de la moitié supérieure du symbole général doit être remplacé par le repère attribué à l'étape.</p> <p>EXEMPLE 1: « Etape 2 » </p> <p>EXEMPLE 2: « Etape 3 représentée dans son état actif » </p> <p>NOTE Il peut être utile d'indiquer quelles sont les étapes actives à un instant donné en marquant ces étapes par un point. Ce point n'appartient pas au symbole d'étape et est seulement employé à des fins d'explication.</p>
[2]	$X^*$	<p><b>Variable d'étape:</b> L'état actif ou inactif d'une étape peut être représenté respectivement par les valeurs logiques «1» ou «0» d'une variable booléenne <math>X^*</math> dans laquelle l'astérisque <math>*</math> doit être remplacé par le repère de l'étape considérée</p> <p>EXEMPLE: « Variable d'étape de l'étape 8 » <math>X_8</math></p>
[3]		<p><b>Etape initiale:</b> Cette notation indique que cette étape participe à la situation initiale.</p> <p>NOTE 1 Les règles du symbole 1 sont applicables.</p> <p>NOTE 2 Une étape initiale peut-être « instable », voir 4.9.2.</p> <p>EXEMPLE: « Etape initiale 12 » </p>

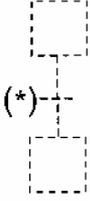
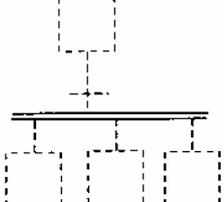
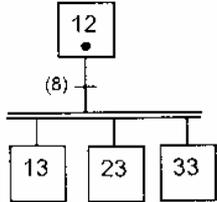
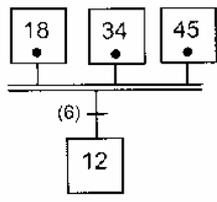
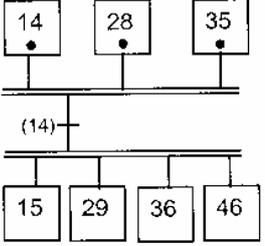
V.2. transitions

Extrait de la norme NF EN 60848

N°	Symbole	Description
[13]		<p><b>Réceptivité associée à une transition:</b></p> <p>Une proposition logique, appelée réceptivité, qui peut être vraie ou fausse, est associée à chaque transition. S'il existe une variable logique correspondante, elle est égale à 1 quand la réceptivité est vraie et égale à 0 quand la réceptivité est fausse. La proposition logique formant la réceptivité est constituée d'une ou plusieurs variables booléennes (variable d'entrée, variable d'étape, valeur d'un prédicat, etc.).</p> <p>L'astérisque doit être remplacé par la description de la réceptivité associée à la transition sous forme d'un texte, d'une expression booléenne, ou à l'aide de symboles graphiques.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%;"> <p><b>EXEMPLE 1:</b> Description de la réceptivité par un texte.</p> <p>Portillon fermé (a) et (pas de pression ( <math>\bar{b}</math> ) ou présence pièce (c) )</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%;"> <p><b>EXEMPLE 2:</b> Réceptivité décrite par une expression booléenne.</p> <p><math>a \cdot (\bar{b} + c)</math></p> </div> </div>
[14]		<p><b>Réceptivité toujours vraie:</b></p> <p>La notation « <u>1</u> » indique que la réceptivité est toujours vraie.</p> <p>NOTE Dans ce cas, l'évolution est dite toujours fugace (voir 4.9.2), le franchissement de la transition n'est conditionné que par l'activité de l'étape amont.</p>

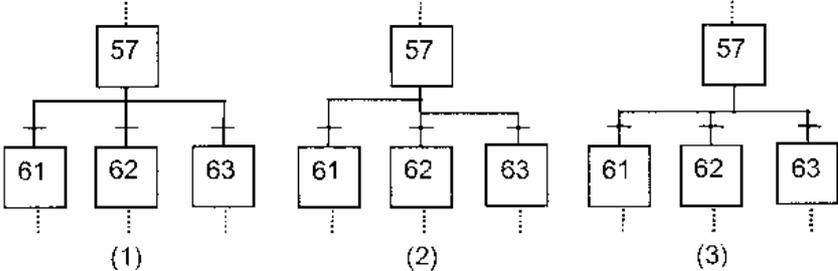
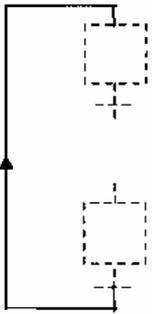
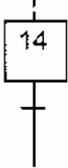
V.3. liaisons orientées

Extrait de la norme NF EN 60848

N°	Symbole	Description
[7]		<p><b>Transition</b> entre deux étapes: Une transition est représentée par un trait perpendiculaire aux liaisons joignant deux étapes.</p> <p>NOTE 1 La transition est validée lorsque l'étape amont est active (voir règle d'évolution N° 2, 4.5.2).</p> <p>NOTE 2 Il n'y a toujours qu'une seule transition entre deux étapes (voir 4.4).</p> <p>NOTE 3 Il est possible, pour des raisons de représentation graphique, de placer des transitions sur des segments de liaison horizontaux (voir annexe B: figure B.5. grafcet partiel G1).</p>
[8]		<p><b>Repère de transition:</b></p> <p>La transition peut comporter un repère, placé généralement à sa gauche, qu'il ne faut pas confondre avec la réceptivité associée à la transition.</p> <p>L'astérisque doit être remplacé par le repère alphanumérique de la transition.</p>
[9]		<p><b>Synchronisation</b> en amont et/ou aval d'une transition:</p> <p>Lorsque plusieurs étapes sont reliées à la même transition, les liaisons orientées d'entrée et/ou de sortie de ces étapes sont regroupées en amont ou en aval par le symbole de synchronisation représenté par deux traits parallèles horizontaux.</p> <p>NOTE La référence du symbole de synchronisation est le paragraphe 9.2.2.5 de l'ISO 5807.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>EXEMPLE 1: Transition d'une étape (12) vers plusieurs (13,23,33).</p> <p>La transition (8) est validée lorsque l'étape (12) est active.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>EXEMPLE 2: Transition de plusieurs étapes (18,34,45) vers une (12).</p> <p>La transition (6) n'est validée que lorsque toutes les étapes amont sont actives.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>EXEMPLE 3: Transition de plusieurs étapes (14,28,35) vers plusieurs (15,29,36,46).</p> <p>La transition (14) n'est validée que lorsque toutes les étapes amont sont actives.</p> </div> </div>

V.4. Réceptivités associées aux transitions

Extrait de la norme NF EN 60848

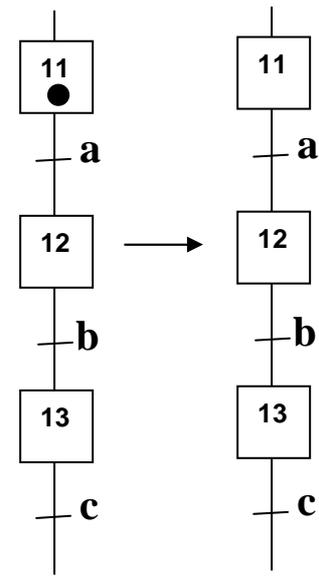
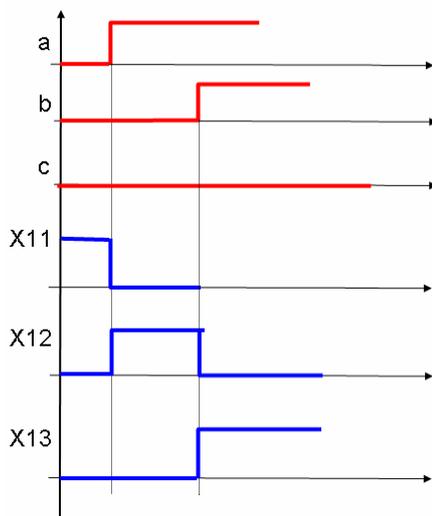
N°	Symbole	Description
[10]		<p><b>Liaison orientée de haut en bas:</b> Les voies d'évolution entre les étapes sont indiquées par des liaisons orientées reliant les étapes aux transitions et les transitions aux étapes.</p> <p>Les liaisons orientées sont horizontales ou verticales. Des liaisons obliques sont toutefois permises dans les cas exceptionnels où elles apportent plus de clarté au diagramme</p> <p>Les croisements de liaisons verticales et horizontales sont admis s'il n'existe aucune relation entre ces liaisons. En conséquence, de tels croisements doivent être évités lorsque les liaisons correspondent à la même évolution.</p> <p><b>EXEMPLE:</b> Les trois représentations sont admissibles, mais les représentations 2 et 3 sont recommandées pour éviter la confusion entre croisement sans et avec liaison.</p> <div style="text-align: center;">  <p>(1)                      (2)                      (3)</p> </div>
[11]		<p><b>Liaison orientée de bas en haut:</b> Par convention le sens d'évolution est toujours du haut vers le bas. Des flèches doivent être utilisées si cette convention n'est pas respectée ou si leur présence peut apporter une meilleure compréhension.</p>
[12]		<p><b>Repère de liaison:</b> Lorsqu'une liaison orientée doit être interrompue (par exemple dans des dessins complexes ou dans le cas de représentation sur plusieurs pages), le repère de l'étape de destination ainsi que le repère de la page à laquelle elle apparaît doivent être indiqués.</p> <p>L'astérisque doit être remplacé par le repère de liaison.</p> <p><b>EXEMPLE:</b> Evolution vers l'étape 83 de la page 13.</p> <div style="text-align: center;">  <p>Etape 83 Page 13</p> </div>

## VI. APPLICATION DES REGLES D'EVOLUTION

L'interprétation intuitive de l'évolution permet sur occurrence d'entrée et à partir de la situation antérieure, de déterminer, par application successive des règles d'évolutions, la situation postérieure. Dans le cas général, l'évolution est non fugace, c'est-à-dire que l'évolution ne provoque qu'un seul pas.

### VI.1. Evolution non fugace.

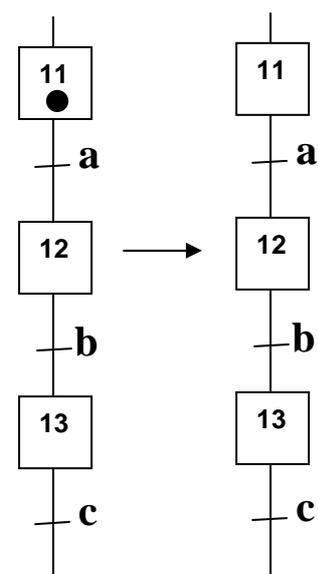
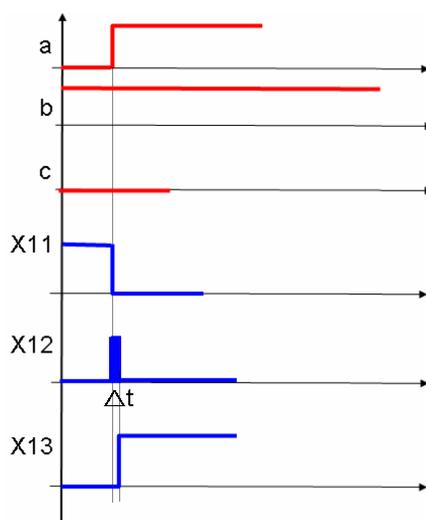
Le changement de valeur de « a » provoque :



### VI.2. Evolution fugace

Dans certain cas, l'application des règles d'évolution peut conduire à franchir simultanément des transitions.

Le changement de valeur de « a » provoque :



## VII.ACTIONS ASSOCIEES

Les actions permettent d'établir le lien entre l'évolution du grafcet et les sorties. Deux modes de sortie, mode continu ou mode mémorisé, décrivent comment les sorties dépendent de l'évolution et des entrées du système.

### VII.1. Mode continu (assignation sur état)

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.

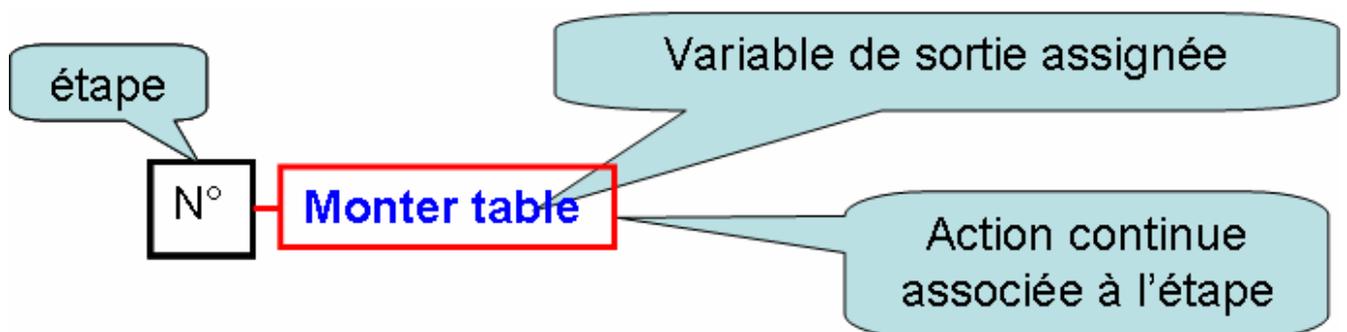
La condition d'assignation est une expression logique de variables d'entrée et/ou de variable interne

#### VII.1.1 Règle d'assignation :

Pour une situation donnée, les valeurs des sorties relatives aux actions continues sont assignées :

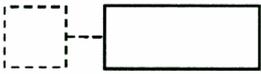
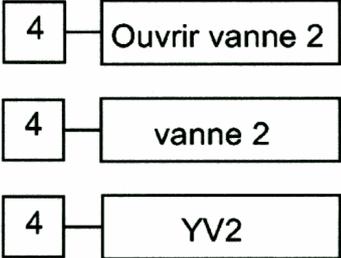
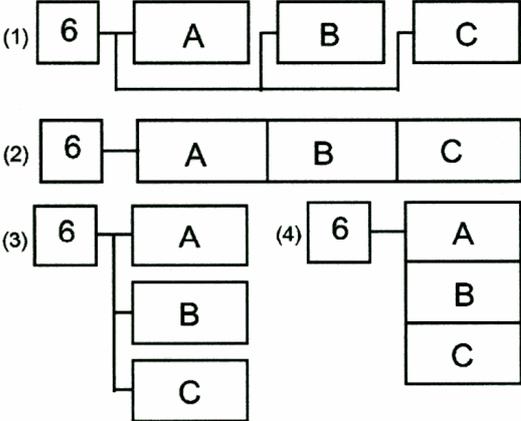
A la valeur vraie, pour chacune des sorties relatives aux actions associées aux étapes actives et pour lesquelles les conditions d'assignation sont vérifiées.

A la valeur fausse pour les autres sorties.

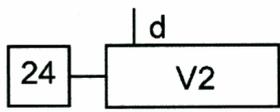


VII.1.2 Actions continues :

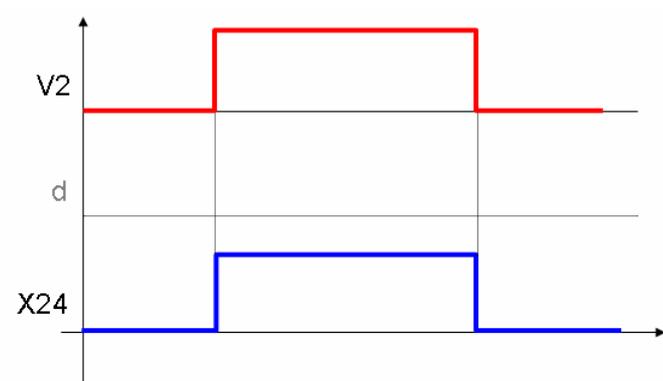
Extrait de la norme NF EN 608

N°	Symbole	Description
[20]		<p><b>Action continue:</b> Une action continue est nécessairement associée à une étape. Plusieurs actions peuvent être associées à une même étape.</p> <p>Le rapport longueur/largeur est arbitraire, bien qu'un rectangle de hauteur égale à l'étape soit recommandé.</p> <p>A défaut d'une symbolisation explicite d'action mémorisée (symboles 27 à 30), le symbole général rectangulaire associé à une étape désigne toujours une <i>action continue</i>.</p>
[21]		<p><b>Libellé d'assignation d'une sortie:</b> Toute action doit posséder un libellé sis dans le rectangle représentant cette action. Le libellé d'une action continue est la désignation de la variable de sortie assignée à la valeur vraie selon la règle d'assignation (voir 4.8.1).</p> <p>L'astérisque doit être remplacé par le libellé désignant la variable de sortie.</p> <p>L'expression littérale du libellé peut prendre une forme impérative ou une forme déclarative, seule compte la référence à la sortie.</p> <p>L'ordre dans lequel les actions sont représentées n'implique aucune séquence entre les actions.</p> <p><b>EXEMPLE 1:</b> Différentes formes, littérales et symboliques, de libellé d'action faisant référence à la sortie dont la valeur vraie doit provoquer l'ouverture de la vanne 2.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p><b>EXEMPLE 2:</b> Différentes représentations (1, 2, 3, 4) de l'association de plusieurs actions à une même étape.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p><b>NOTE</b> Les quatre représentations sont strictement équivalentes. Les représentations (2) et (4) peuvent être considérées respectivement comme des simplifications des représentations (1) et (3).</p>

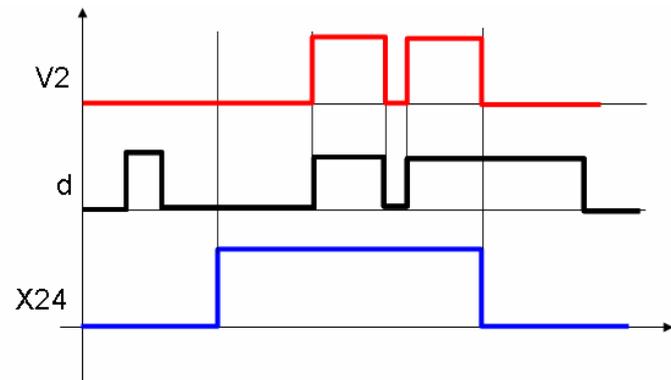
Représentation d'une action continue avec conditions d'assignation qui peut être vraie ou fausse.  
Extrait de la norme NF EN 60848.

N°	Symbole	Description
[22]		<p><b>Condition d'assignation:</b> 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.</p> <p>L'astérisque doit être remplacé par la description de la condition d'assignation sous forme d'un texte, ou d'une expression booléenne entre des variables d'entrées et/ou des variables internes.</p> <p>La condition d'assignation ne doit <u>jamais</u> comporter de front de variable (voir les symboles 15 et 16), car l'action continue n'est évidemment pas mémorisée, l'assignation sur événement n'ayant aucun sens (voir 4.8.2).</p> <p><b>EXEMPLE 1:</b> La sortie V2 est assignée à la valeur vraie lorsque l'étape 24 est active <u>et</u> lorsque la condition d'assignation d est vraie. Dans le cas contraire, la sortie V2 est assignée à la valeur fausse.</p> <p>Autrement dit (sous forme d'une équation booléenne): <math>V2 = X24 \cdot d</math></p> <div style="text-align: center;">  </div> <p><b>NOTE</b> X24 est la variable d'étape reflétant l'activité de l'étape 24.</p> <p><b>EXEMPLE 2:</b> La sortie V2 est assignée à la valeur vraie lorsque l'étape 24 est active (la condition d'assignation étant toujours vraie). Dans le cas contraire, la sortie V2 est assignée à la valeur fausse.</p> <p>Autrement dit (sous forme d'une équation booléenne): <math>V2 = X24</math></p> <div style="text-align: center;">  </div>

V2=X24



V2=X24.d



### VII.2. Mode mémorisé (affectation sur évènement)

>En mode mémorisé c'est l'association d'une action a des évènements internes qui permet d'indiquer qu'une variable de sortie prend et garde la valeur imposée si l'un de ces évènements se produit. La valeur d'une variable de sortie relative à une action mémorisée reste inchangée tant qu'un nouvel évènement ne la modifie pas.

#### VII.2.1 Règle d'affectation :

La valeur d'une sortie, relative a une action mémorisée et associée à un évènement, est affectée à la valeur indiquée si l'évènement spécifié se produit, à l'initialisation la valeur de cette sortie est nulle. Affectation de la valeur # a une variable \*

$$* := \#$$

Le libellé indique, dans une action mémorisée, la mise a la valeur # d'une variable \*, lorsqu'un des évènements associés a l'action se produit.

Ex

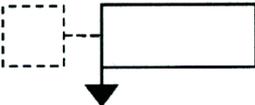
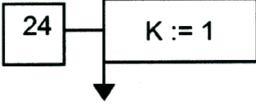
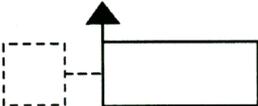
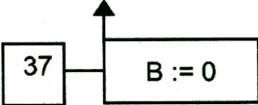
$$A := 1$$

$$C := C+1$$

#### VII.2.2 Action mémorisée

Une action mémorisée possède un libellé qui décrit comment la variable de sortie est affectée à une valeur déterminée selon la règle d'affectation.

Extrait de la norme NF EN 60848.

N°	Symbole	Description
[28]		<p><b>Action à la désactivation:</b></p> <p>Une action à la désactivation est une action mémorisée associée à l'ensemble des évènements internes qui ont chacun pour conséquence la désactivation de l'étape liée à cette action.</p> <p>La représentation traditionnelle de l'action par un rectangle est complétée, au côté gauche, d'une flèche symbolisant la désactivation de l'étape.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>EXEMPLE: La variable booléenne K est affectée à la valeur 1 lorsque l'un des évènements, conduisant à la désactivation de l'étape 24, se produit.</p>
[27]		<p><b>Action à l'activation:</b></p> <p>Une action à l'activation est une action mémorisée associée à l'ensemble des évènements internes qui ont chacun pour conséquence l'activation de l'étape liée à cette action.</p> <p>La représentation traditionnelle de l'action par un rectangle est complétée, au côté gauche, d'une flèche symbolisant l'activation de l'étape.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>EXEMPLE: La variable booléenne B est affectée à la valeur 0 lorsque l'un des évènements, conduisant à l'activation de l'étape 37, se produit.</p>

# LE GRAFCET CONSTRUCTION

## VIII. STRUCTURES BASIQUES

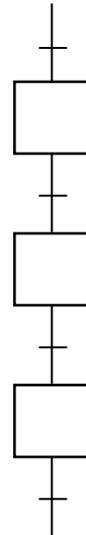
Les structures de bases les plus utilisées décrites ci-dessous, ne sont pas limitatives et peuvent être combinées entre elles.

### VIII.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 transition et chaque transition n'est validée que par une étape. La séquence est dite "active" si au moins une étape est active. Elle est dite "inactive" si toutes les étapes sont inactives.

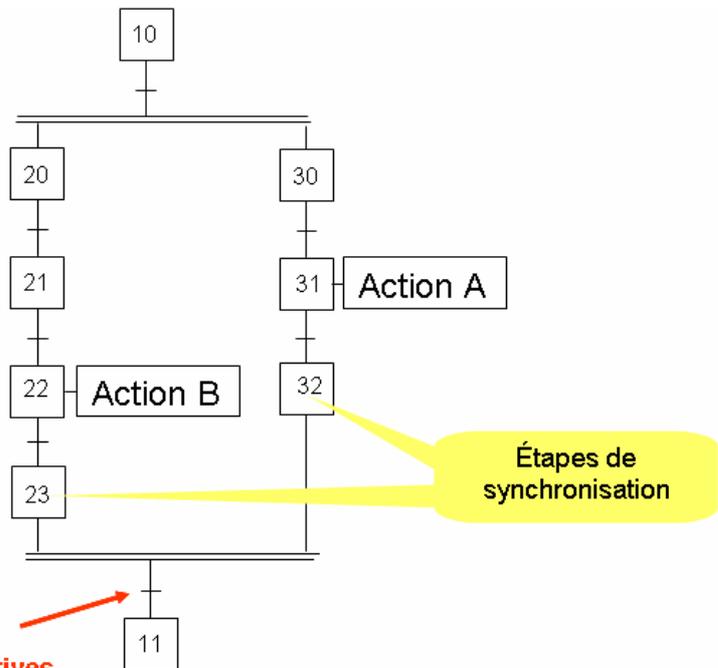
Cycle d'une seule séquence

Cas particulier d'une séquence rebouclée sur elle-même. Pour permettre l'évolution, elle doit posséder une étape initiale ou faire l'objet d'un forçage de niveau supérieur



### VIII.2. Séquences simultanées

Lorsque le franchissement d'une transition conduit à activer plusieurs séquences en même temps, ces séquences sont dites **séquences simultanées** ou **parallélisme structural**. Après l'activation simultanée de ces séquences, les évolutions des étapes actives dans chacune des séquences deviennent alors indépendantes

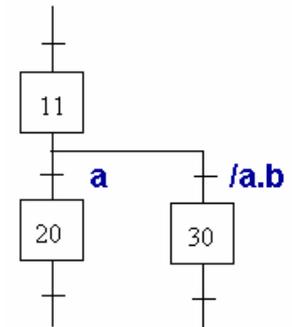
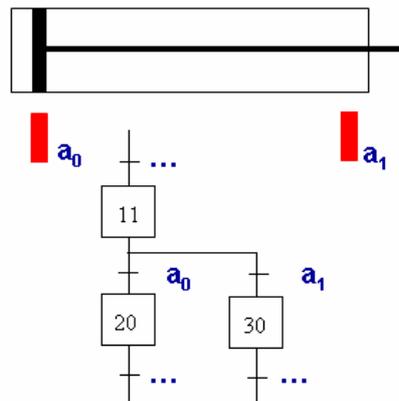
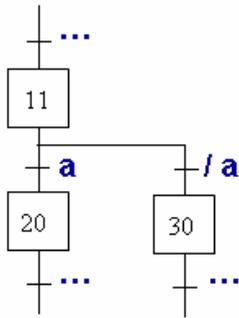
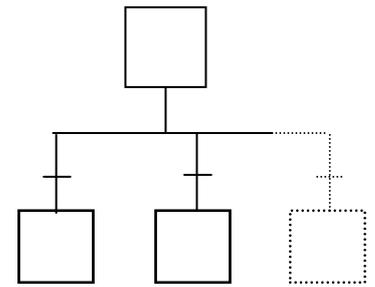


Le franchissement de la transition en aval des étapes de synchronisation ne peut se faire que si toutes les étapes de synchronisation sont actives.

**VIII.3. Sélection de séquences**

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

La structure de sélection de séquence ne permet pas un choix exclusif. Le traitement de l'exclusivité doit se faire par un traitement logique ou technologique.

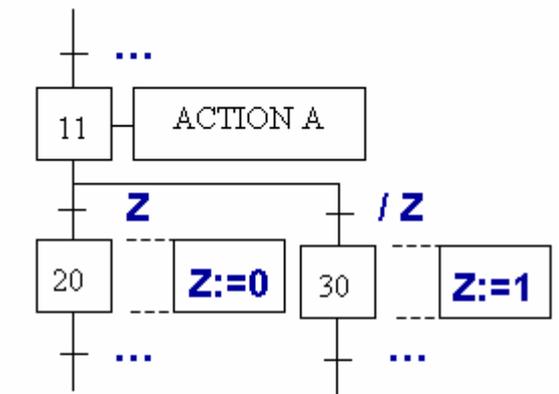
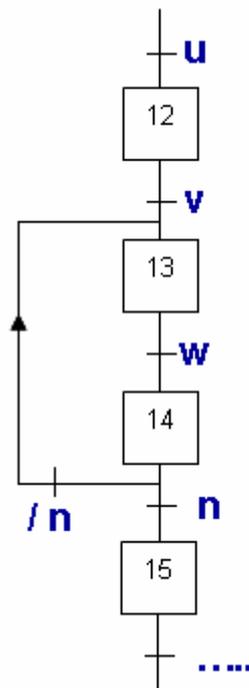
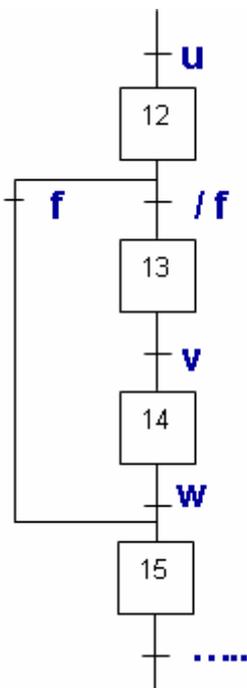


**Exclusivité Logique**

**Exclusivité Technologique**

**Exclusivité Prioritaire**

Cas particuliers



Z ; variable drapeau

**SAUT d'étapes**

**REPRISE de séquence**

**sélection ALTERNATIVE**

## IX. STRUCTURES COMPLEXES

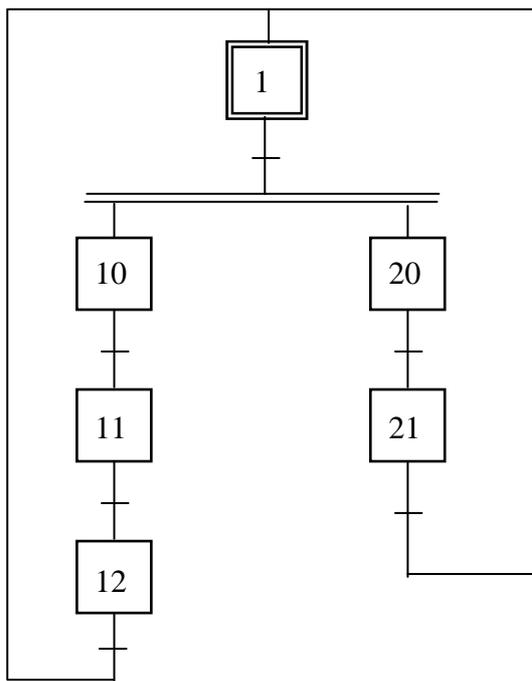
### IX.1. Parallélisme ouvert

Cas d'utilisation d'une structure mixte, ouverture simultanée en association avec un retour en OU. Ce type de structure est à utiliser avec beaucoup de précautions à cause des risques représentés par la possibilité de réactiver une séquence sans avoir eu la fin de l'autre (FIG\_1).

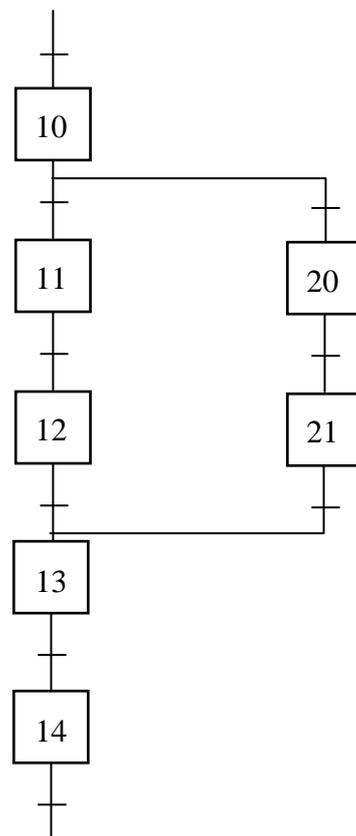
### IX.2. Parallélisme interprété

Lorsque les réceptivités associées aux transitions validées par une ou plusieurs étapes ne sont pas exclusives, des évolutions simultanées peuvent se produire conduisant à activer plusieurs étapes à la fois. Ce deuxième type de parallélisme est appelé "**parallélisme interprété**", car ces évolutions simultanées ou non sont uniquement déterminées par les réceptivités associées aux transitions. Ce mode de fonctionnement doit être utilisé avec prudence car il demande une spécification dans la façon dont il se termine (FIG\_2)

FIG\_1

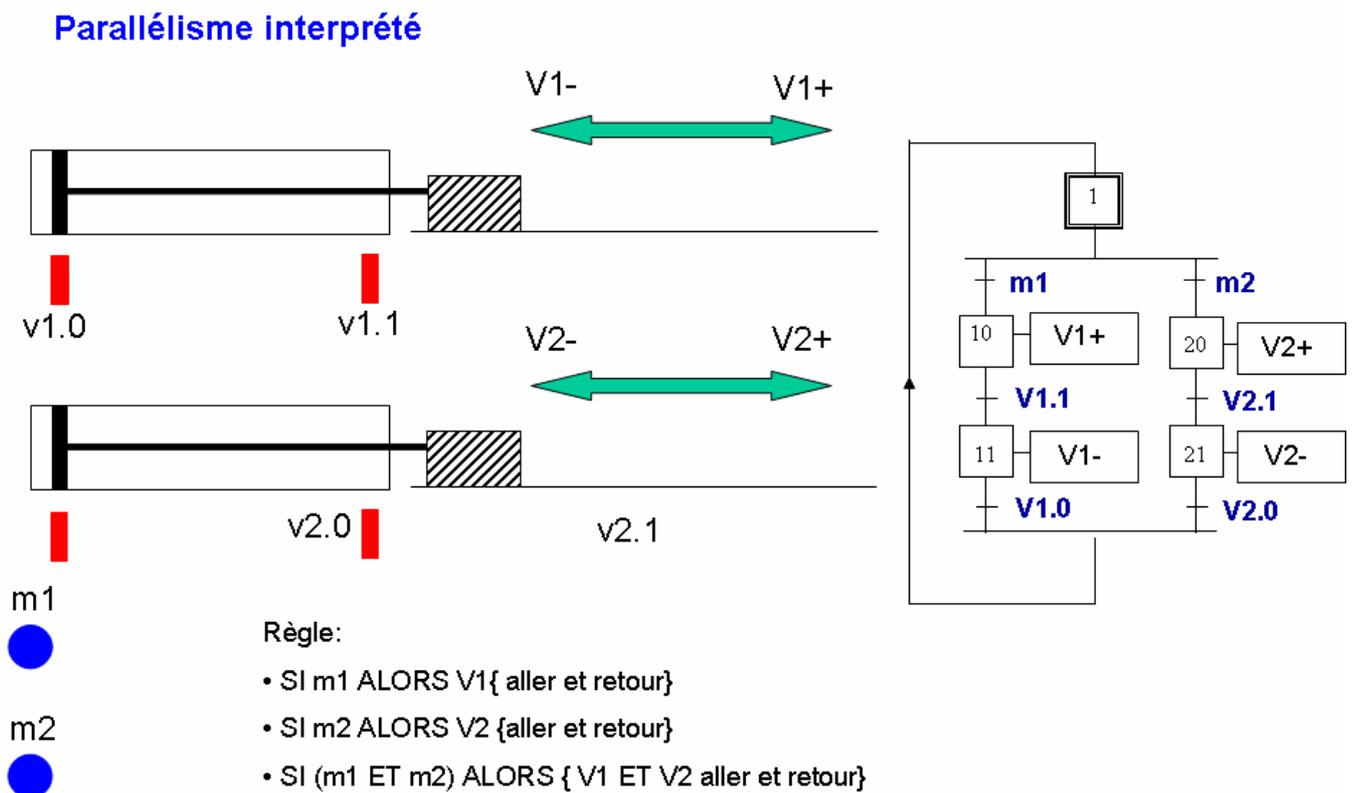
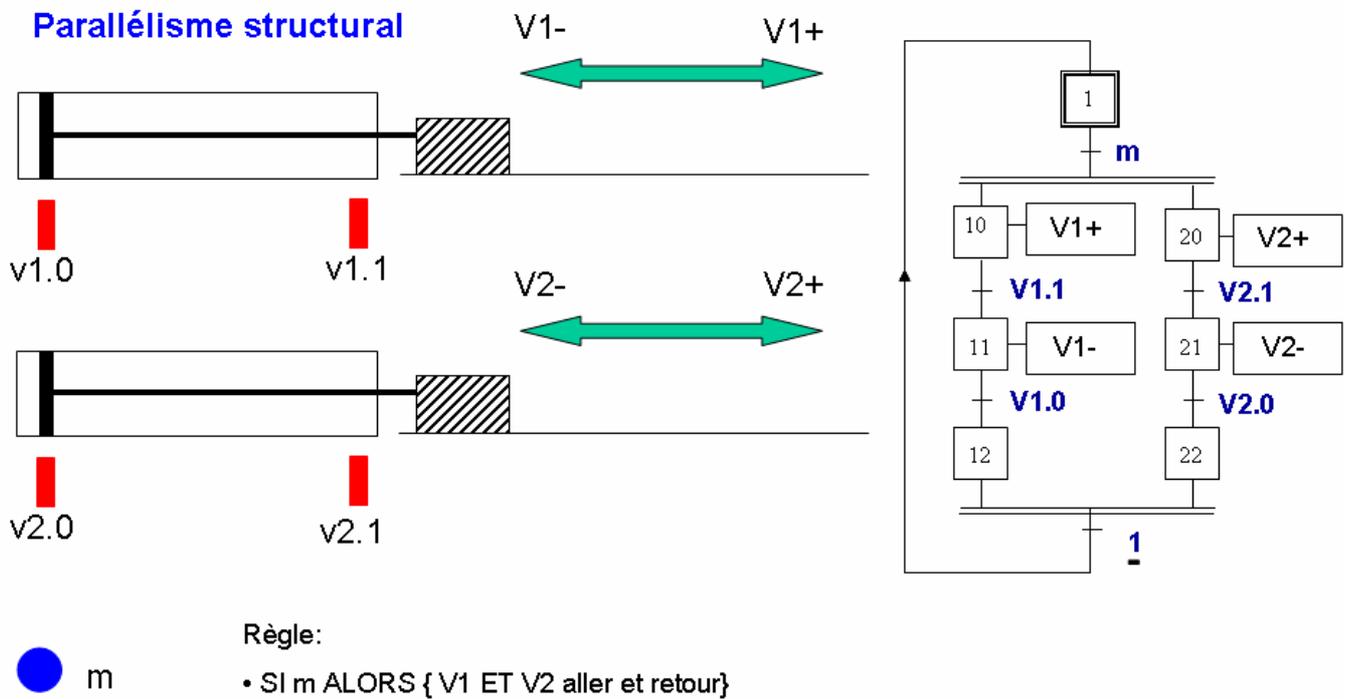


FIG\_2



### IX.3. Etude comparative des deux structures

Deux vérins pneumatique (logique bistable) peuvent être commandés séparément ou simultanément.

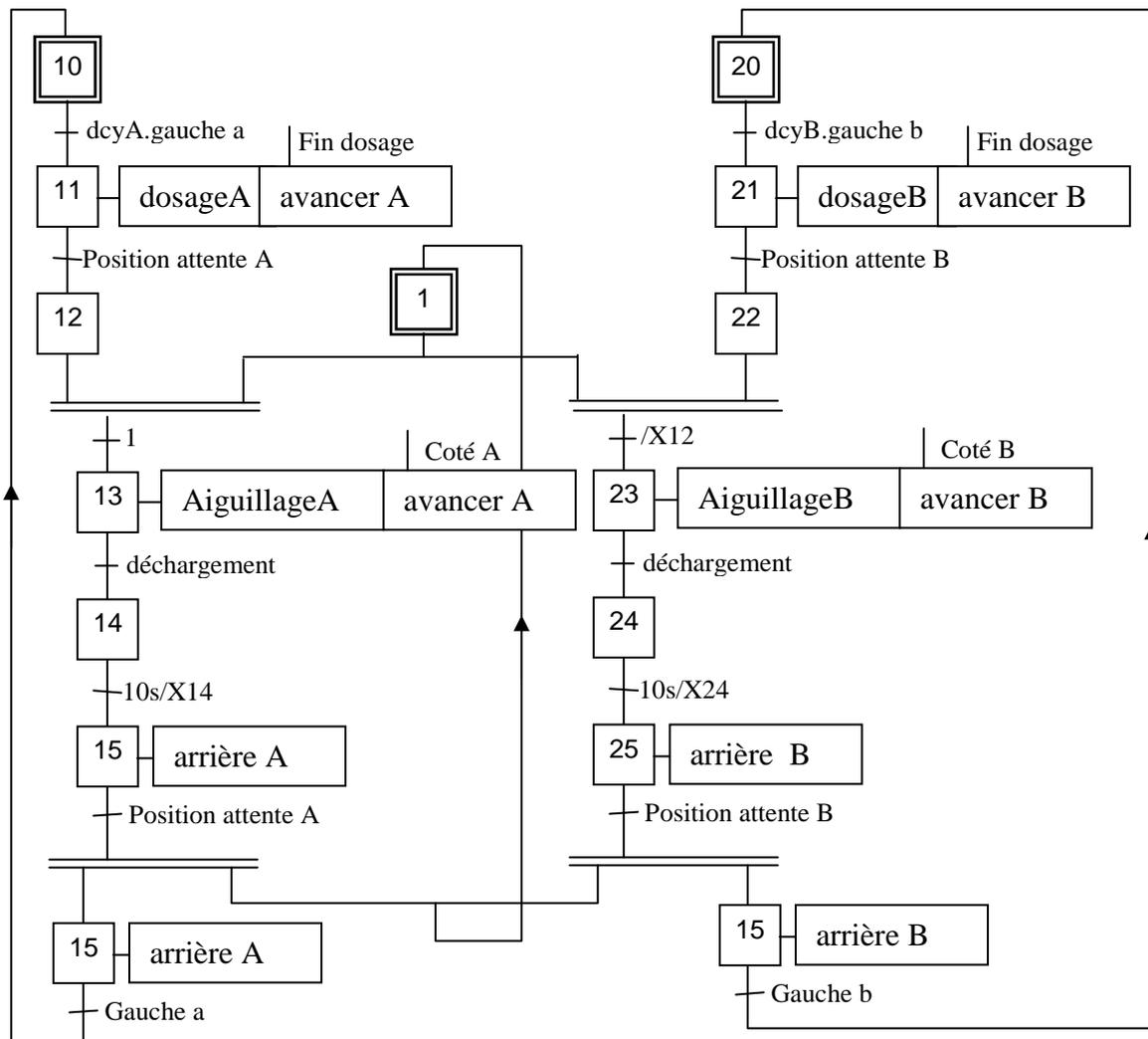
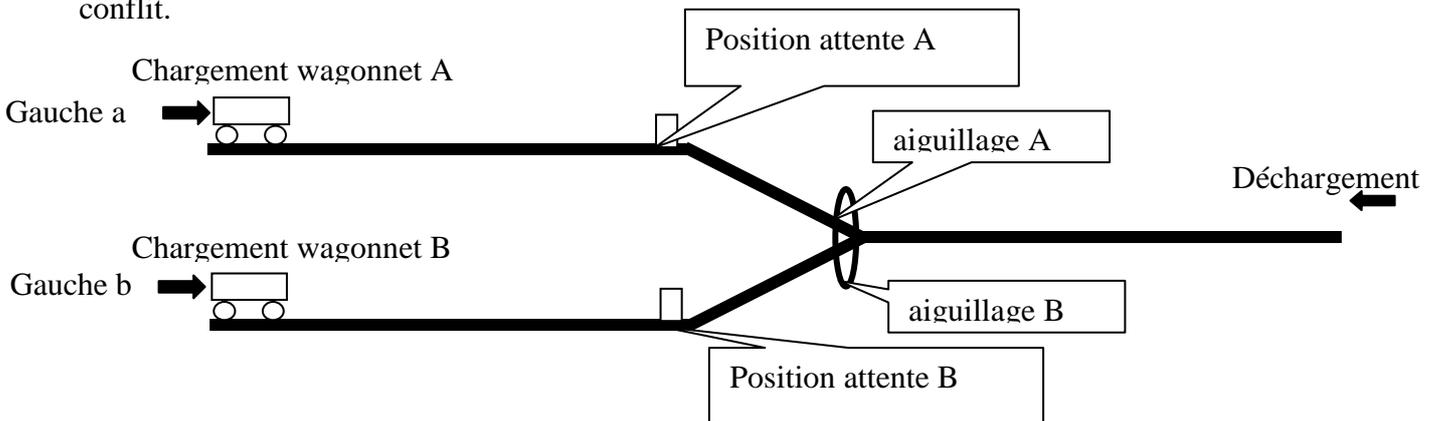


# X. STRUCTURES SPECIALES

## X.1. Partage de ressource

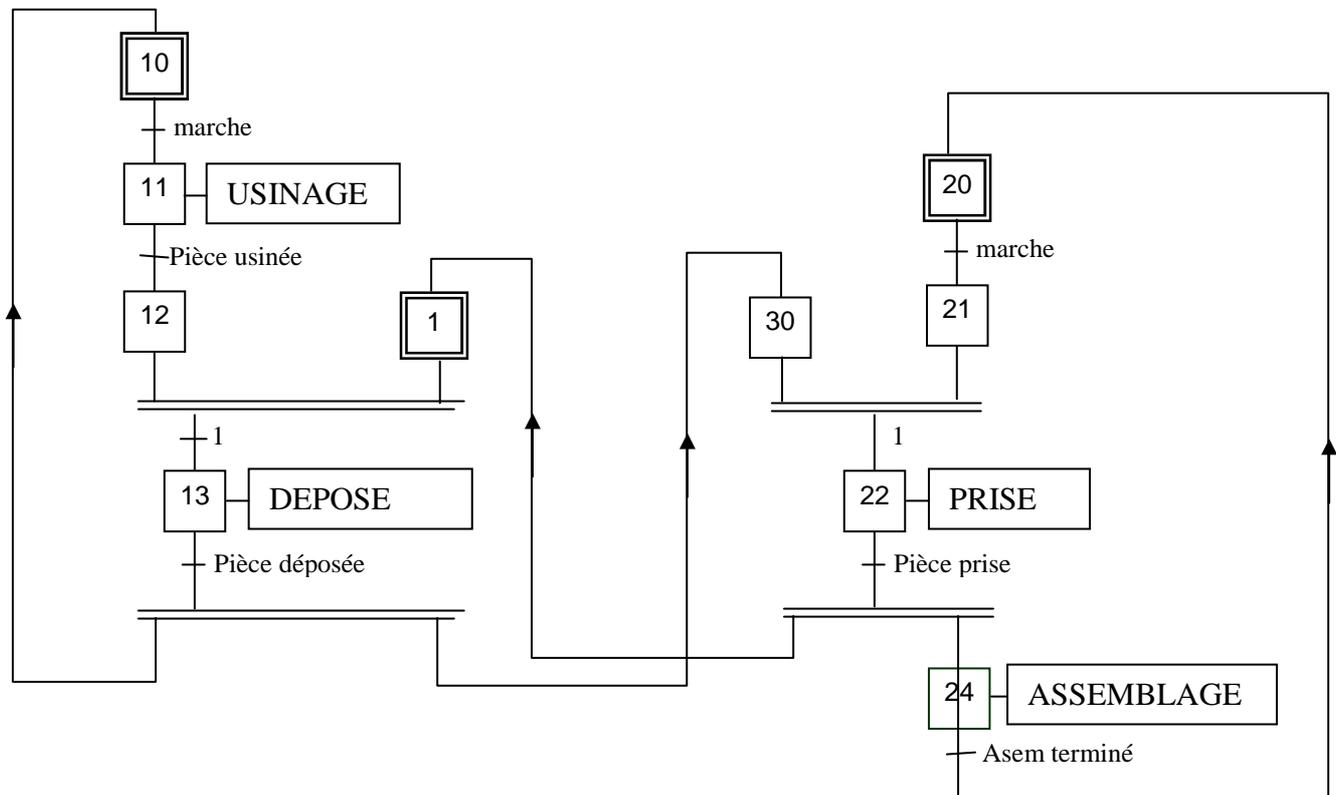
Une "ressource commune" physique ou logique peut être partagée entre plusieurs séquences utilisatrices exclusives, sous la forme d'une étape validant plusieurs transitions.

Le franchissement de l'une d'entre-elles conduira à n'activer qu'une seule de ces séquences. Lorsque cette étape sera active, la ressource sera attribuée à la première transition devenant franchissable, et pour ce faire une priorité logique sera donc indispensable dans l'écriture des réceptivités afin d'éviter tout conflit.



### X.2. Couplage de séquences

Une ou plusieurs étapes peuvent permettre les synchronisations logiques successives ou alternatives de plusieurs séquences en mémorisant au moment voulu les autorisations nécessaire.



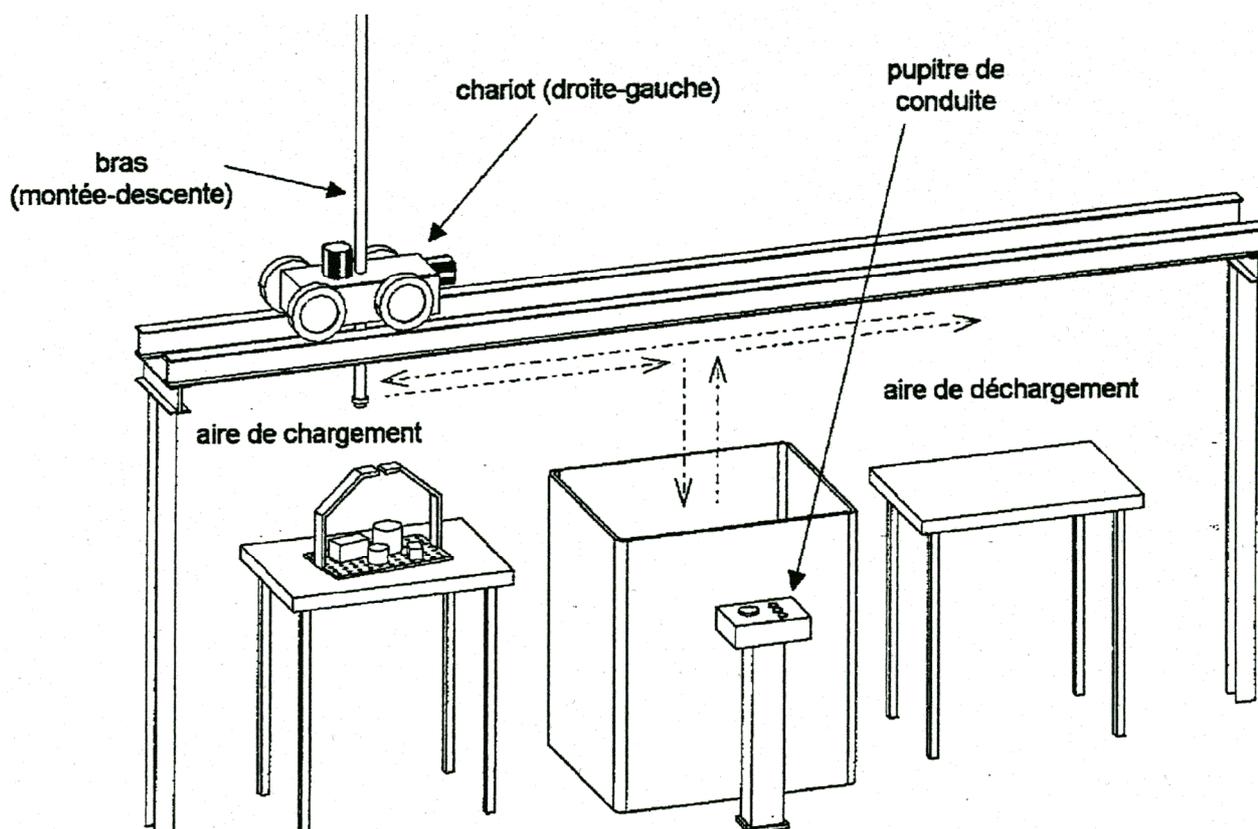
## XI. METHODE DE CONSTRUCTION D'UN GRAFCET

### Etapes de la méthode :

- 1) dessiner l'installation sous forme d'un schéma global
- 2) établir une liste détaillée de description du cycle envisagé
- 3) faire la distinction entre les actions (sorties) et les événements de contrôle ou de commande (entrées).
- 4) utiliser les éléments graphiques du grafcet pour traduire cette liste.

*Exemple* : Système de trempe.

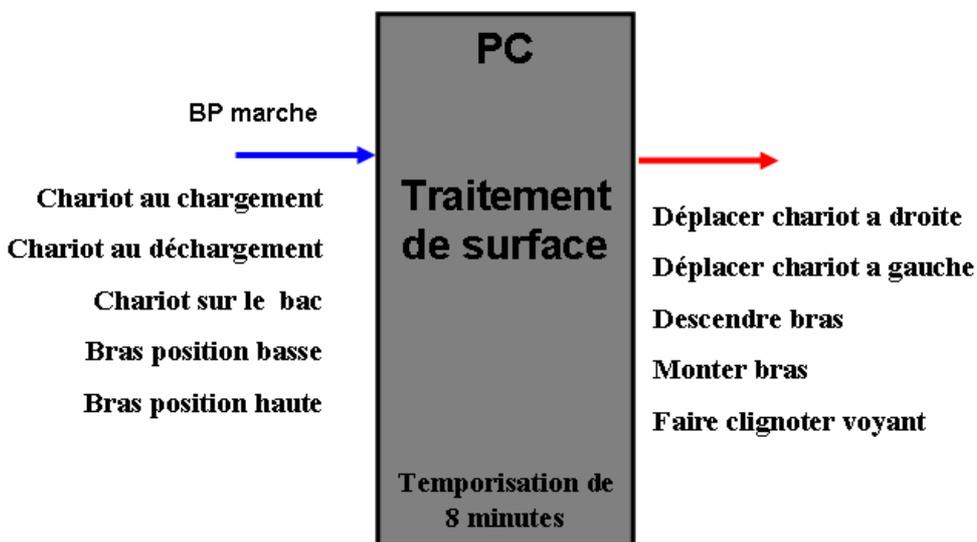
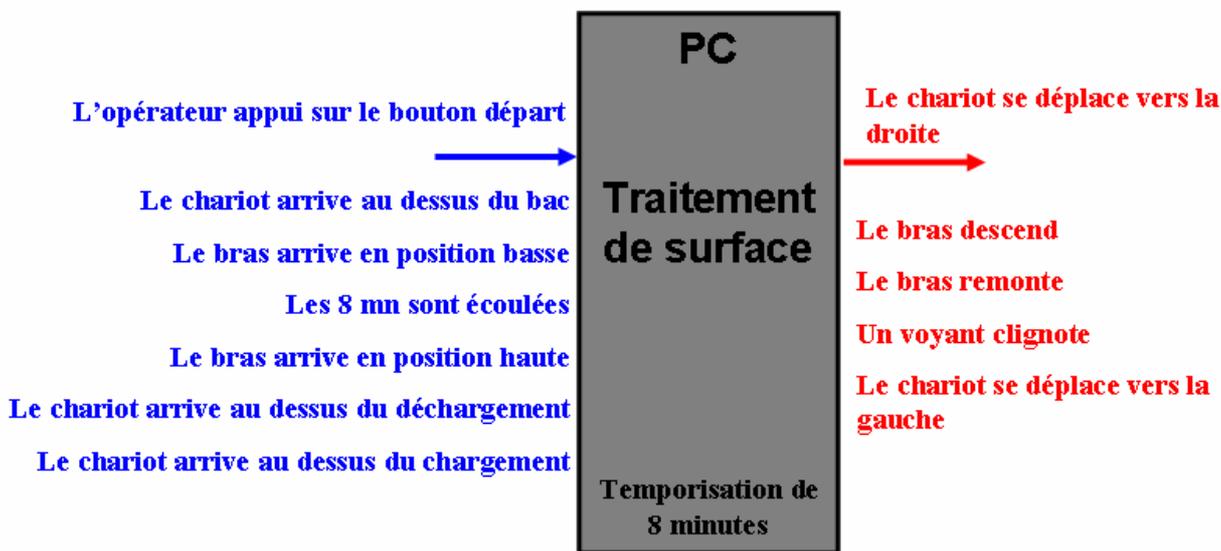
- 1) dessiner l'installation sous forme d'un schéma global



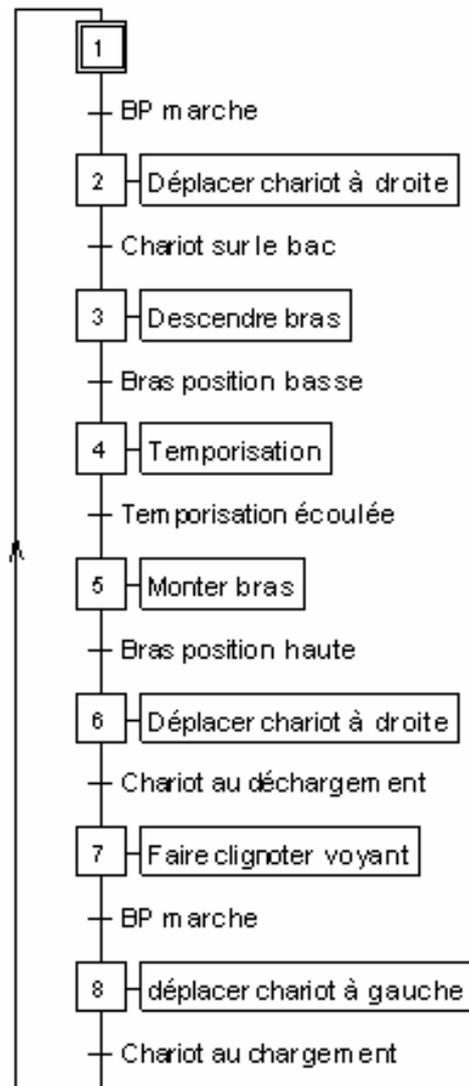
2) établir une liste détaillée de description du cycle envisagé

- |   |   |
|---|---|
| <p><b>L'opérateur installe un plateau</b><br/> <b>L'opérateur appuie sur le bouton départ</b><br/> <b>Le chariot se déplace vers la droite</b><br/> <b>Le chariot arrive au dessus du bac</b><br/> <b>Le bras descend</b><br/> <b>Le bras arrive en position basse</b><br/> <b>Temporisation de 8 mn commence</b></p> | <p><b>Les 8 mn sont écoulées</b><br/> <b>Le bras remonte</b><br/> <b>Le bras arrive en position haute</b><br/> <b>Le chariot se déplace vers la droite</b><br/> <b>Le chariot arrive au dessus du déchargement</b><br/> <b>Un voyant clignote, l'opérateur enlève le plateau</b><br/> <b>L'opérateur appuie sur le bouton départ</b><br/> <b>Le chariot se déplace vers la gauche</b><br/> <b>Le chariot arrive au dessus du chargement</b></p> |
|---|---|

3) faire la distinction entre les actions (sorties) et les évènements de contrôle ou de commande (entrées).

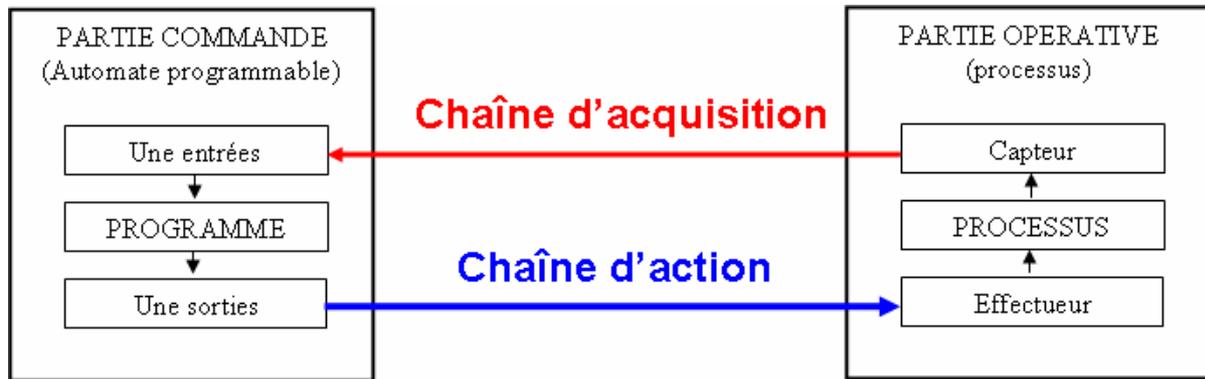


4) utiliser les éléments graphiques du grafcet pour traduire cette liste.



## XII.REPRESENTATION D'UNE AUTOMATISATION

### XII.1. Structure d'une chaîne fonctionnelle



Liens physiques et informationnels qui mettent en relation la PO et la PC pour la réalisation d'une fonction du système.

#### XII.1.1 Chaîne d'acquisition

Le type et le niveau d'énergie des capteurs sont directement compatibles avec les cartes d'entrées API. La liaison entre ces deux composants ne nécessite pas d'interface particulière.

#### XII.1.2 Chaîne d'action

Les actionneurs utilisent des énergies différentes de celle des cartes de sorties API. La conversion du type et/ou du niveau doit être pris en charge par un composant supplémentaire, le PREACTIONNEUR





# LE GRAFCET COMPLEMENT A LA NORME

### XIII. REPRESENTATION DU TEMPS DANS LE GRAFCET.

Le temps est souvent utilisé dans des application et fait appel aux « opérateurs à retards ». La forme littérale d'un opérateur à retards est « t1 / En / t2 »

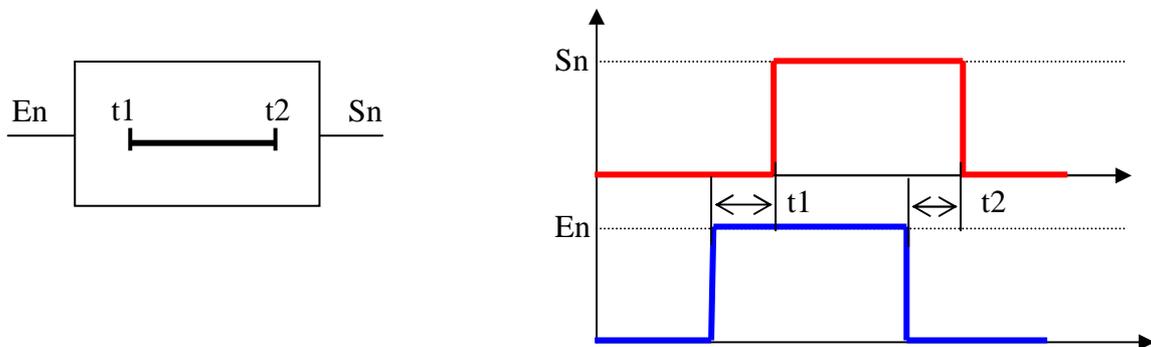
#### XIII.1. L'opérateur retard normalisé

Opérateur à retards : (Delay élément : symbole 12-40-01 de la norme CEI/IEC 617-12). Opérateur à retards avec indication des valeurs des retards.

- « t1 » est le retard apporté au changement de l'état logique [0] vers l'état logique [1] de la variable d'entrée En.
- « t2 » est le retard apporté au changement de l'état logique [1] vers l'état logique [0] de la variable d'entrée En.

« t1 » et « t2 » doivent être remplacés par leur valeur réelle exprimée dans l'unité de temps choisie. La variable En doit être présente pendant un temps (t) égal ou supérieur au retard « t1 » indiqué pour que la variable de sortie Sn prenne l'état logique [1].

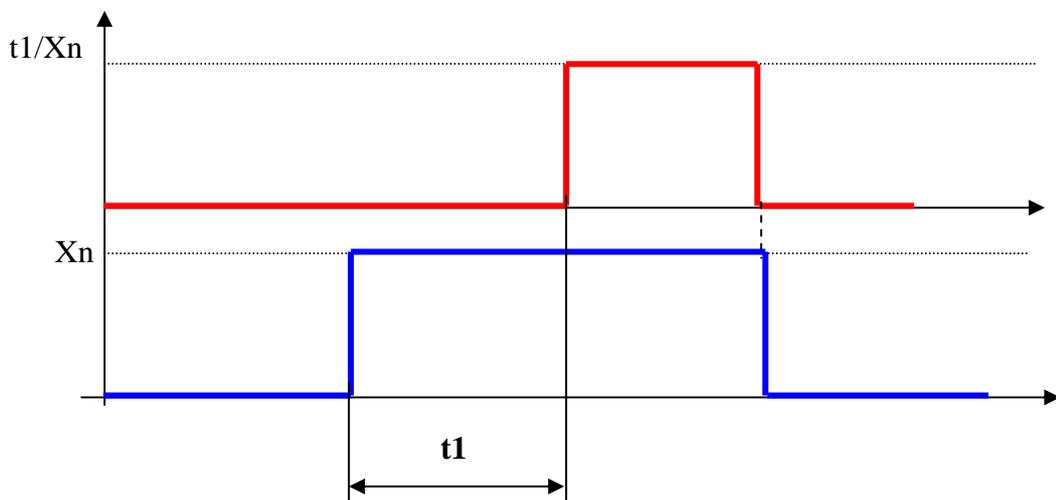
#### Représentation

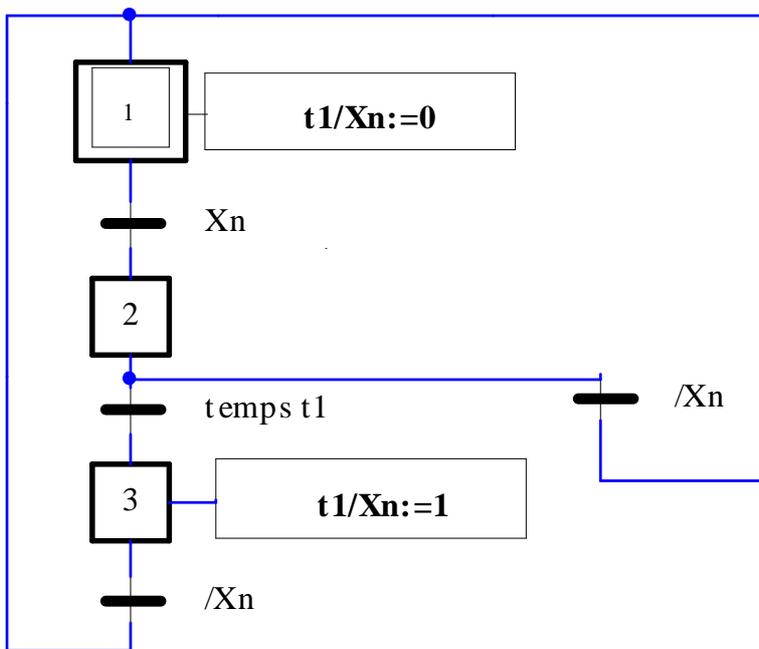


#### XIII.2. Utilisation dans le Grafcet

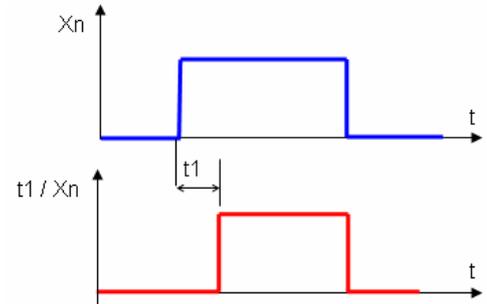
Dans le cas d'une représentation normalisée du GRAFCET, la locution « t1/En/t2 » prend la valeur logique [1] dès que t1 secondes se sont écoulées depuis le début d'activité de l'étape « Xn ». Elle ne reprend la valeur [0] que t2 secondes après la désactivation de l'étape « Xn ».

*L'utilisation la plus courante de la locution est la partie « t1 /Xn » représentant la variable temporisée liée à l'activation de l'étape n*

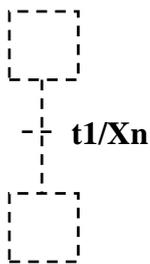




Représentation par un Grafcet



**XIII.3. Réceptivité dépendante du temps**



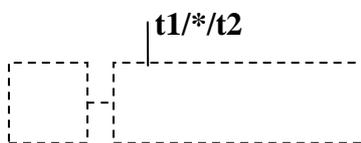
**n** : repère de l'étape origine du temps  
**t1** : valeur réelle exprimée dans l'unité de temps choisie

L'étape temporisée doit rester active pendant un temps supérieur ou égal à t1 pour que la réceptivité puisse être vraie.

Il est possible d'utiliser cette notation lorsque l'étape temporisée n'est pas l'étape amont de la transition.

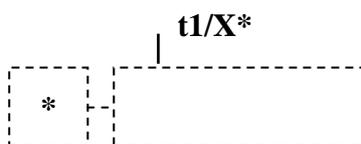
**XIII.4. Les actions temporisées**

L'action temporisée est une action continue dont la condition d'assignation utilise la variable temporisé « t1/\*/t2 ».



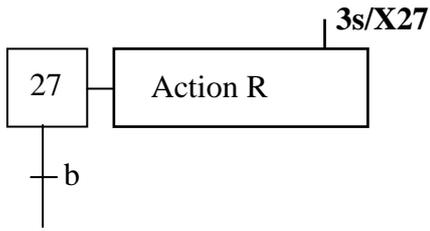
L'astérisque doit être remplacé par la variable que l'on désire temporiser (entrée, étape,...).

**XIII.4.1 action retardée**

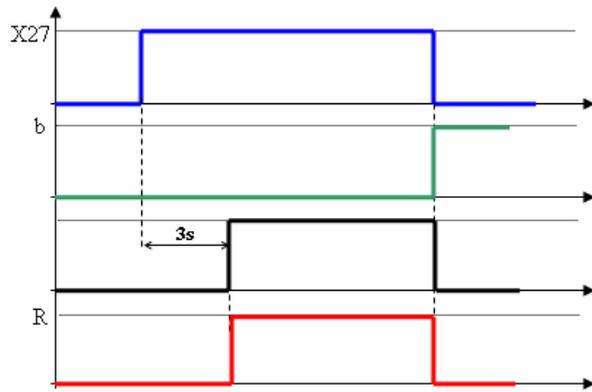


L'action retardée est une action continue dont la condition d'assignation n'est vraie qu'après une durée de t1 seconde depuis l'activation de l'étape associée \*, dans le but de retarder l'assignation à la valeur vraie de la sortie correspondante.

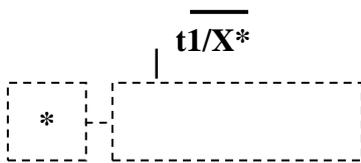
Exemple :



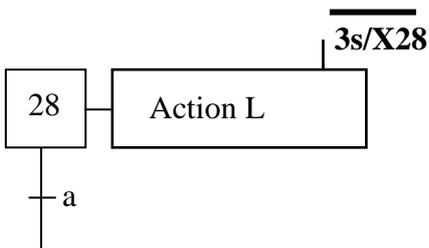
Equation:  $\text{Action R} = X27. (3s/X27)$



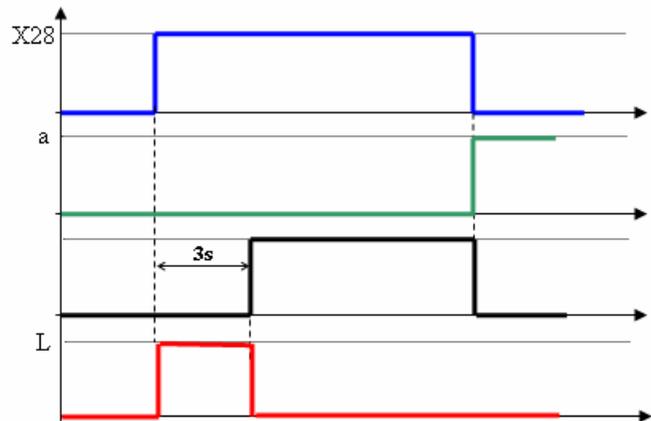
**XIII.4.2 action limitée.**



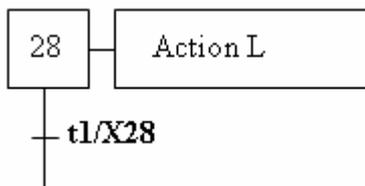
L'action limitée dans le temps est une action continue dont la condition d'assignation n'est vraie qu'après une durée de t1 seconde depuis l'activation de l'étape associée \*, dans le but de limiter l'assignation à la valeur vraie de la sortie correspondante.  
Exemple :



Equation :  $\text{Action L} = X28./(3s/X28)$



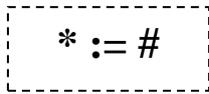
Représentation équivalente :



Si l'évolution du système ne demande pas un contrôle de réceptivité spécifique, l'action limitée peut être représenté de façon simplifiée en utilisant  
Une action de type continue  
Et l'opérateur retard dans la réceptivité associé à l'étape amont.

**XIII.5. Actions mémorisées**

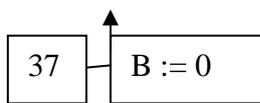
Pour qu'une action reste maintenue pendant la durée de plusieurs étapes, il est possible d'utiliser la mémorisation d'action par la représentation d'action mémorisée. Le libellé indique :



\* : le nom de la variable mémorisée  
# : la valeur (0 ou 1) que prend la variable

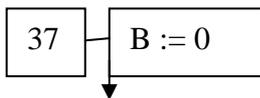
*L'action mémorisée doit obligatoirement être associée à un évènement interne.*

**XIII.5.1 action a l'ACTIVATION**



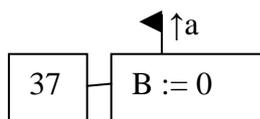
la variable "B" est affecté a la valeur "0" a l'activation de l'étape 37, et gardera cette valeur jusqu'a une signification contraire.

**XIII.5.2 action a la DESACTIVATION**



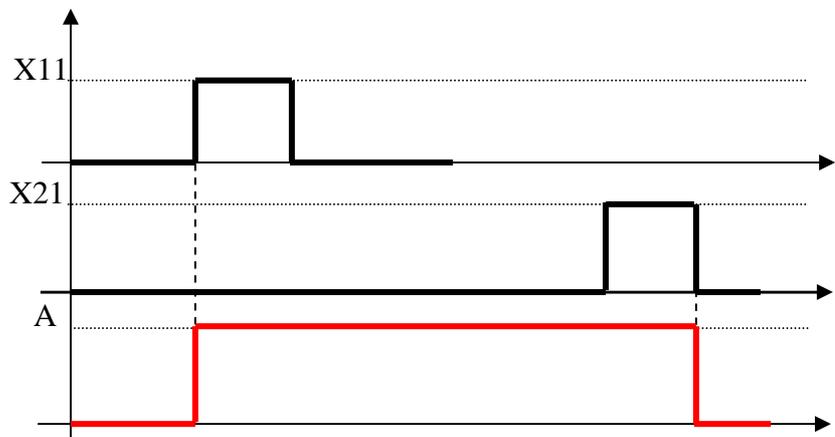
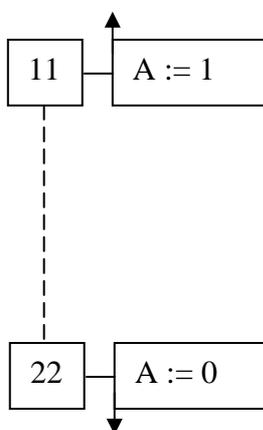
la variable "B" est affecté a la valeur "0" a l'activation de l'étape 37, et gardera cette valeur jusqu'a une signification contraire.

**XIII.5.3 action sur évènement**

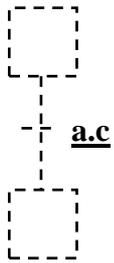


La variable "B" est affectée à la valeur "0" lorsque l'étape 37 est active et que l'évènement « ↑a » se produit. Elle gardera cette valeur jusqu'a une signification contraire.

Exemple :



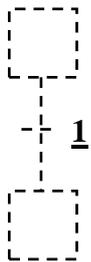
## XIV.COMPLEMENT SUR LES RECEPTIVITES



Une réceptivité est une proposition logique pouvant comporter une ou deux parties.

- Une partie dite « active », ou événement, dont la vérification provoque le franchissement de la transition validée. Les informations associées aux événements expriment de manière générale l'évolution de la Partie Opérative.
- Une partie dite « passive », ou condition, dont la satisfaction autorise le franchissement de la transition validée. Les informations associées aux conditions précisent plutôt le contexte du système automatisé et notamment les conditions relatives à la sécurité, aux modes de marche et d'arrêt, ...

### XIV.1. Réceptivité toujours vraie



La notation « 1 » indique que la réceptivité est toujours vraie

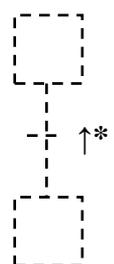
### XIV.2. Front d'une variable

Un front caractérise l'évènement associé au changement d'état d'une variable logique. Lorsqu'un front est utilisé comme réceptivité, son apparition provoque :

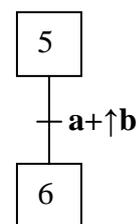
- soit une évolution si la transition est validée
- soit n'est pas prise en compte. C'est événement ne peut être détecté, c'est à dire provoquer une évolution, que s'il survient lorsque la transition est validé.

#### XIV.2.1 front montant

La notation «  $\uparrow$  » indique que la réceptivité n'est vraie qu'au changement d'état de la variable \* (passage de 0 à 1)

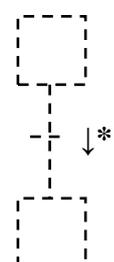


Exemple :

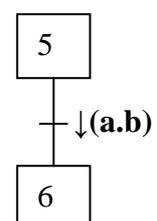


#### XIV.2.2 front descendant

La notation «  $\downarrow$  » indique que la réceptivité n'est vraie qu'au changement d'état de la variable \* (passage de 1 à 0)

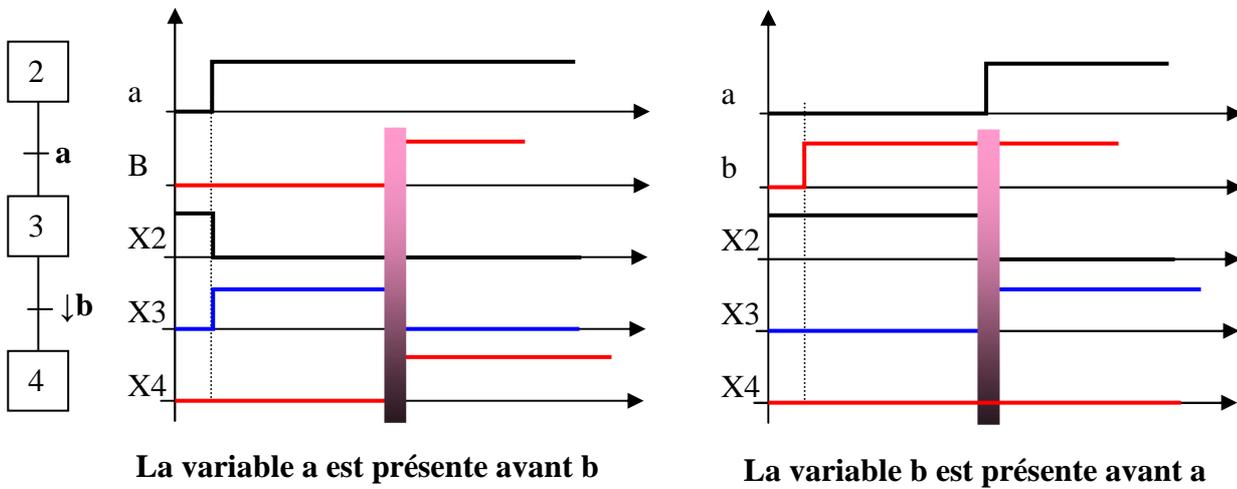


Exemple :



L'utilisation d'un front dans une réceptivité, exprime la volonté du

spécificateur de ne prendre en compte l'apparition ou la disparition de la variable concernée que lorsque la transition est validée.



XIV.2.3 succession de fronts

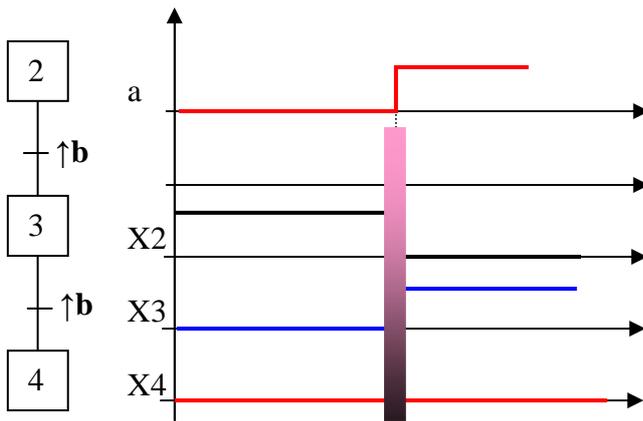
X8 = 1

La détection du front montant de b provoque le franchissement de la transition, donc

X9 = 1 & X8 = 0

La transition t9 n'étant préalablement pas validée, elle ne peut être franchie.

X10 ne sera active qu'à une nouvelle apparition de

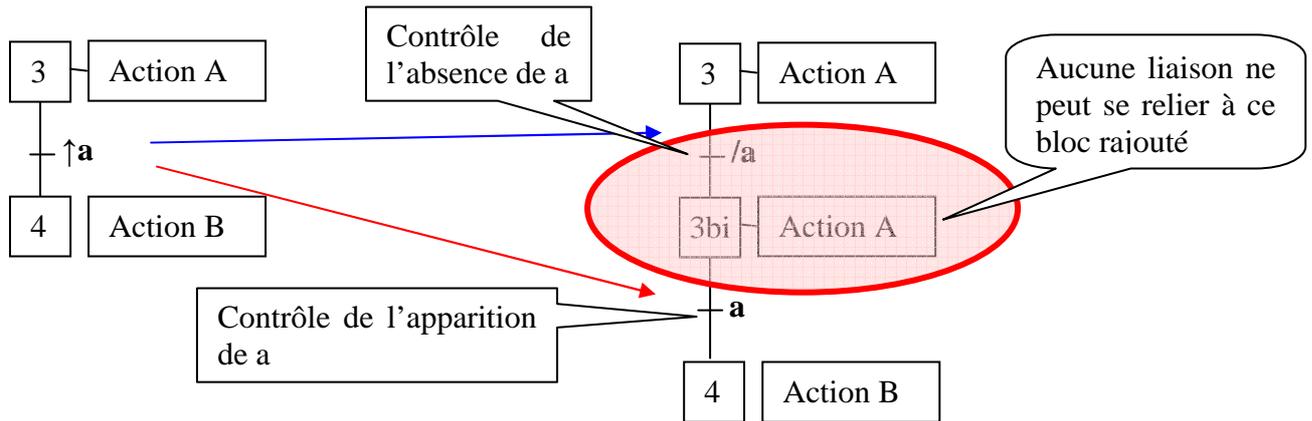


**XIV.2.4 représentation du front**

A la conception, l'objectif du concepteur est de spécifier la sensibilité du GRAFCET. Lors du passage à une description PC, les informations fronts pourront être remplacées par des entrées issues de constituants opératifs spécifiques intégrés :

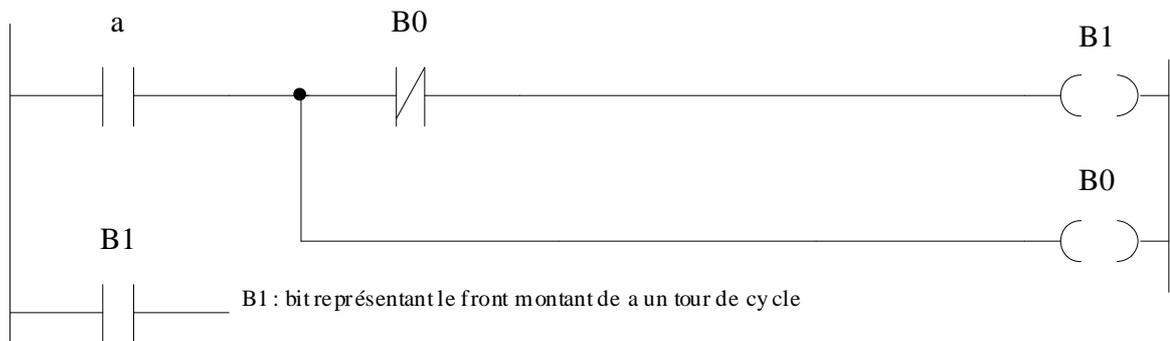
- soit aux capteurs
- soit aux composants d'acquisition de la PC.

Dans le cas contraire cela nécessite une nouvelle représentation interprétant technologiquement cette spécification pour obtenir le comportement spécifié. Le grafcet pourra prendre une forme développée permettant la traduction.

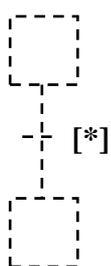


La traduction au niveau réalisation, en logique programmée type API, peut se faire suivant les capacités de la machine :

- Par la traduction direct en utilisant l'instruction front du constructeur
- Par la programmation du GRAFCET développé
- Par l'utilisation des spécificités de fonctionnement de l'API (cycle)



**XIV.2.5 valeur booléenne d'un prédicat.**

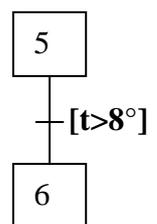


La notation « [\*] » signifie que la valeur booléenne du prédicat constitue la variable de réceptivité.

Exemple

Prédicat :

Expression qui contient une ou plusieurs variables et qui est vraie ou fausse selon la valeur que l'on attribue a celles-ci, ou selon les quantificateurs qui les lient.



## XV. LE COMPTAGE

Le comptage assuré par une fonction externe par rapport à la frontière de description du modèle grafcet, se traduit par un dialogue entrées/sorties avec le modèle GRAFCET

Un compteur est un registre particulier dont la valeur N passe à N+1 (comptage) ou N-1 (décomptage) après application d'une impulsion sur une entrée spéciale. L'initialisation consiste:

- soit à une RAZ
- soit à une présélection à une valeur N

Les actions :

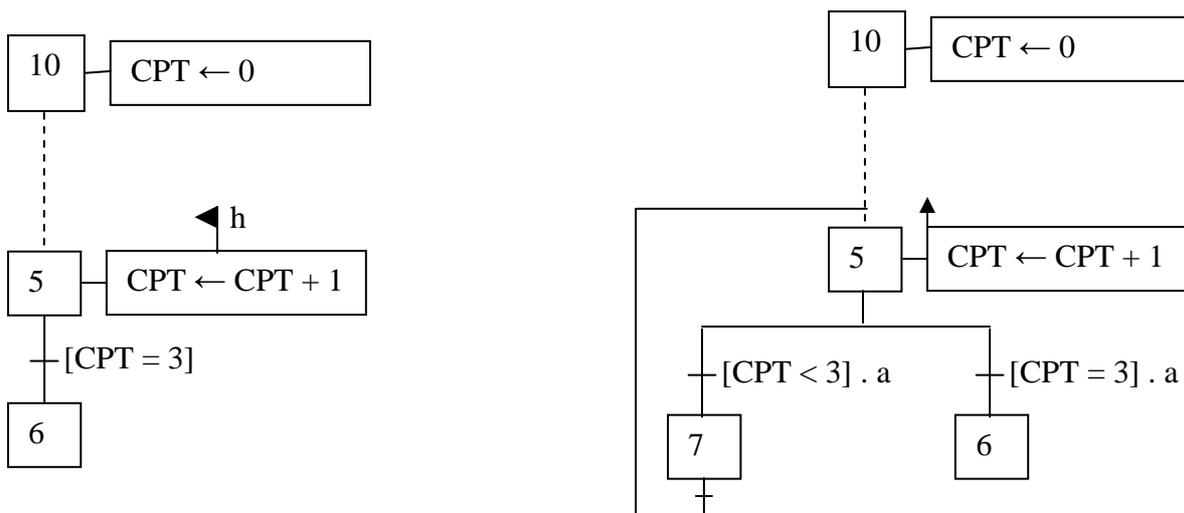
- INITIALISER ou  $CPT \leftarrow 0$  ou  $CPT \leftarrow N$
- COMPTER ou INC ou DEC ou  $CPT \leftarrow CPT + 1$  ou  $CPT \leftarrow CPT - 1$

seront associées à une ou plusieurs étapes du GRAFCET et sont donc représentés par des ordres internes.

La sortie du compteur "Cpt" pourra être associée à une transition.

Dans ce cas la réceptivité est exprimée sous forme d'un prédicat.

Représentation :

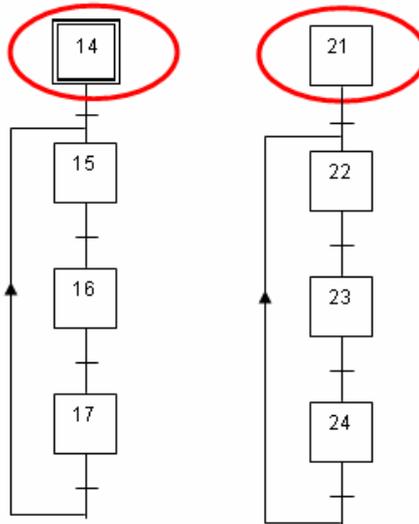


## XVI.COMPLEMENT SUR LES TRANSITIONS ET LES ETAPES

### XVI.1. Etape source

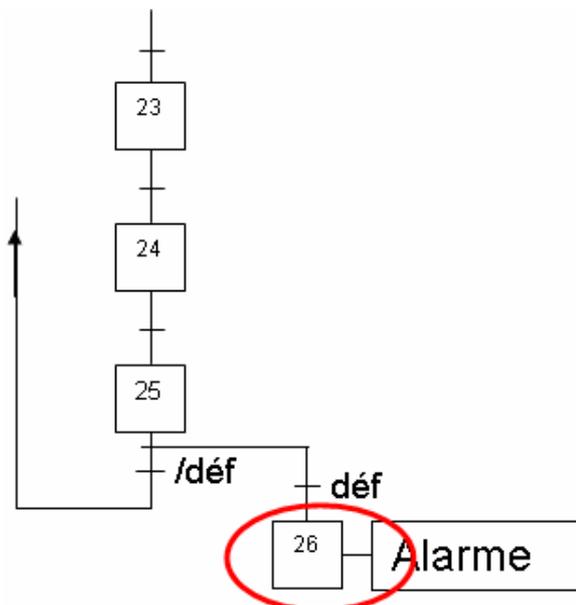
Une étape source est une étape qui ne possède aucune transition amont. Pour que cette étape soit active, il faut quelle soit :

- Etape initiale
- Forcée depuis un grafcet hiérarchiquement supérieur



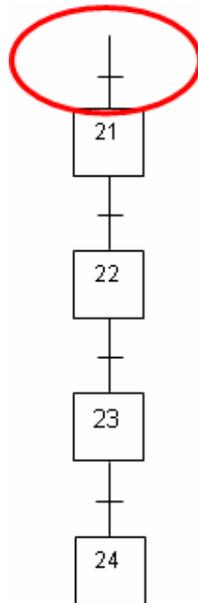
### XVI.2. Etape puits

Une étape puits est une étape qui ne possède aucune transition aval. Sa désactivation ne peut se faire que par un ordre de forçage.



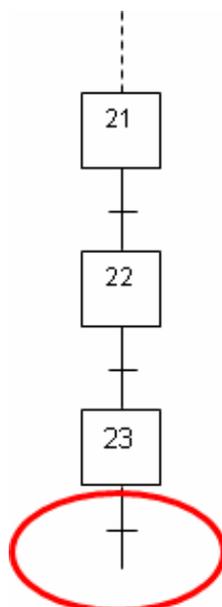
**XVI.3. transition source**

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 associée est vraie.



**XVI.4. transition puits**

Une transition puits est une transition qui ne possède aucune étape aval.



# LE GRAFCET COORDINATION DES TACHES

## XVII.METHODOLOGIE D'ANALYSE

L'identification et la caractérisation des tâches opératives dans la technique de coordination sont un point délicat de la méthode. Le concept de tâche intègre à la fois des notions de fonction, de structure et de procédure.

### XVII.1. Partition des tâches

L'ensemble des tâches correspond à une partition logique de l'ensemble des opérations associées au fonctionnement de tout ou partie du système. Pour optimiser l'analyse et représenter la complexité du fonctionnement sans alourdir la représentation, la partition doit être:

- **Cohérente vis-à-vis du processus** (respecter les fonctions)
- **Fidèle et complète**
- **Minimale**

La partition en tâches doit s'appuyer sur la structure fonctionnelle et topographique du processus. A partir de ces critères, on la représente sous forme d'un tableau (tableau de partition).

Nom de tâche	T(i)	PO associée a la tâche	Remarques
Dosage produit A	T3	Trémie A avec la vanne A Bascule B1	Bascule commune avec la tâche T1

### XVII.2. Proposition logique d'antériorité

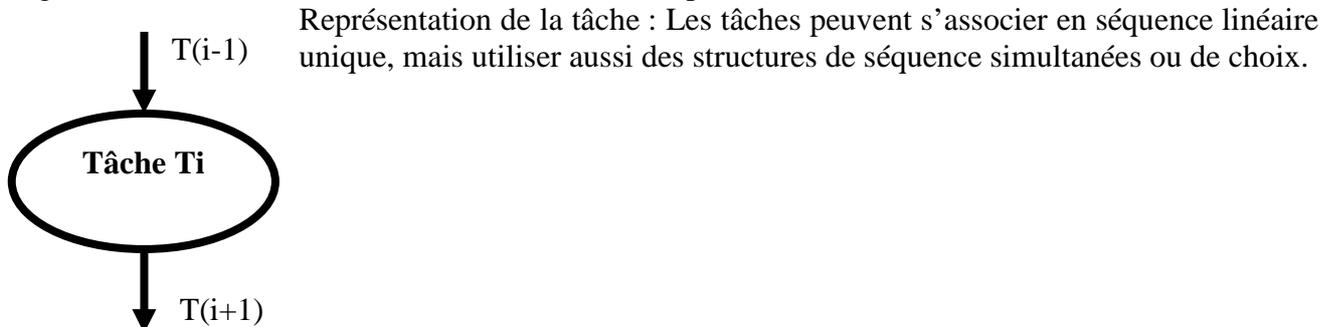
Le choix des autorisations, c'est à dire des antériorités entre tâches: tableau de proposition logique d'antériorités.

T(i)	Début de T(i) SI	Fin de la tâche T(i)	Fin T(i) autorise :
T3	Fin T2 et Fin T4	Produit stocké en B	Autorise T8

Le critère usuel pris en compte pour établir les antériorités est le temps. L'optimisation est obtenue par l'émission « **au plus tôt** » des autorisations entre tâches.

### XVII.3. Le graphe de synchronisation

Le graphe de synchronisation permet une vérification simple de la coordination des tâches, sans les contraintes de représentation du GRAFCET. Inspiré des réseaux de Pétri, ce graphe n'est pas obligatoire. (La traduction en Grafcet de coordination peut se faire directement).



## XVIII. REPRESENTATION STRUCTURE DU GRAFCET DE COORDINATION

La représentation d'une partition comporte deux niveaux. Le niveau tâche opérative et le niveau hiérarchiquement supérieur de coordination représenté par le grafcet de coordination. L'ensemble forme le grafcet partiel de production normale (GPN) du système. Plusieurs formes de représentation du GPN peuvent être utilisées.

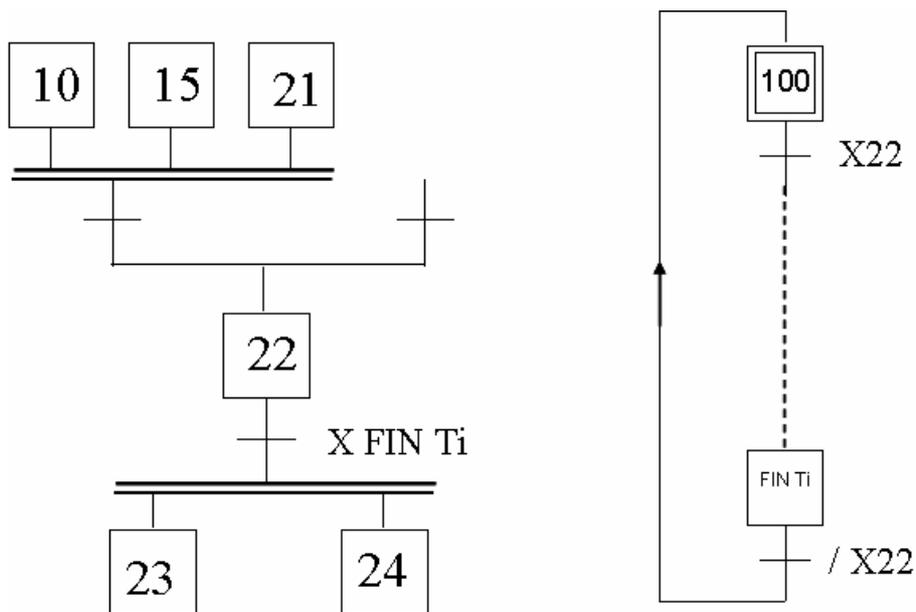
*Par conception le grafcet de coordination des tâches n'exploite que les trois premières règles du grafcet.*

L'activation ou la clôture d'une tâche peuvent être conditionnées par des données issues de tous les niveaux de traitements. Les transitions du Grafcet de coordination des tâches seront associées aux conditions contextuelles de lancement des tâches. Les réceptivités associées peuvent donc comporter:

- des variables de situation du niveau supérieur (Xns)
- des variables de situation du grafcet de coordination (/Xc)
- des états d'entrées.

### XVIII.1. Grafcet synchronisé

Cette forme de représentation utilise le principe de synchronisation entre grafcet par la méthode appel/réponse avec acquittement.

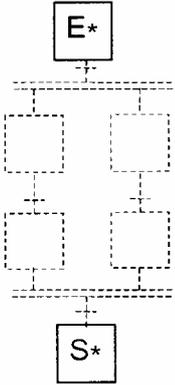
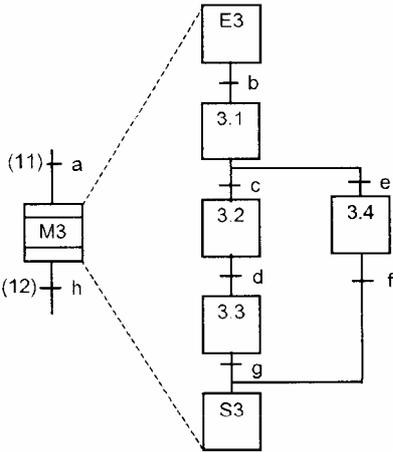


### XVIII.2. Macro représentation

Pour améliorer la compréhension, les spécifications, sous forme de grafcet, peuvent être représentées à plusieurs niveaux par macro représentation.

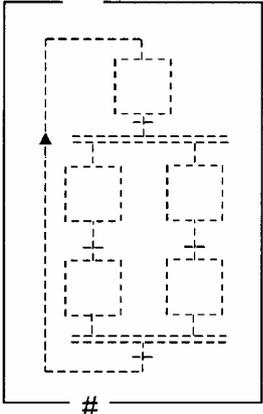
La notion de macro représentation utilise le concept de macro étape. Le concept de macro étape permet des descriptions par affinements successifs tout en restant dans l'esprit du Grafcet. La fonction est exprimée sans souci du détail, ceci permet une description progressive.

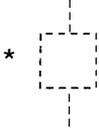
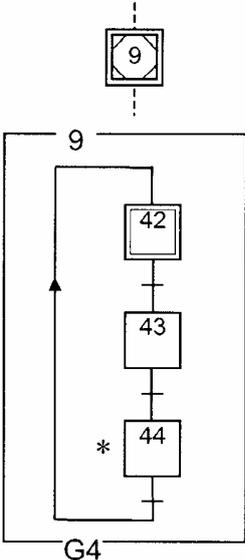
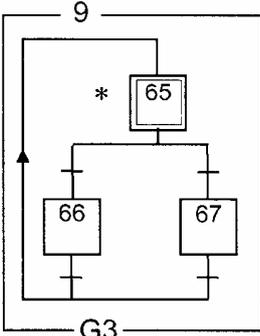
Une macro-étape  $M^*$  est l'unique représentation d'un ensemble unique d'étapes et de transitions nommé "Expansion de  $M^*$ " (voir page 3).

N°	Symbole	Description
[6]		<p><b>Macro-étape (rappel du symbole général 6):</b></p> <p>Représentation unique d'une partie détaillée de grafcet, appelée <i>expansion</i> de la macro-étape.</p> <p>La macro-étape ne possède pas toutes les propriétés des autres types d'étapes (symboles 1 à 5), car seule son étape de sortie (voir symbole 43) valide ses transitions aval.</p> <p>Il convient que l'astérisque soit remplacé par le repère de la macro-étape.</p>
[43]		<p><b>Expansion de la macro-étape:</b></p> <p>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*.</p> <p>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.</p> <p>NOTE 1 L'expansion d'une macro-étape peut comporter une ou plusieurs étapes initiales.</p> <p>NOTE 2 L'expansion d'une macro-étape peut comporter une ou plusieurs macro-étapes.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="534 943 927 1395" style="flex: 1;">  </div> <div data-bbox="970 913 1415 1189" style="flex: 1;"> <p><b>EXEMPLE:</b></p> <p>Macro-étape M3 représentée avec son expansion:</p> <p>Le franchissement de la transition 11 active l'étape d'entrée E3 de la macro-étape M3.</p> <p>La transition 12 ne sera validée que lorsque l'étape de sortie S3 sera active.</p> <p>Le franchissement de la transition 12 désactive l'étape S3.</p> </div> </div>
[44]	XM*	<p><b>Variable de macro-étape:</b></p> <p>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* dans laquelle l'astérisque * doit être remplacé par le nom de la macro-étape considérée.</p>

### XVIII.3. 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 encapsulante est active, l'une, au moins, des étapes encapsulées est active. Le spécificateur peut utiliser l'encapsulation pour structurer de manière hiérarchique un grafcet. (voir pages 4 et 5).

N°	Symbole	Description
[4]		<p><b>Etape encapsulante (rappel du symbole 4):</b></p> <p>Cette notation indique que cette étape contient d'autres étapes dites encapsulées dans une ou plusieurs encapsulations de cette même étape encapsulante.</p> <p>L'étape encapsulante possède toutes les propriétés de l'étape. il convient que l'astérisque soit remplacé par le repère d'étape.</p> <p>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.</p>
[39]		<p><b>Représentation graphique d'une encapsulation:</b></p> <p>Une encapsulation # d'une étape encapsulante * peut être représentée par le grafcet partiel des étapes encapsulées, ceint d'un cadre sur lequel est placé en haut à gauche le nom * de l'étape encapsulante, et en bas à gauche le repère # de l'encapsulation représentée.</p> <p>Dans une encapsulation, il convient que l'ensemble des étapes encapsulées constitue un grafcet partiel dont le nom peut servir de repère à l'encapsulation correspondante.</p>
[40]	$X^*/G\#$	<p><b>Désignation globale d'une encapsulation:</b></p> <p>Une encapsulation # d'une étape encapsulante * peut être décrite globalement par une expression littérale dans laquelle l'étape encapsulante * est désignée par la variable d'étape <math>X^*</math>, l'encapsulation par le symbole /, et les étapes encapsulées par le nom du grafcet partiel <math>G\#</math> auquel elles appartiennent.</p> <p>NOTE Cette représentation suppose que le grafcet partiel désigné ait été préalablement défini.</p>
[41]	$X^*/X\#$	<p><b>Désignation élémentaire d'une encapsulation:</b></p> <p>On peut indiquer par une expression littérale qu'une étape # est encapsulée dans une étape encapsulante * en utilisant les variables d'étape et sans nommer l'encapsulation.</p> <p>NOTE Cette notation convient pour désigner une suite hiérarchique d'étapes encapsulées les unes dans les autres, elle permet également une identification relative des étapes par niveau d'encapsulation.</p> <p>EXEMPLE: <math>X_4/X_{25}/X_{12}</math> désigne l'encapsulation de l'étape 12 dans l'étape 25, elle même encapsulée dans l'étape 4.</p>

N°	Symbole	Description
[5]		<p><b>Etape encapsulante initiale (rappel du symbole 5):</b></p> <p>Cette représentation indique que cette étape participe à la situation initiale. Dans ce cas, l'une, au moins, des étapes encapsulées dans chacune de ses encapsulations doit être également une étape initiale.</p>
[42]		<p><b>Lien d'activation</b>, symbole général.</p> <p>Représenté par un astérisque à gauche des symboles d'étapes encapsulées, le lien d'activation indique quelles sont les étapes encapsulées actives à l'activation de l'étape encapsulante.</p> <p>Il ne faut pas confondre le lien d'activation avec l'indication des étapes initiales qui peuvent être encapsulées. Il est toutefois possible qu'une étape initiale encapsulée possède également un lien d'activation.</p> <p>La désactivation d'une étape encapsulante a pour conséquence la désactivation de toutes ses étapes encapsulées. Cette désactivation est souvent le fait du franchissement d'une transition aval de l'étape encapsulante, mais peut également résulter de tout autre moyen de désactivation (forçage ou encapsulation de niveau supérieur).</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <p style="text-align: center;">G4</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>EXEMPLE:</b></p> <p>L'étape encapsulante 9 est nécessairement une étape initiale, car elle encapsule l'étape initiale 42.</p> <p>L'encapsulation G4 de l'étape encapsulante 9 contient les étapes 42, 43 et 44.</p> <p>L'étape initiale 42 participe à la situation initiale, elle est donc active à l'instant initial. Par contre, à chaque activation de l'étape 9, consécutive à l'évolution du grafcet, l'étape 44 est activée.</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"> <div style="width: 45%;">  <p style="text-align: center;">G3</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>L'encapsulation G3 de l'étape encapsulante 9 contient les étapes 65, 66 et 67.</p> <p>L'étape initiale 65 participe à la situation initiale, elle est donc active à l'instant initial. Elle est aussi activée à chaque activation de l'étape 9 consécutive à l'évolution du grafcet.</p> </div> </div>

### XIX.CALCUL DU TEMPS DE CYCLE

Le temps de cycle peut être calculé à partir de la structure du Grafcet de coordination des tâches, deux méthodes peuvent être utilisées :

- Le tracé du diagramme de Gantt par rapport aux étapes de lancement des tâches opératives.
- Résolution de l'équation des supérieurs liée aux tâches opératives

Exemple : soit le grafcet de coordination ci-dessous.

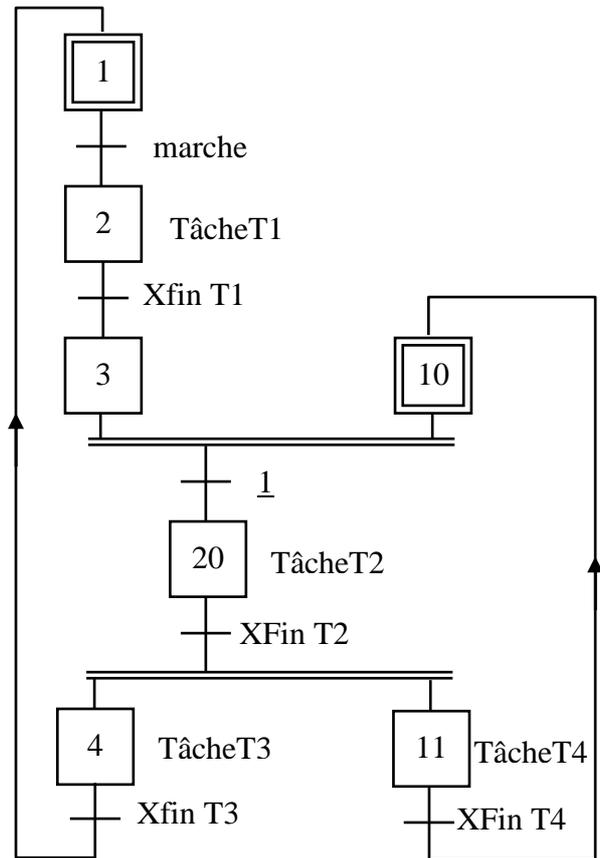
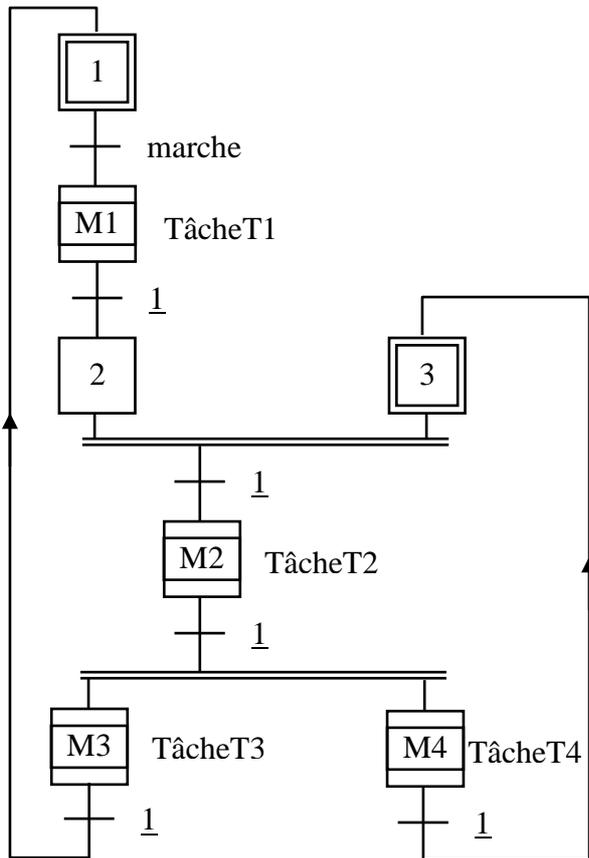
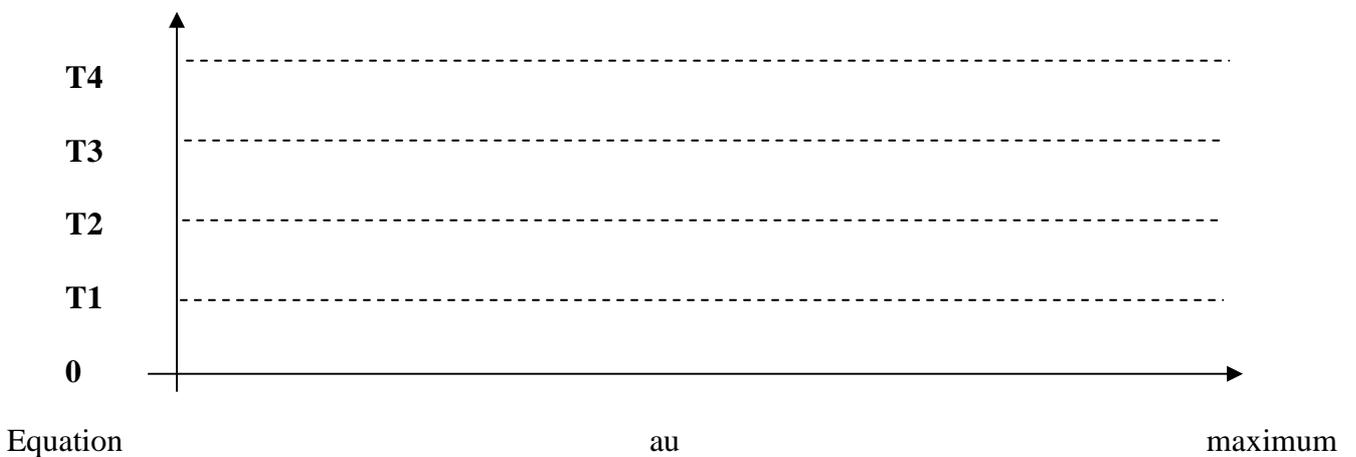


Diagramme du Gantt



# LE GRAFCET LA HIERARCHIE

## XX.FONCTION D'UNE PARTIE COMMANDE

D'une manière générale il est possible d'effectuer une partition de la Partie Commande en trois fonctions principales (présentes régulièrement dans les PC) et des fonctions complémentaires liées à la complexité du système.

### XX.1. Fonction de commande

C'est la fonction essentielle, celle pour laquelle est construite la Partie Commande. Elle consiste à élaborer les ordres de commande des préactionneurs pour obtenir le comportement désiré de la Partie Opérative, à partir des informations issues de cette PO et des consignes de l'opérateur. Cette fonction de Commande intègre les modes de production normale, mais aussi les modes de marches, défaillance, etc.

### XX.2. Fonction de conduite

Sous cette fonction l'on regroupe trois niveaux de besoins pour la conduite du système automatisé.

- Un besoin de Flexibilité
- Un besoin de complexité
- Un besoin de coordination ou synchronisation des SPO.

### XX.3. Fonction de surveillance

La surveillance est liée à l'apparition éventuelle de défauts ou de défaillance tant sur la Partie Opérative que sur la Partie Commande, que sur leurs alimentations et interfaces. Elle correspond aux fonctions d'Alarme et de Sécurité.

La fonction alarme implique l'observation des grandeurs significatives du système, puis un traitement pour aboutir sur des moyens de visualisation pour faciliter la communication avec l'opérateur.

La fonction sécurité consiste à émettre des consignes ou des commandes vers des actionneurs spécifiques, ou vers d'autres niveaux de commandes.

### XX.4. Fonction d'optimisation

Cette fonction permet l'introduction de données et de contraintes économiques dans la commande. Il s'agit, à partir d'objectifs de productions et de données techniques, d'élaborer le modèle de fonctionnement le mieux adapté à l'état actuel du système.

### XX.5. Fonction de gestion

Il s'agit, à partir des résultats du modèle optimisé, des informations issues du système, d'élaborer l'ensemble des documents techniques, administratifs, comptables et financiers, etc... nécessaires à la bonne intégration du système dans le fonctionnement global de l'entreprise.

### XX.6. Fonction de communication

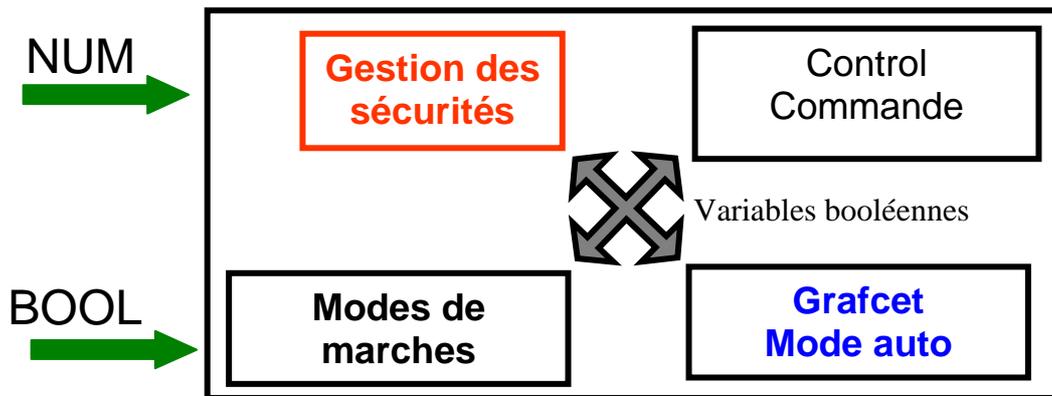
Cette fonction permet de prendre en compte l'intervention de l'homme dans la conduite du système automatisé mais aussi dans l'ensemble des fonctions de commande, de surveillance, de gestion et d'optimisation.

## XXI.STRUCTURE D'UNE PARTIE COMMANDE

Le GRAFCET permet de modéliser des commandes dont toutes les entrées sont des variables d'états de type binaire (0 ou 1). Si toute la partie commande d'une application n'est pas modélisable par un GRAFCET, il importe de formaliser les limites et la communication avec les autres modèles de la commande.

**XXI.1. La PC fait appel à des fonctions Grafcet**

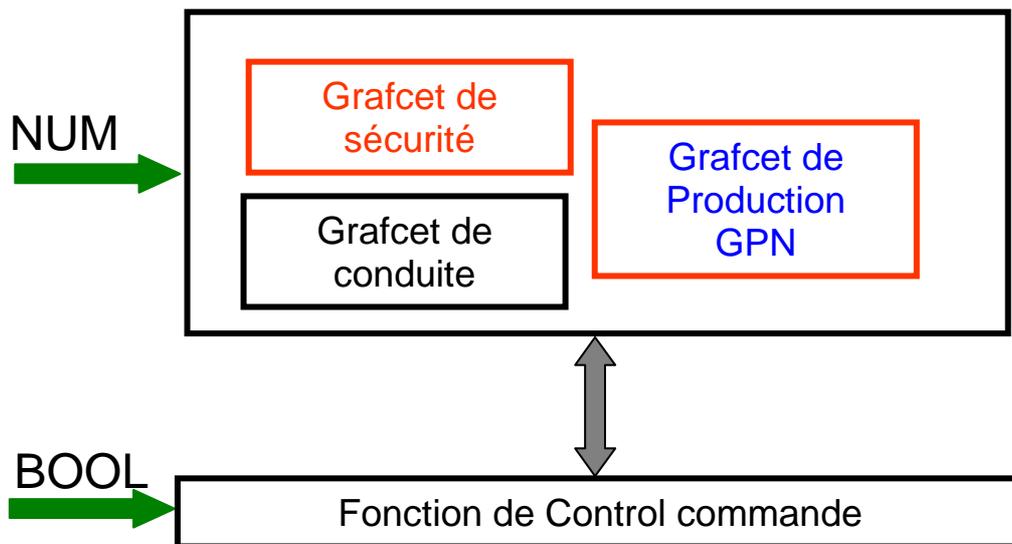
La structure et les différents modules sont décrits dans un ou plusieurs langages, d'autres modules sont en GRAFCET. Le GRAFCET de niveau module est appelé par la structure de commande par échanges d'E/S booléennes.



**XXI.2. Un grafcet structure la partie commande**

La structure est décrite en GRAFCET et les différents modules sont décrits soit en GRAFCET soit dans un autre langage.

Dans ce cas la partie principale de la commande est modélisée par un GRAFCET global structuré qui communique par échange d'E/S avec d'autres sous parties commandes modélisée avec d'autres formalismes.



**XXI.3. Le grafcet convient pour modéliser toute la partie commande**

La structure et les différents modules sont décrits en GRAFCET. Dans ce cas, l'ensemble de la commande est modélisé par un GRAFCET global structuré en GRAFCET partiels

- Soit hiérarchiquement, par des ordres de forçage et des variables d'étapes
- Soit sans hiérarchie formelle, uniquement par échange de variable d'étapes.

La commande directe de la Partie Opérative est assurée par un certain nombre d'automatismes locaux, formant ainsi une partition du système en un certain nombre de sous-systèmes, constitué chacun d'une sous-partie opérative et d'une Partie commande locale. Cette partition en sous-système résulte de contraintes:

- de localisation physique des sous parties opératives
- de fractionnement des investissements

- technologiques, ...

Pour effectuer une partition fonctionnelle de la Partie Commande, il faut respecter l'architecture de la Partie Opérative, architecture fonctionnelle vis à vis de l'élaboration de la valeur ajoutée.

L'architecture reste fonctionnelle si :

- Tout élément de la PO est commande
- Tout éléments de la PO possèdent qu'un seul antécédent de la PC.

## XXII.HIERARCHISATION DES FONCTIONS

Les fonctions d'une Partie Commande peuvent être classées par niveaux d'interventions de la PC sur la PO.

Les trois fonctions principales, **commande**, **conduite**, **sécurité**, peuvent être organisées, au niveau de la structure interne de la PC, en niveau hiérarchisés. Ce type de structure conduit généralement à un GRAFCET GLOBAL à trois niveaux, et donc composé d'au moins trois grafquets partiels.

### XXII.1. Niveau de sécurité

Regroupe les conditions d'arrêt de sécurité ainsi que la surveillance des point délicats du procédé.

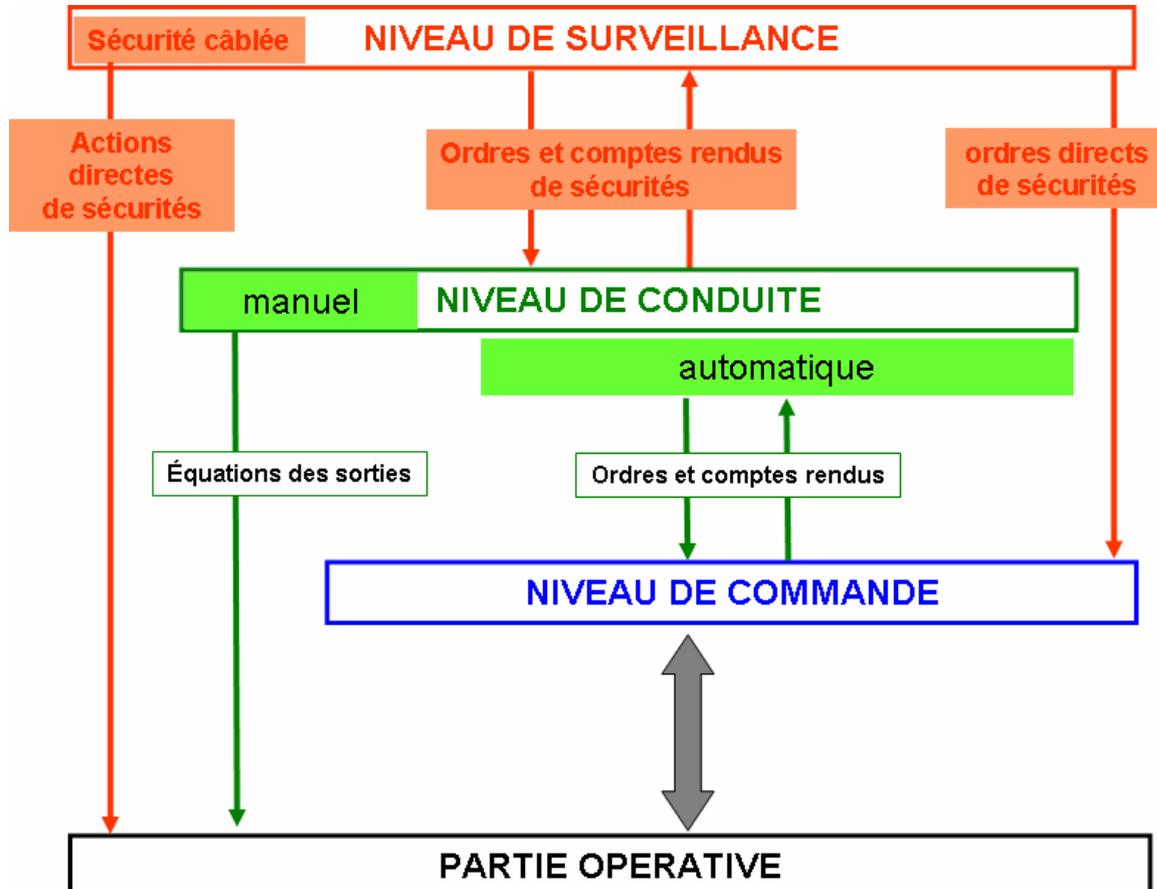
### XXII.2. Niveau de conduite

Gère les modes de marches et d'arrêts, hors sécurité.

### XXII.3. Niveau de commande

Gère le cycle de production du système dans les conditions de marches normales.

Chaque niveau hiérarchique pouvant être structuré en coordination horizontale.



## XXIII.FORÇAGE DE SITUATIONS

Pour représenter une structure hiérarchisée à l'aide du modèle Grafcet, il a fallu lui ajouter des fonctions le permettant. La notion de forçage de situation d'un grafcet permet de répondre à cette organisation.

*Les ordres de forçage permettent de modifier de manière interne, la situation d'un grafcet partiel à partir d'un autre grafcet partiel.*

Cette relation de dépendance implique une hiérarchie totale entre les deux GRAFCET. Une cohérence d'ensemble pour l'application de cette hiérarchie est nécessaire pour assurer le déterminisme du système décrit.

### XXIII.1. Situation d'un grafcet partiel

La situation d'un grafcet partiel est représentée par l'ensemble de ses étapes actives à l'instant considéré.

Notation :  $G\#\{\dots\}$ , # est remplacé par le nom du grafcet partiel

#### IV.1.1 situation courante

Représente la situation dans laquelle se trouve le grafcet # à l'instant considéré :  $G\#\{\dots\}$

#### IV.1.2 situation vide

Désigne la situation du grafcet partiel # lorsque aucune de ses étapes n'est active :  $G\#\{\}$

#### IV.1.3 situation initiale

Désigne la situation du grafcet partiel a l'instant initial :  $G\#\{INIT\}$

### XXIII.2. Ordres de forçages

*Si un GRAFCET force un autre GRAFCET la réciproque est impossible.*

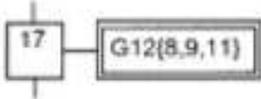
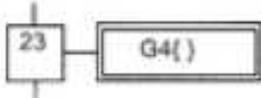
*À tout instant du fonctionnement, un GRAFCET ne peut être forcé que par un et un seul autre GRAFCET.*

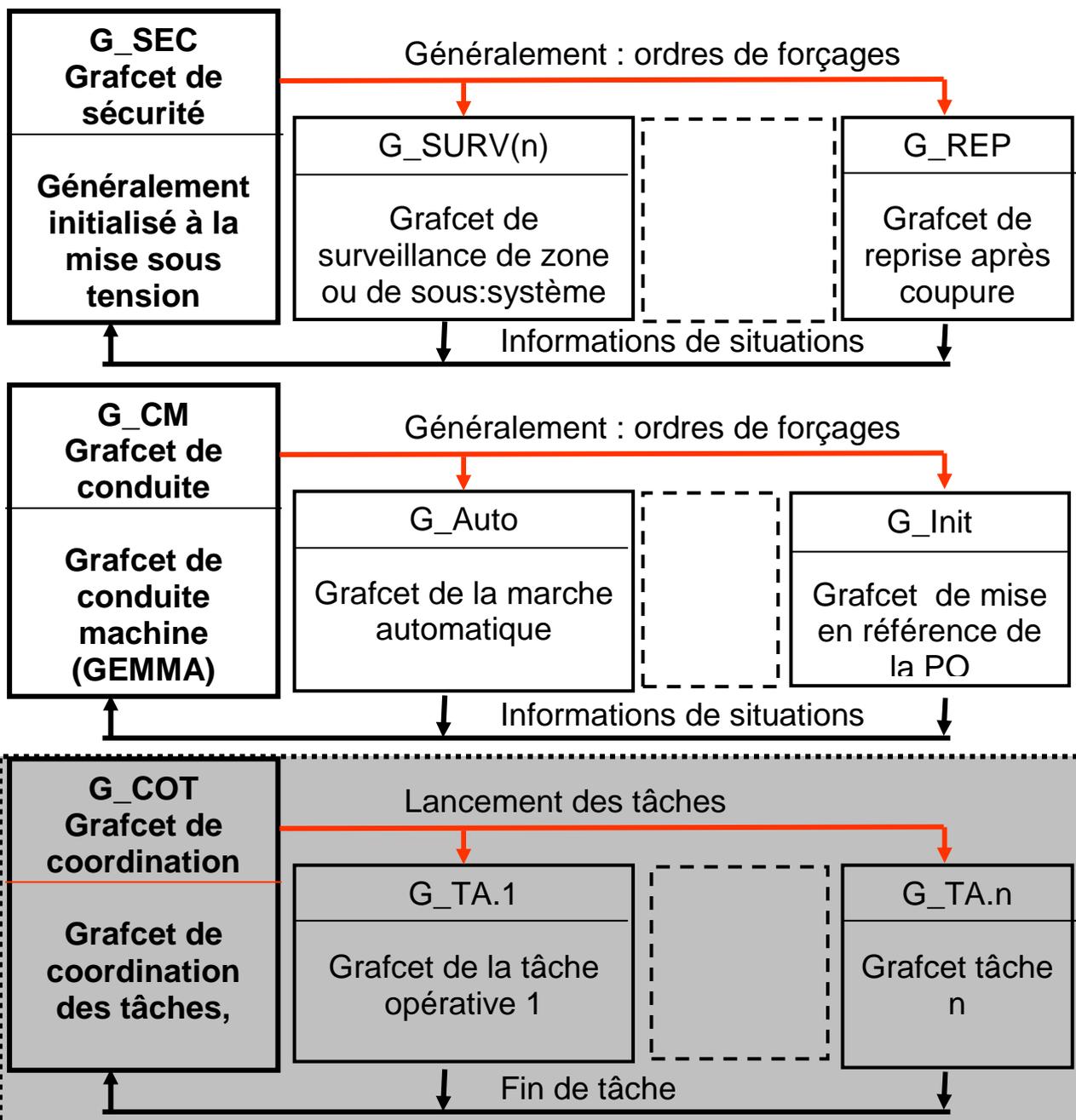
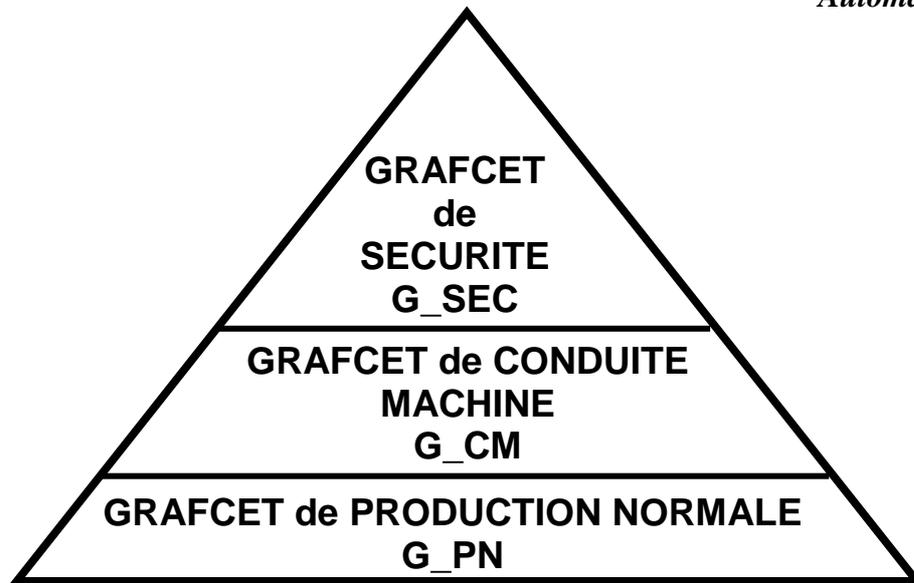
La notion de hiérarchie associée au forçage lui confère un caractère prioritaire par rapport à l'application des règles d'évolutions. La cohérence de la hiérarchie impose que:

- L'ordre interne de forçage s'applique d'un GRAFCET partiel vers un autre GRAFCET partiel. La réunion de tous les GRAFCET de niveau hiérarchique différents constitue le GRAFCET GLOBAL de l'installation.
- L'ordre de forçage est associé à une étape de GRAFCET (voir tableau de norme). Il définit la situation à atteindre par un ou plusieurs GRAFCET partiels appartenants au même GRAFCET global.

#### Propriétés:

- **Il ne s'exécute que si l'étape à laquelle il est associé est active.**
- **Il peut être impulsif, conditionnel, temporisé, ...**
- **Le GRAFCET partiel forcé ne peut évoluer tant qu'il est soumis à l'ordre de forçage.**
- **Dès que l'ordre cesse, le GRAFCET évolue à partir de la dernière situation forcée en suivant les règles d'évolution normales.**

N°	Symbole	Description
[38]		<p><b>Ordre de forçage d'un grafcet partiel:</b></p> <p>Symbole dans lequel l'astérisque doit être remplacé par une situation d'un grafcet partiel (symboles 34 à 37). Associé à l'activité d'une étape d'un grafcet partiel hiérarchiquement supérieur, l'ordre de forçage est un ordre interne qui permet d'imposer une situation à un grafcet partiel hiérarchiquement inférieur.</p> <p>L'ordre de forçage est représenté dans un double rectangle associé à l'étape pour le différencier d'une action.</p> <p>Le forçage est un ordre interne, dont l'exécution est prioritaire sur l'application des règles d'évolution.</p> <p>Le grafcet forcé ne peut pas évoluer tant que dure l'ordre de forçage, on dit alors que le grafcet est figé.</p> <p>L'utilisation des ordres de forçage dans une spécification implique une structuration hiérarchique en grafcets partiels telle que tout grafcet partiel forçant soit de niveau hiérarchique supérieur à celui de tous les grafcets partiels forcés.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">  </div> <div style="width: 65%;"> <p><b>EXEMPLE 1:</b> Forçage d'un grafcet partiel à une situation déterminée.</p> <p>Lorsque l'étape 17 est active, le grafcet partiel 12 est forcé dans la situation caractérisée par l'activité des étapes 8, 9, 11.</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">  </div> <div style="width: 65%;"> <p><b>EXEMPLE 2:</b> Forçage d'un grafcet partiel à la situation courante.</p> <p>Lorsque l'étape 48 est active, le grafcet partiel 3 est forcé dans la situation où il se trouve à l'instant du forçage.</p> <p><b>NOTE 1</b> On appelle également cet ordre «figeage».</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">  </div> <div style="width: 65%;"> <p><b>EXEMPLE 3:</b> Forçage d'un grafcet partiel à la situation vide.</p> <p>Lorsque l'étape 23 est active, le grafcet partiel 4 est forcé dans la situation vide (voir symbole 36).</p> <p><b>NOTE 2</b> Dans ce cas aucune des étapes de G4 n'est active.</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">  </div> <div style="width: 65%;"> <p><b>EXEMPLE 4:</b> Forçage d'un grafcet partiel à la situation initiale.</p> <p>Lorsque l'étape 63 est active, le grafcet partiel 8 est forcé dans la situation dans laquelle seule ses étapes initiales sont actives.</p> </div> </div>



## XXIV.REPRESENTATION DU NIVEAU COMMANDE

Le niveau commande est la mise en place d'un grafcet partiel nommé **GRAF CET DE PRODUCTION NORMALE (G\_PN)**. Ce niveau peut être décomposé en deux sous niveaux hiérarchiques.

- un niveau LOCAL, ou niveau TACHES décrivant par les GRAFCET DE TACHES (G\_TA.n) ou expansion de macro toutes les tâches opératives définies par l'analyse.
- un niveau de COORDINATION des tâches représenté par un grafcet nommé GRAFCET de COORDINATION des TACHES (G\_COT).

La construction du grafcet de coordination des tâches comporte trois phases (cf chapitre E)

- 1° PHASE: L'expression des règles de début et de fin de tâches (tableau d'antériorités)
- 2° PHASE: L'élaboration du grafcet ou de l'expansion de macro associé à chaque tâche.
- 3° PHASE: L'association de tous les grafcet de tâches pour construire le grafcet de coordination des tâches.

Le forçage du GPN en situation vide suppose la situation vide du G\_COT ainsi que de tous les G\_TA.n, de même le forçage à l'initialisation concerne tous les grafcet appartenant au G\_PN.

## XXV.REPRESENTATION DU NIVEAU CONDUITE

Ce niveau conduite correspond en pratique à l'ensemble des modes de fonctionnement permettant l'exploitation du système automatisé. La difficulté essentielle consiste à associer plusieurs outils de description pour décrire le comportement de la PC à ce niveau hiérarchique. En effet, la description de la conduite machine comportera un ou plusieurs grafcet (G\_CM), mais aussi des relations de logique combinatoire, le tout exploitant les fonctions de pilotage mis en œuvre dans le GEMMA. La partie "séquentielle" du GEMMA est traduite en grafcet par :

- Association à chaque mode GEMMA d'une étape du grafcet principal de conduite
- Traduction par une séquence grafcet des boucles de marches du GEMMA.

Dans le cas d'un système avec des modes de marche simplifiés ou limités, l'enrichissement du Grafcet de base G\_PN peut être envisagé (voir exemple page 10).

## XXVI.REPRESENTATION DU NIVEAU DE SURVEILLANCE

La fonction surveillance doit garantir la sécurité des personnes et des biens et assurer la disponibilité maximale de l'installation. Les événements associés à ce niveau sont du type aléatoire (défaut, coupure énergie, AU, ...) et peuvent survenir dans n'importe quel mode de fonctionnement.

*Le niveau surveillance est hiérarchiquement supérieur aux deux autres, il émettra donc des ordres de forçage vers les niveaux inférieurs mais aussi des ordres directs vers la PO.*

- *Les sécurités de première urgence seront assurées par une logique câblée*
- *Les sécurités d'urgence inférieure seront traitées par la logique programmée (API)*

Dans la majorité des cas d'arrêt de sécurité, la difficulté principale est le traitement de la reprise après arrêt, ceci pouvant amener le concepteur à la mise en œuvre de grafcet spéciaux de reprise après un arrêt. La norme EN 1131-1 définit trois types de reprise.

### XXVI.1. Reprise a froid

Reprise de la configuration d'API et de son programme d'application après que toutes les données dynamiques (variables telles qu'image E/S, mémoires internes, temporisateurs, compteurs, etc. et contextes du programme) aient été ramenées à un état prédéterminé. Une reprise à froid peut être automatique (par exemple après une coupure de courant, une perte d'information dans la ou les parties dynamiques de la ou des mémoires, etc.) ou manuelle (par exemple bouton de réinitialisation, etc.).

### XXVI.2. Reprise immédiate

Reprise après une coupure d'alimentation intervenant pendant le laps de temps maximal fonction du processus alloué à la configuration d'API pour rétablir son fonctionnement comme s'il n'y avait pas eu de coupure d'alimentation. Toutes les informations d'E/S et toutes les autres données dynamiques ainsi que le contexte du programme d'application sont restaurée ou demeurent inchangés. L'aptitude à la reprise immédiate nécessite une horloge temps réel ou un temporisateur alimenté séparément pour déterminer le temps écoulé depuis la détection de la coupure d'alimentation et un moyen accessible à l'utilisateur pour programmer la durée maximale allouée en fonction du processus.

### XXVI.3. Reprise à chaud

Reprise après une coupure d'alimentation, avec un ensemble de données dynamiques prédéterminé et programmé par l'utilisateur et un contexte programme d'application prédéterminé par le système. Une reprise à chaud se caractérise par une signalisation d'état ou tout autre moyen apparenté mis à la disposition du programme d'application indiquant que l'interruption d'alimentation de la configuration d'API à été détectée en mode run.

La sécurité est une composante de la sûreté d'un système automatisé L'obtention d'un niveau de disponibilité élevé peut être incompatible avec la sécurité, c'est pourquoi la sûreté doit être analysée globalement pour aboutir au meilleur compromis. La sécurité doit être envisagée sous le double aspect de l'analyse des risques (gravité et probabilité d'apparition) et de la réglementation en vigueur.

**SURETE de FONCTIONNEMENT = SECURITE + DISPONIBILITE**

Nous nous intéresserons aux contraintes de sécurité que doit satisfaire la partie commande, comprenant tant la surveillance d'éventuelles défaillances que les actions à faire pour y remédier.

### XXVI.4. Surveillance du système

De l'étude de sécurité on dégage les tâches de surveillance (détection des défauts) que l'on souhaite confier à la partie commande et ayant pour objet le Processus, la PO ou la PC elle même (autodiagnostic).

Acquisition d'entrées de sécurité: c'est la tâche de surveillance la plus élémentaire confiée à la PC.

Calcul de défauts: a l'acquisition simple d'entrées peut s'ajouter un calcul plus ou moins complexe dont le résultat constitue la détection de défaut.

### XXVI.5. Actions de sécurité

Après la détection de défaillance la PC peut être chargée d'actions de sécurité de différents types.

- Alarme et signalisation: commande de voyants, gyrophares, sirène, éditions de messages ou/et d'historique de défauts.

- Commande directe d'actionneurs: généralement des interdictions absolues et directe de mouvements (équation des sorties).

- Evolution du système: la PC provoque des changements d'états du système vers un arrêt, une marche dégradée ou une marche de sécurité.

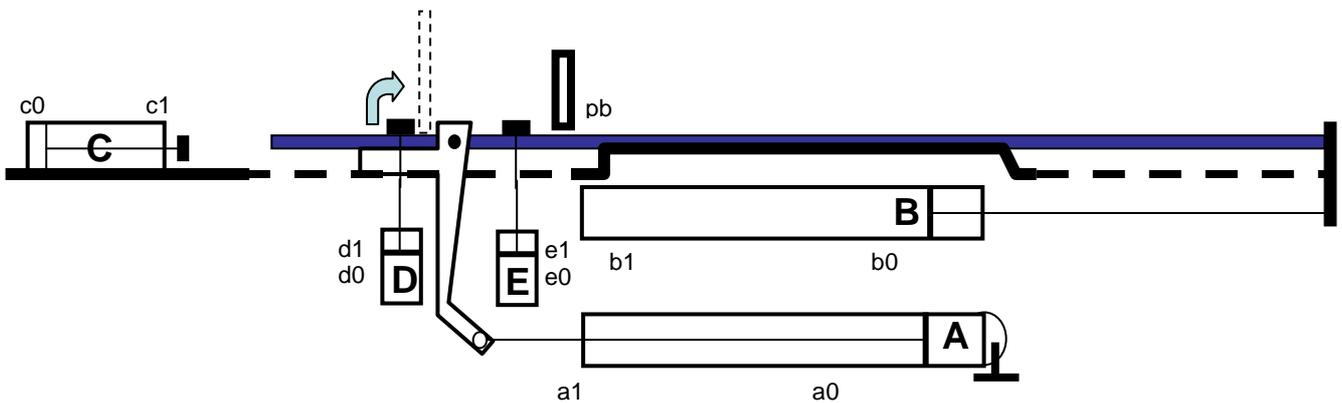
Si les conditions de sécurité à assurer par la PC sont logiques et ne comportent que des E/S TOR elles peuvent alors être spécifiées en grafcet.

La représentation du niveau de surveillance comportera au minimum un grafcet de SECURITE (G\_SEC) mais souvent associé à un ou plusieurs grafcet de surveillance (G\_SURV.n) de SPO.  
**Le grafcet de sécurité est le seul à être initialisé à la mise sous tension.**

## XXVII.EXEMPLE

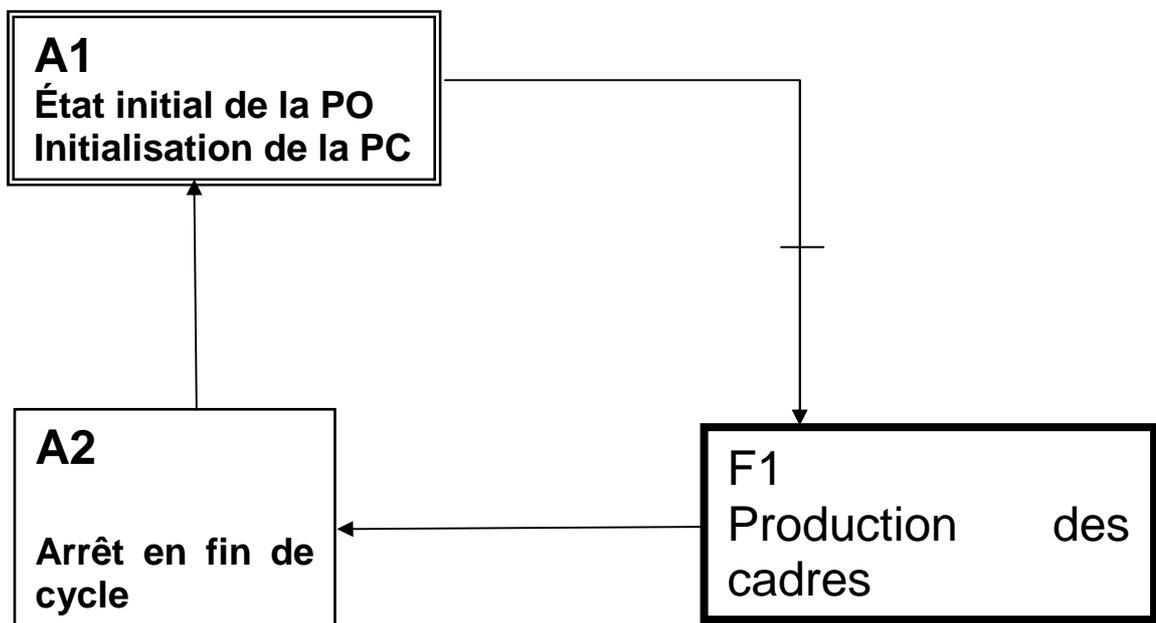
Machine à former des cadres aluminium pour valisette.

Schéma :



Gemma de base :

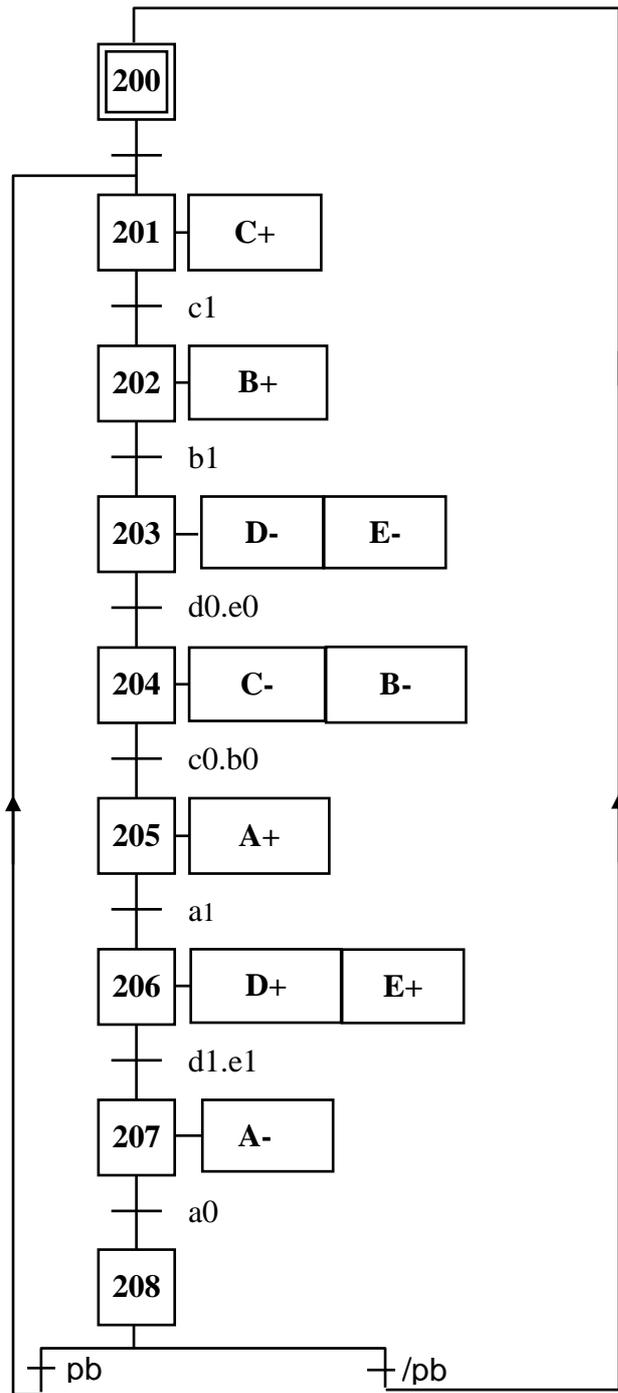
1° cas



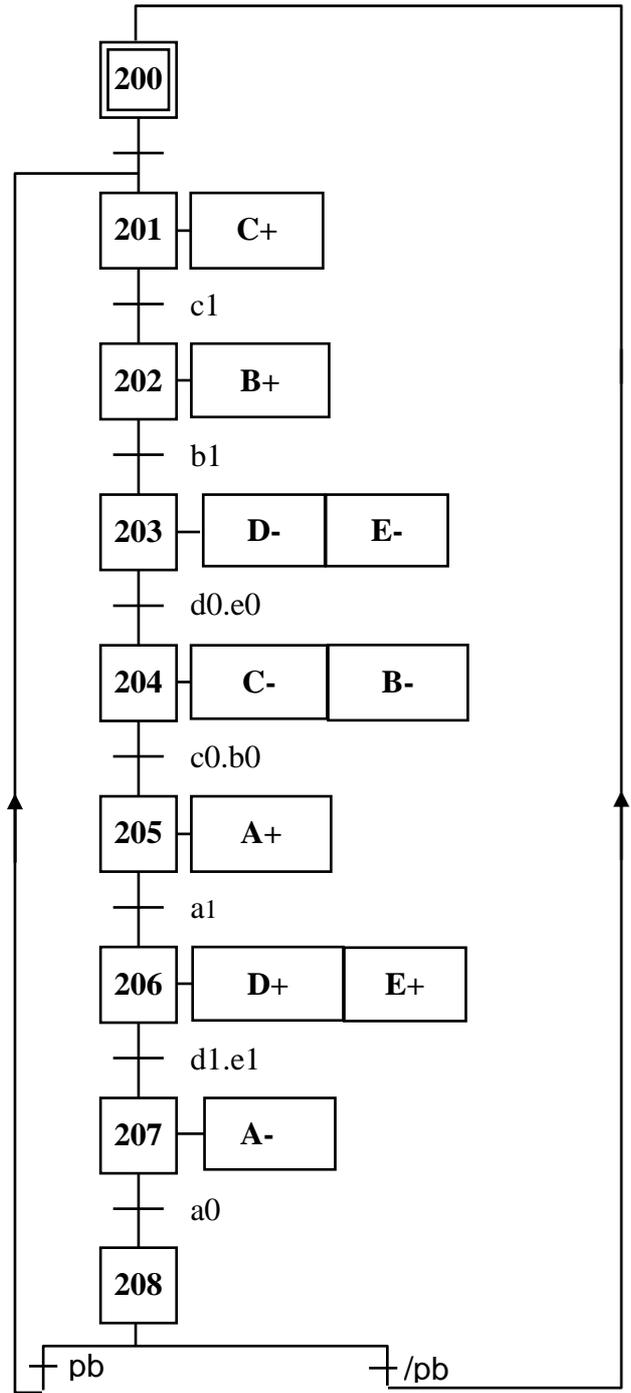
Dans le cas d'un système avec des modes de marches simplifiés, l'enrichissement de grafcet de base peut être envisagé.

Graficet de base :

1° cas



2° cas



2° cas

Modification des conditions de marches et d'arrêts du système.

Gemma modifié :

