



Le Grafcet

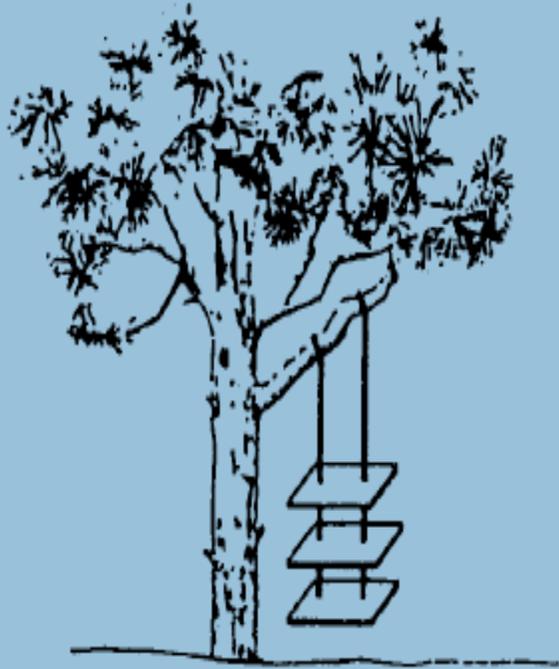
O. KAMACH

École Nationale des Sciences Appliquées de Tanger

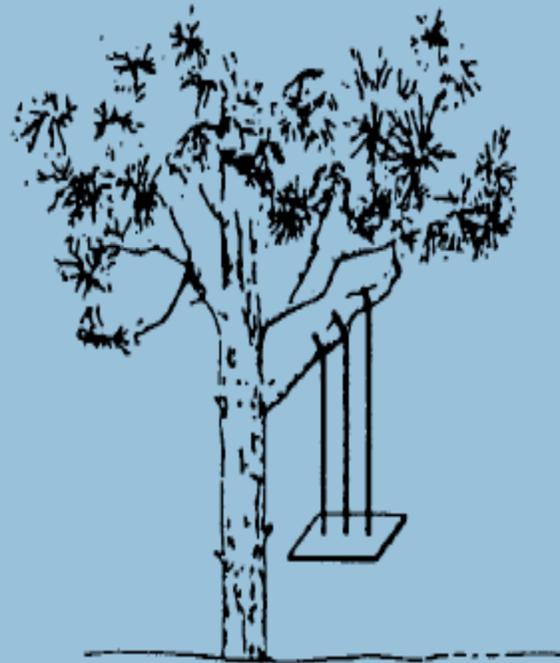
Bibliographie :

- ① Y. LECOURTIER, B. SAINT-JEAN : *Introduction aux automatismes industriels grafcet et logique électronique avec exercices et solutions*
- ② Groupe ADEPA : *Le Grafcet*
- ③ F. DEGOULANGE, R. LEMAITRE, D. PERRIN : *Automatismes : Grafcet-composants-fonctions logiques-schémas*
- ④ J.C.Bossy, D.MERAT : *Automatisme Appliqué*
- ⑤ S. Moreno, E. Peulot : *Le grafcet Conception – Implantation dans les Automates Programmables Industriels*
- ⑥ M. BLANCHARD : *Automatismes logiques : Grafcet ou réseaux de Petri*

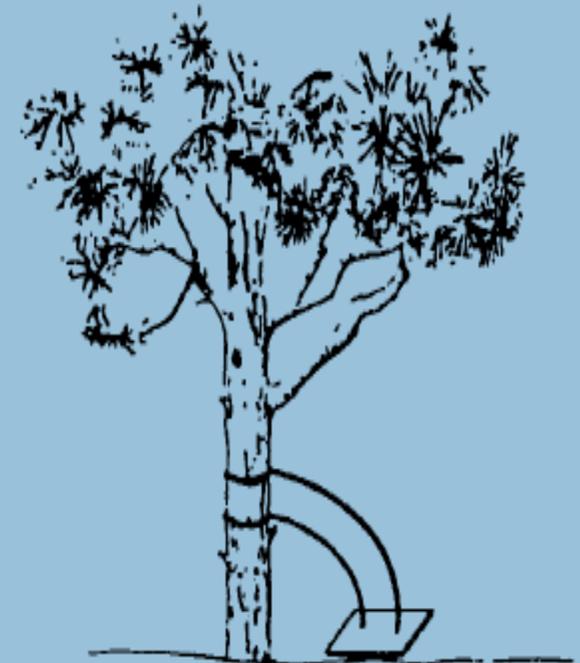
Introduction : Historique



1. Ce que demande le client.



2. Ce que prévoit le cahier des charges.



3. Ce qu'a compris le concepteur.

Introduction : Historique

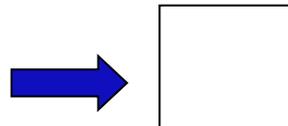
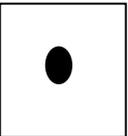
- la complexité croissante des automatismes industriels nécessite de nouveaux outils de modélisation.
- ✓ 1975 Le groupe Systèmes Logiques **de L'AF CET** a répondu à ce besoin en créant le **Grafcet**,
 - ✓ Equipement de Production Automatisée au sein de **l'ADEPA** à développer le Grafcet
 - ✓ Normalisation en France en Juin 1982 (NF C 03-190)
 - ✓ Une norme européenne a été consacrée au Grafcet (CEI 848 de 1988)
 - ✓ La version française de septembre 1995 (NF C 03-190) est la plus récente

Notions de base:

➔ Un Grafcet est destiné à représenter des automatismes logiques, c'est-à-dire des systèmes dans lesquels les informations ayant un caractère « tout ou rien ».

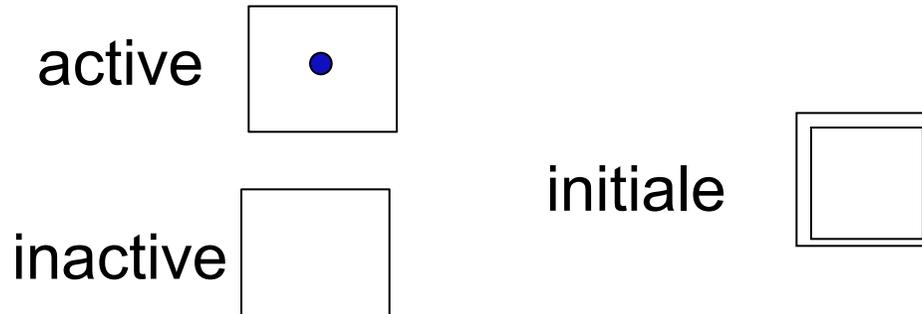
Un grafcet est un graphe qui comporte deux étapes de nœuds, les étapes et les transitions (un grafcet contient au moins une étape et une transitions). Des arcs orientés relient soit une étape à une transition, soit une transition à une étape.

➔ Une étape peut avoir deux états : elle peut être soit active (on représente ceci par une marque ou un jeton dans l'étape) soit inactive



Éléments de base: étapes

Une étape représente un état particulier du système à un moment donné de son cycle de fonctionnement.



Les étapes qui doivent être actives au moment de la mise en marche du système sont représentées par un double carré. On les appelle étapes initiales

Éléments de base: étapes

Un grafcet doit comporter au moins une étape initiale, cette étape correspond généralement à une situation de repos (exemple, « Arrêt dans un état initial, bacs vides, .. »).

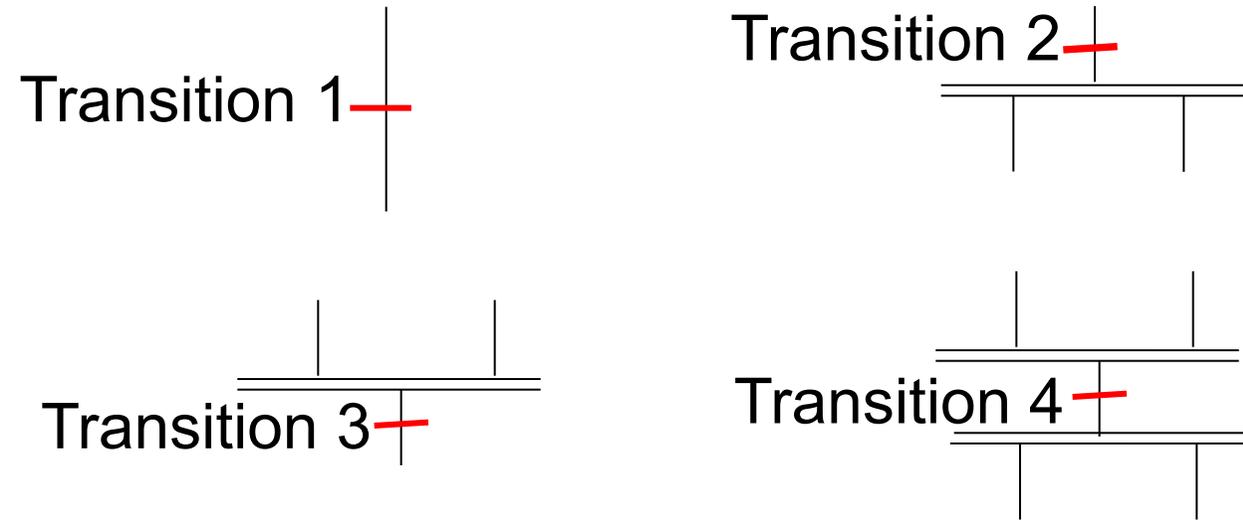
Elles doivent être actives au moment où l'on met le système en marche

- Aux étapes sont associées des actions, qui sont les sorties du grafcet

Eléments de base: transitions

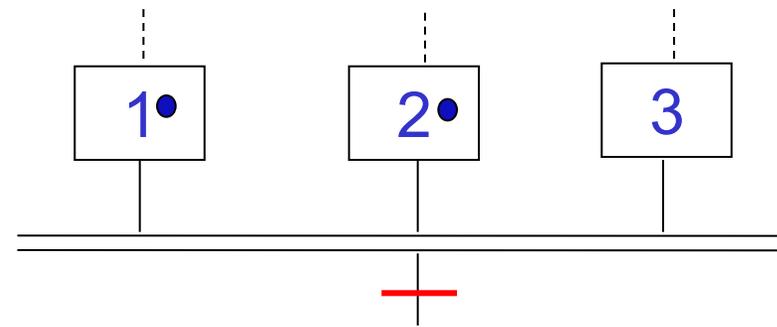
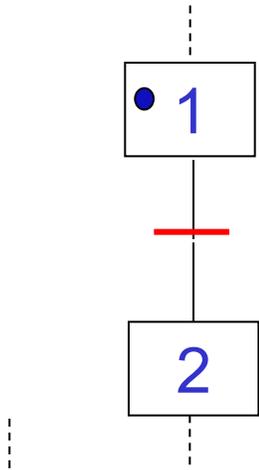
- une transition indique la possibilité d'évolution entre deux étapes;
- Il n'y a toujours qu'une seule transitions entre deux étapes;
- à chaque transition est associée une condition logique appelée réceptivité qui peut être soit vraie soit fausse.
- une réceptivité est une proposition logique. Elle est formée par l'apparition d'une combinaison de variables logiques en provenance du pupitre (consignes), des capteurs (comptes rendus) ou de variables internes à la partie commande (temporisateurs, compteurs,...).
- le symbole de transition est un trait (transition 1) mais ce trait doit être précédé d'un double trait lorsque deux ou plusieurs branches arrivent à cette transition (transition 2 et 4) et suivi d'un double trait lorsque deux ou plusieurs branches partent de cette transition (transition 3 et 4).

Éléments de base: transitions



une transition est soit validée soit non validée. Elle est validée lorsque toutes les étapes amont de cette transition sont actives. Elle dite non validée c'est au moins une étape de toutes les étapes amont de cette transition est non active

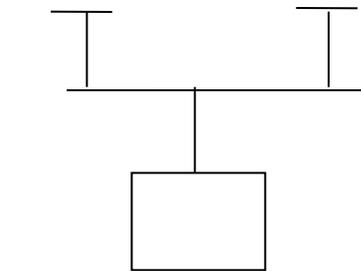
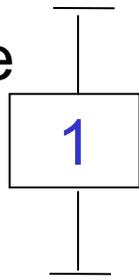
Éléments de base: transitions



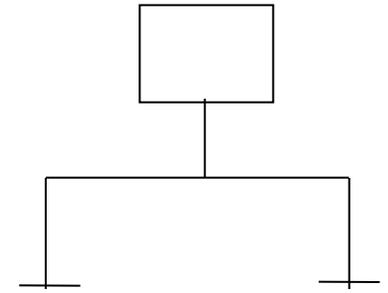
Éléments de base: liaisons orientées (ou arcs)

Les étapes et les transitions sont reliées entre elles par des liaisons. Celles-ci sont orientées et définissent l'ordre d'activation des étapes. L'évolution générale du Grafcet se fait du haut vers le bas. Les parties verticales allant de bas en haut doivent porter une flèche. L'entrante d'une étape (par où arrive une transition) est toujours sur son côté supérieur. La sortie d'une étape est toujours sur son côté inférieur. On parle également de côté amont et côté aval d'une étape

Liaison directe



conjonction ou



structure de choix
(distribution ou)

Remarque

- dans un Grafcet une étape peut n'avoir aucune transition d'entrée / ou aucune transition de sortie. De même une transition peut n'avoir aucune étape d'entrée ou aucune étape de sortie.

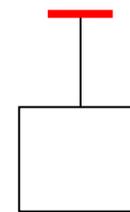
Une transition sans étape de sortie est appelée transition puits.

une transition sans étape d'entrée est appelée transition source
Elle est toujours franchissable.

Par contre une liaison orientée doit toujours avoir un nœud (transition ou étape) de départ et un nœud (étape ou transition) d'arrivée

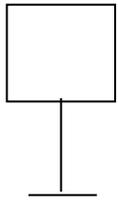


transition source

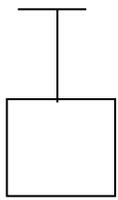


Test :

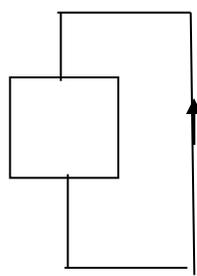
D'après les schémas ci-dessous, déterminer qu'ils sont les modèles qui correspondent à un Grafcet et ceux qui ne le sont pas?



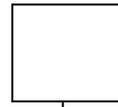
(1)



(2)



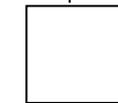
(3)



(4)



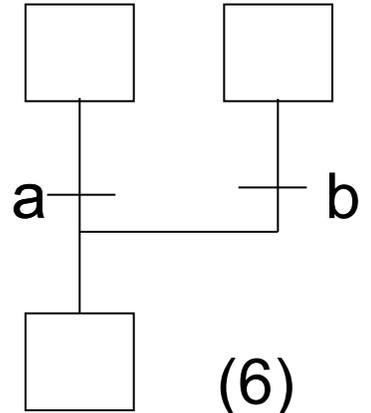
a



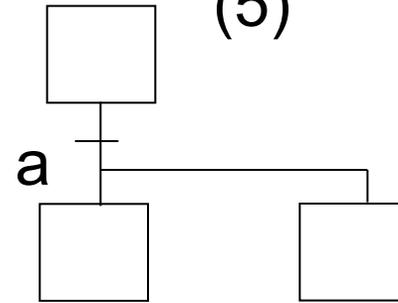
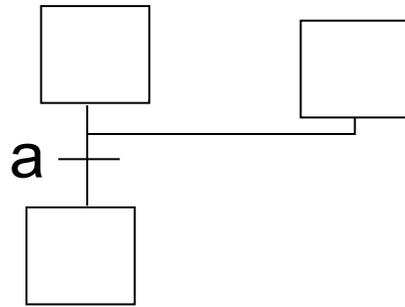
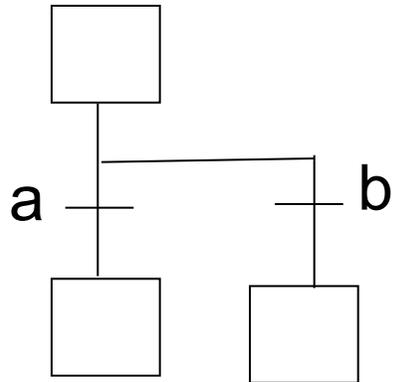
b



(5)



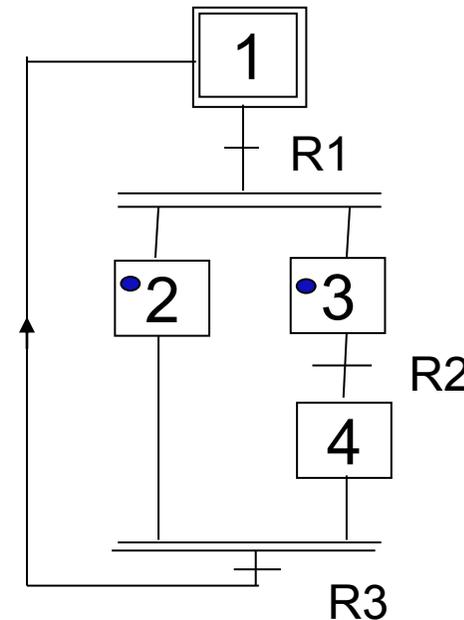
(6)



Evolution de la situation :

L'ensemble des étapes actives ou non à un instant donné, définit la situation à cet instant. Une situation correspond à un état du système. L'évolution de la situation se fait par franchissement de transition. Afin de faciliter le repérage, chaque étape porte son propre numéro. lorsqu'on désigne une étape, on fait précéder ce numéro de la lettre Majuscule. La variable X_i (variable booléenne) est = 1 lorsque l'étape i est active. $X_i = 0$ lorsqu'elle est inactive

$$X_1 = X_4 = 0 \text{ et } X_2 = X_3 = 1$$

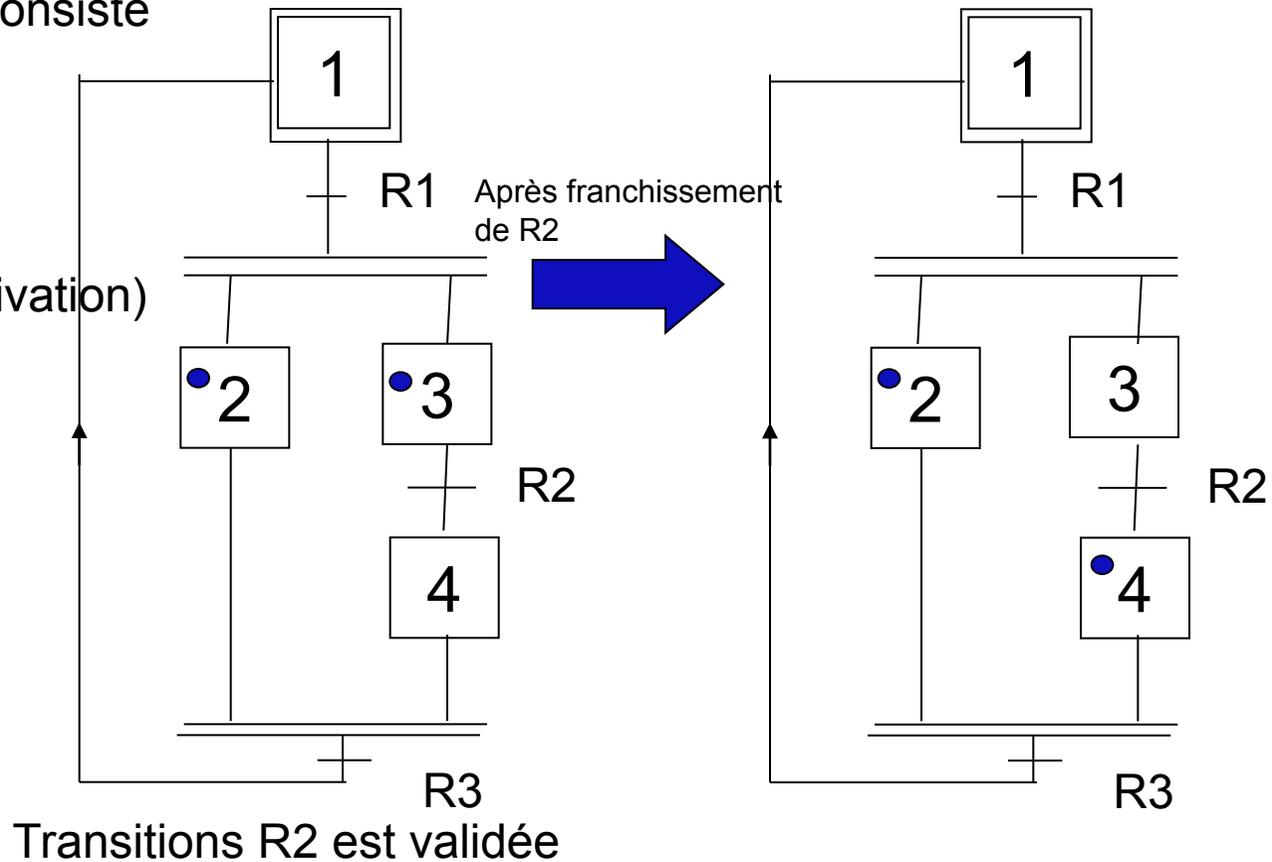


Transition franchissable:

- une transition est franchissable si et seulement si les deux conditions suivantes sont vérifiées :
- la transition est validée, c'est-à-dire, toutes les étapes qui précèdent la transition sont actives;
- la réceptivité associée est vraie.

Transition franchissable : exemple

Le franchissement d'une transition consiste à désactiver toutes les étapes immédiatement précédentes et activer toutes les étapes immédiatement suivantes. Ces opérations (activation et désactivation) sont indissociables et effectuées simultanément. Un franchissement à une durée infiniment petite



Règles de franchissement :

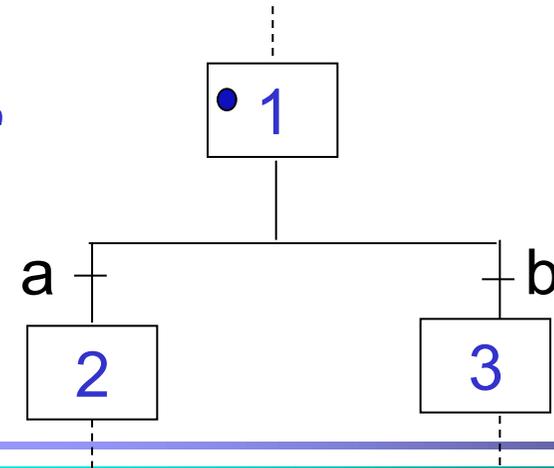
Règles de franchissement :

Règle 1 : Toute transition franchissable est immédiatement franchie

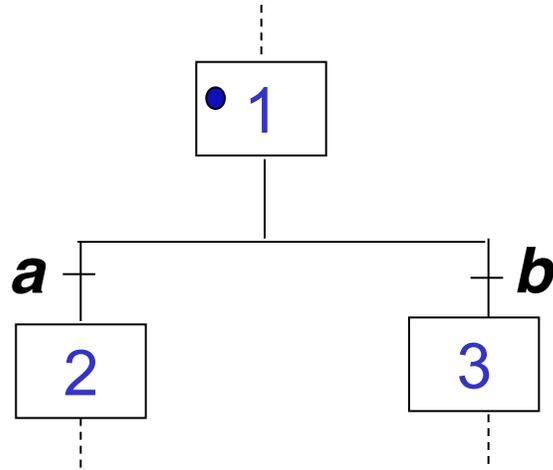
Règle 2 : Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies.

Règle 3 : Lorsqu'une étape doit être simultanément activée et désactivée, elle reste active.

Commentaire sur la règle 2 : exemple



Commentaire sur la règle 2



On franchira seulement la transition associée à la réceptivité **a** si l'on a l'un des deux cas suivants

- 1) $a=1, b=0$ et l'étape 1 est active
- 2) $a=0, b=0$ quand l'étape 1 devient active et que **a** prend la valeur 1 avant **b**.

On franchira les deux transitions simultanément si on a les deux cas suivants :

- 1) $a = b = 1$ et l'étape 1 est active;
- 2) $a = 0, b = 0$ quand l'étape 1 devient active et que **a** et **b** prennent la valeur 1 simultanément.

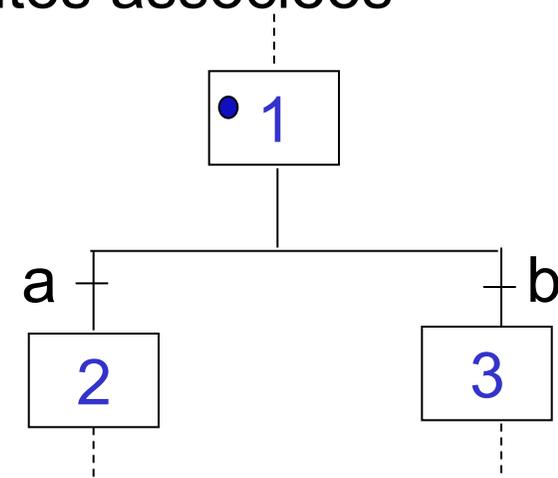
Ce cas de figure présente un **conflit**

Commentaire sur la règle 2

Un conflit désigne le cas où la validation des transitions a et b dépend d'une place commune et où les réceptivités associées peuvent être simultanément vraies

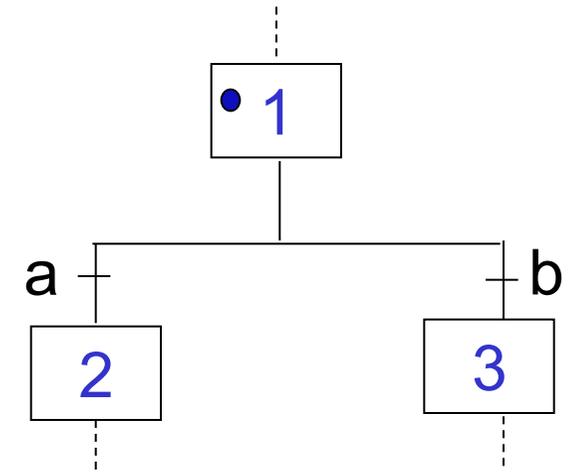
1^{ère} interprétation de la figure ci après

L'étape 1 correspond à la disponibilité d'un tronçon de voie ferrée, T, sur lequel convergent deux voies T_a et T_b . Quand un véhicule arrive près de T sur la voie T_a . La variable a prend la valeur 1. l'étape 1 étant active la transition a est alors franchie. La situation où l'étape 2 est active correspond à l'utilisation du tronçon T par le véhicule venant de T_a



1^{ère} interprétation de la figure ci après

C'est un véhicule venant de T_b était arrivé avant, c'est la transition b qui aurait franchie. L'arrivée simultanée d'un véhicule sur chacune des voies T_a et T_b étant considérée comme impossible, le concepteur a pu établir ce grafcet en pensant simplement que le premier arrivé utiliserait la voie T . Mais que se passera t-il si un véhicule arrive sur T_a puis un autre sur T_b avant que le tronçon T ne soit libre

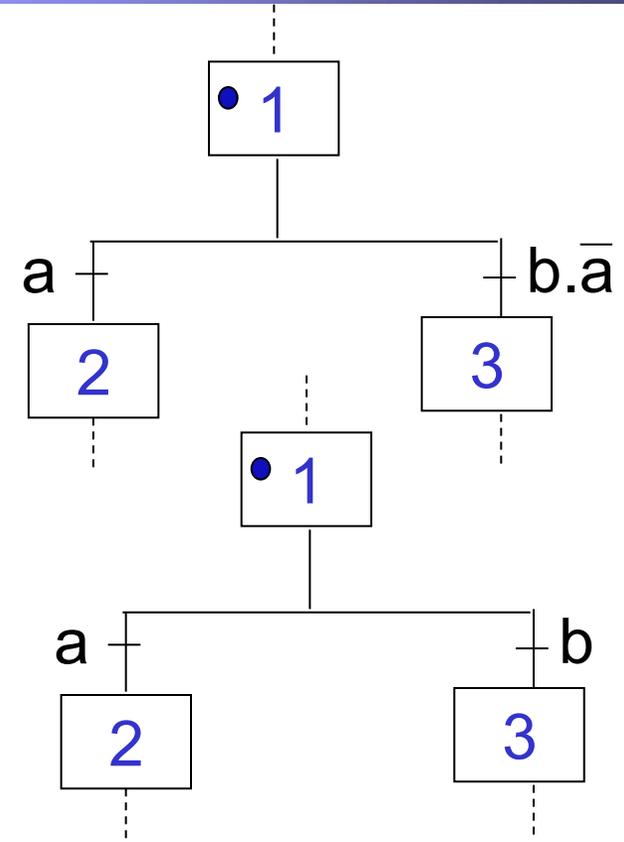
**Comment éviter ce problème : conflit ?**

Comment éviter ce problème : conflit ?

donner la priorité à l'un des deux transitions

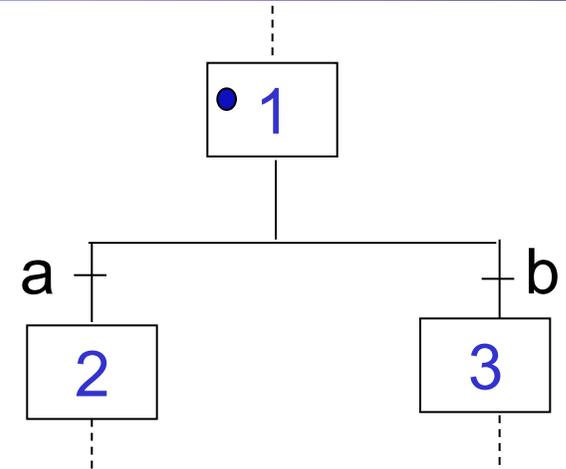
2^{ème} interprétation de la figure ci après

Supposons un four dont la disponibilité est représenté par l'étape 1. Ce four peut traiter un lot de pièces provenant d'un atelier A (étape 2) ou un lot de pièces provenant d'un atelier B (étape 3). La présence de ces deux lots est respectivement signalée par les variables a et b . Mais s'il y a deux lots présents simultanément, un venant de chaque atelier, le four est suffisamment grand pour les traiter en même temps.



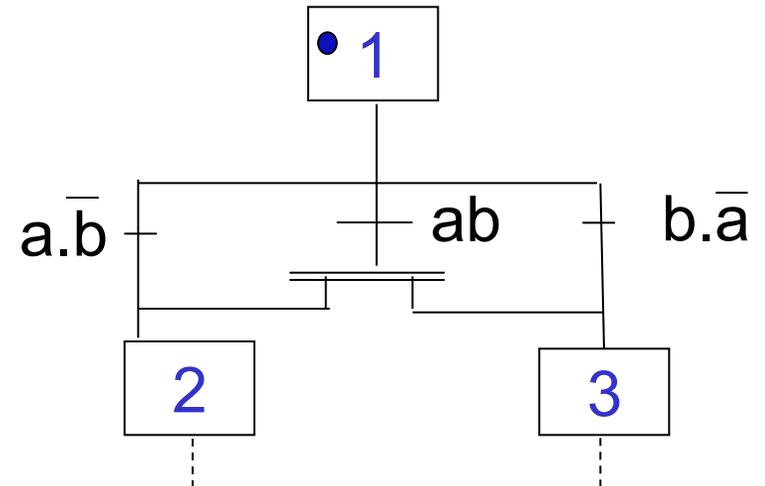
Comment éviter ce problème : conflit ?

Pour éviter le conflit d'une part et de représenter la 2^{ème} interprétation d'autre part, on peut transformer la figure ci-contre par le schéma ci-dessous



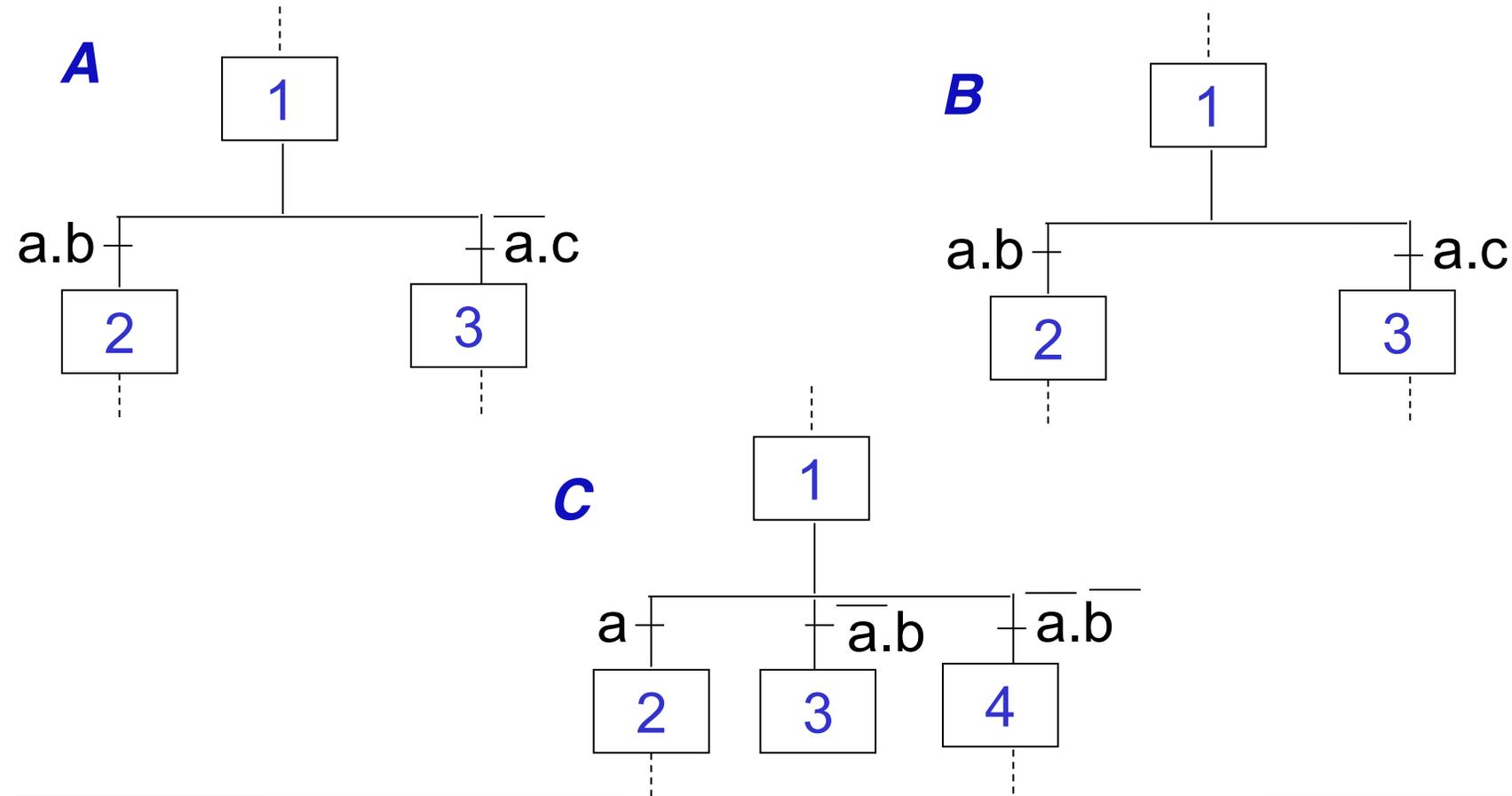
⋮

Recommandation 1 : Eviter tout conflit sur un grafcet



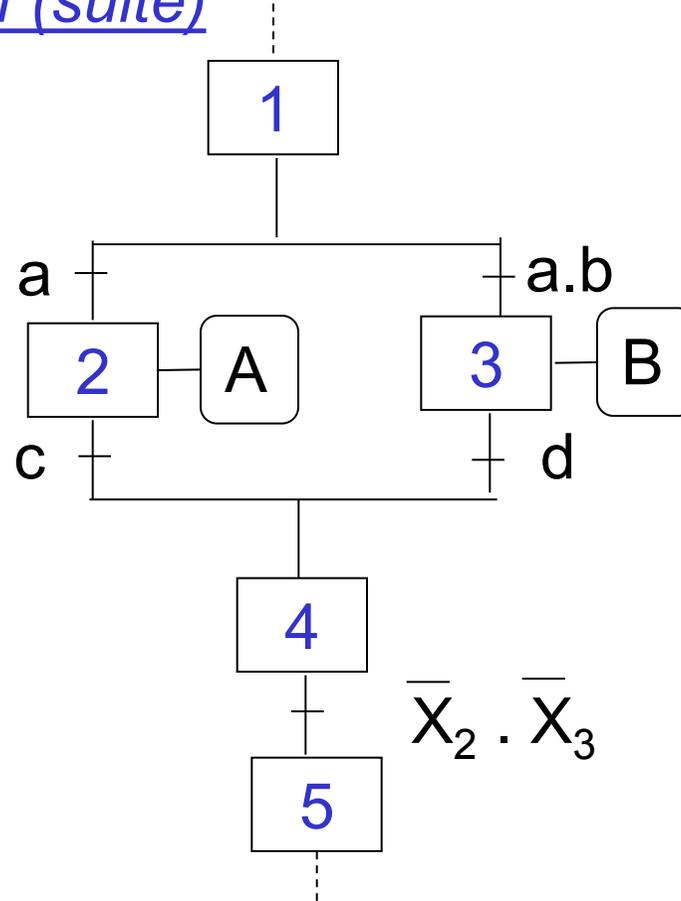
Exercice d'application

Les exemples de la figure ci-dessous correspondent –ils à des conflits



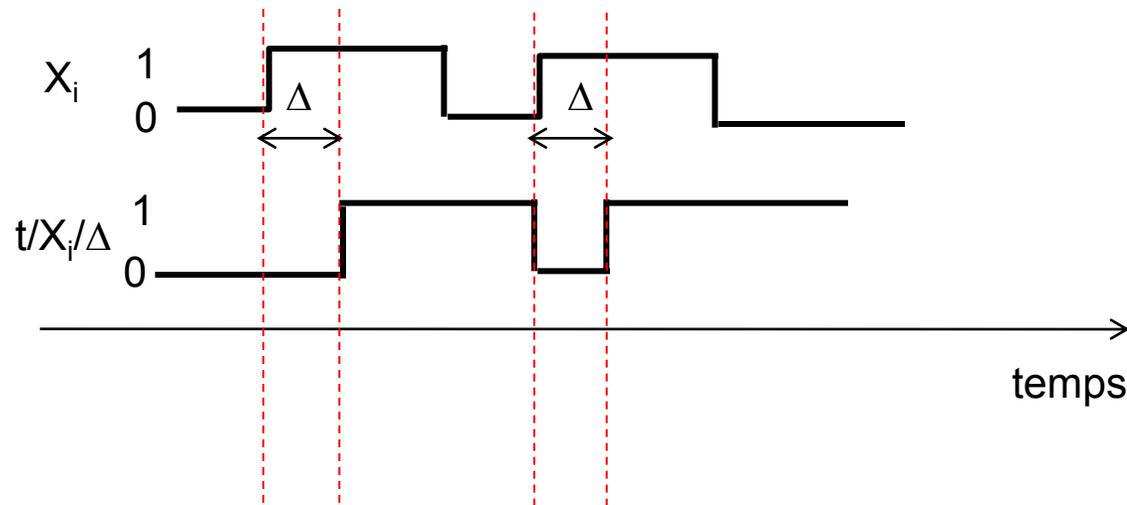
Exercice d'application (suite)

D



Prise en compte du temps :

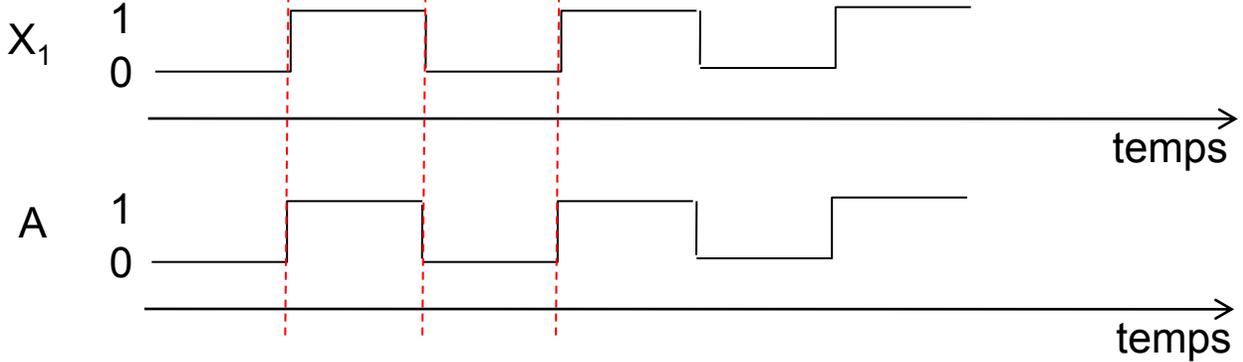
Définition : la variable $t/X_i/\Delta$ est une variable booléenne qui vaut 1 si et seulement si il s'est écoulé un temps au moins égal à Δ depuis la dernière fois que l'étape i est passé de l'état inactif à l'état actif.



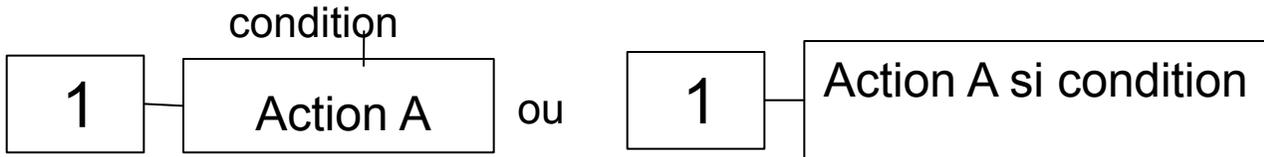
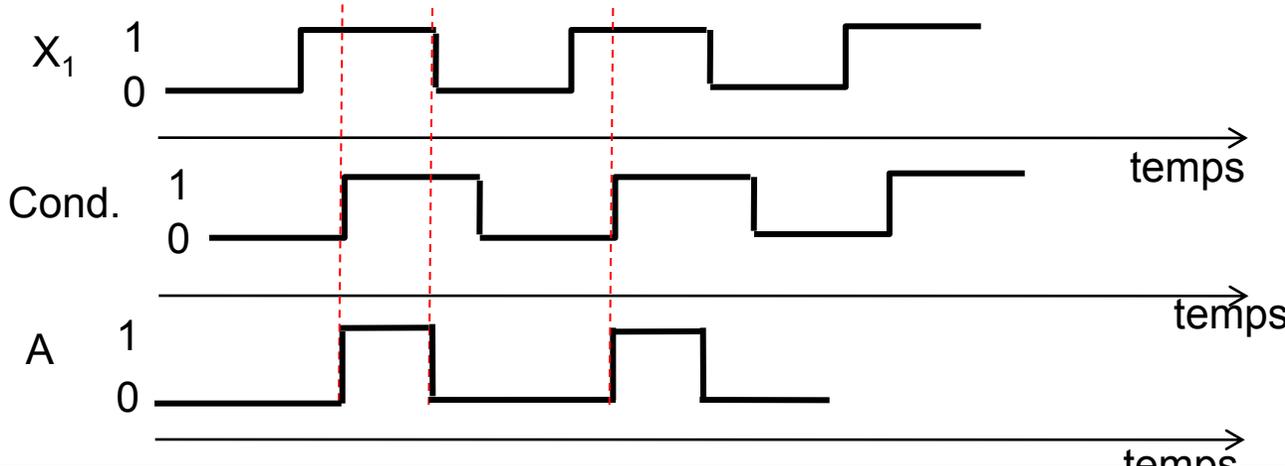
Actions et sorties :

- à chaque étape on peut lui associer une ou plusieurs actions.
 - Il se peut également que aucune action ne soit associée à une étape
 - une action donnée peut être associée à plusieurs étapes.
 - par défaut les actions sont produites tant que les étapes auxquelles sont associées sont actives (ce sont des actions continues)
 - les actions peuvent en outre être conditionnelles, mémorisées, ou encore limités dans le temps ou au contraire retardées.
-
- ❑ Il existe trois grandes classes d'action :
 - ✓ action à niveau (continues)
 - ✓ actions conditionnelles
 - ✓ actions mémorisées

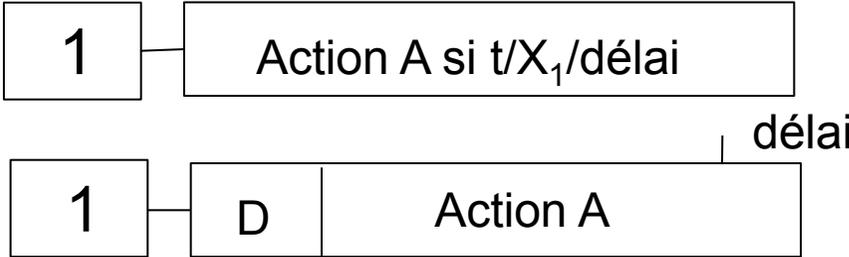
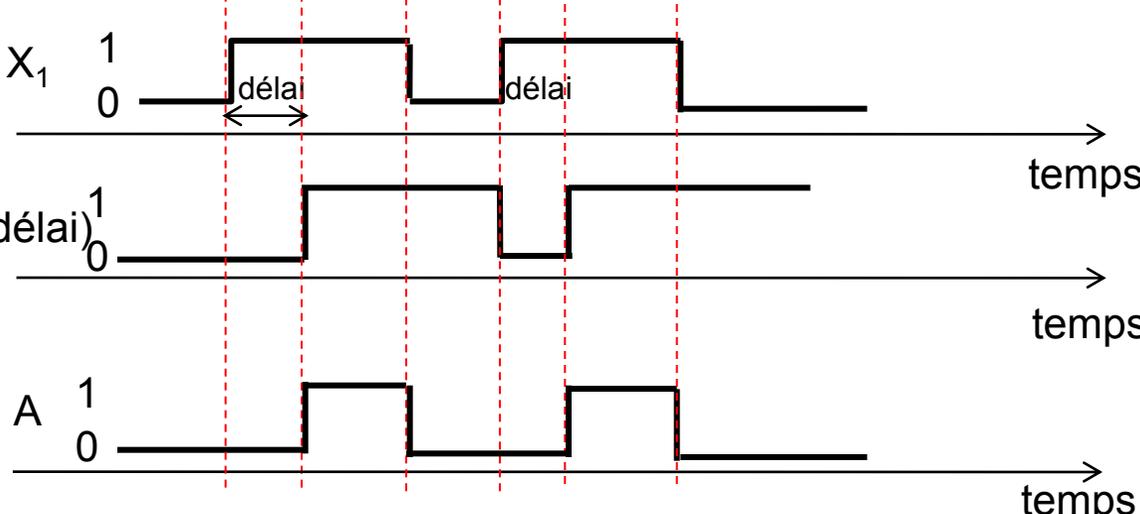
Actions et sorties : action à niveau

Représentation NF C 03-190 Sept 95 Norme UTE C 03-191	
Principe	L'action est produite tant que l'étape associée est active
Diagramme temporel	
Equation booléenne	$A = X_1$

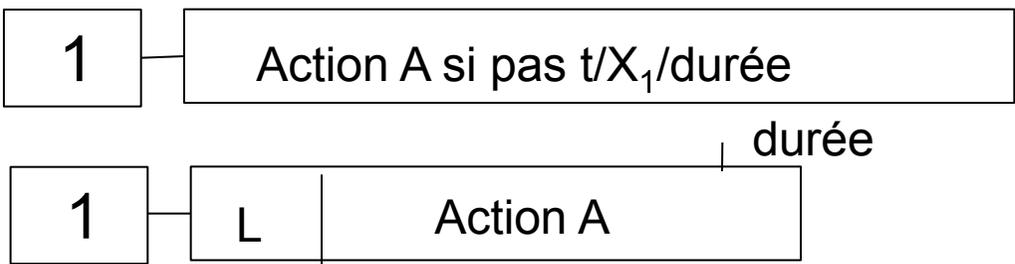
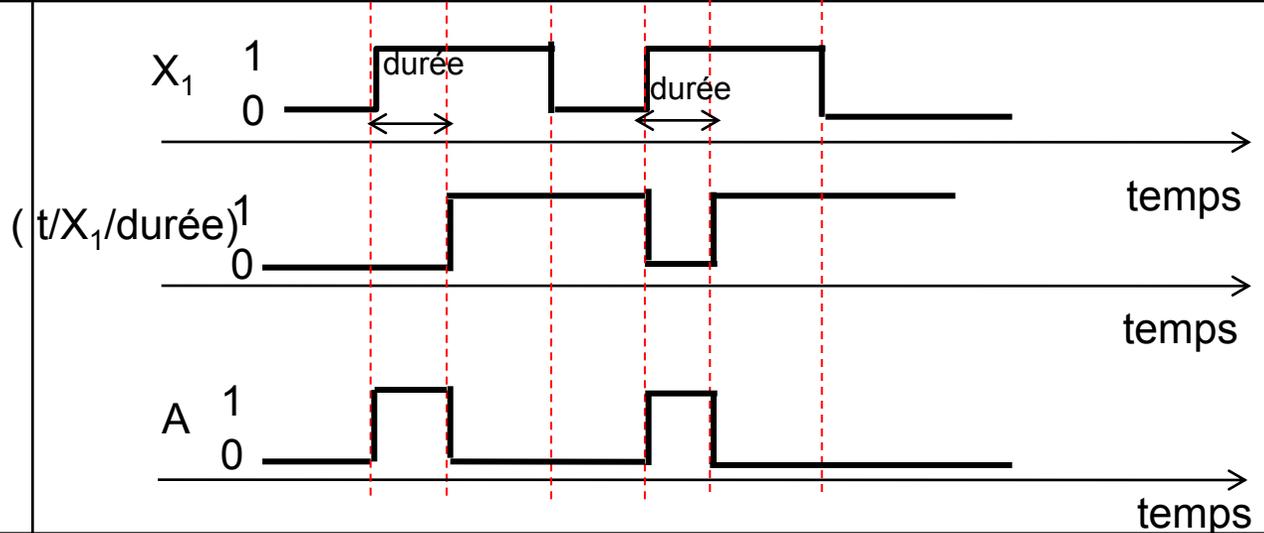
Les actions conditionnelles sont eux même scindées en trois actions particulières.

<p>Représentation NF C 03-190 Sept. 95</p>	
<p>Principe</p>	<p>L'action est produite tant que l'étape associée est active et que la condition associée est vraie</p>
<p>Diagramme temporel</p>	
<p>Equation booléenne</p>	$A = X_1 \cdot \text{Cond}$

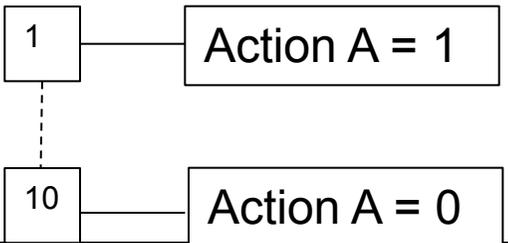
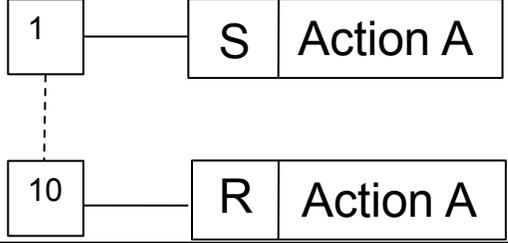
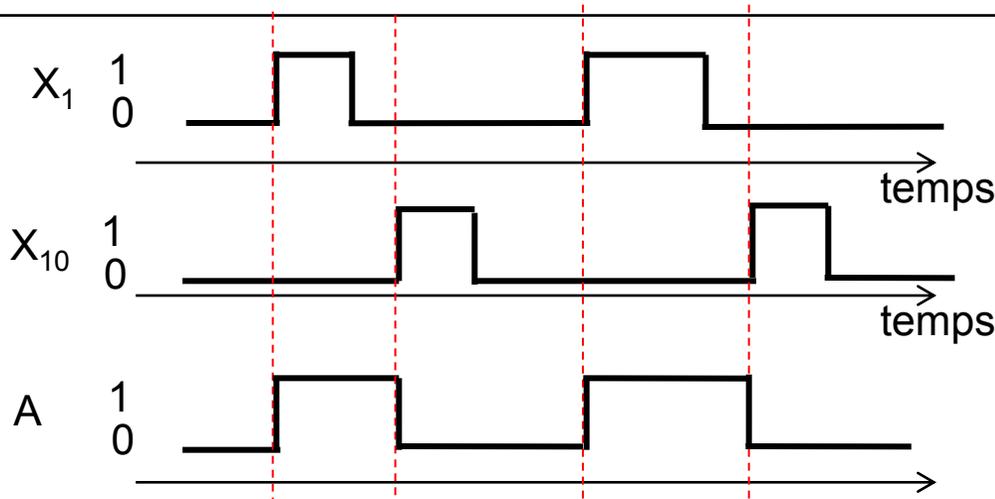
Actions et sorties : action conditionnelle retardée

<p>Représentation NF C 03-190 Sept. 95</p> <p>Norme UTE C 03-191</p>	
<p>Principe</p>	<p>L'action est produite après un certain délai suite à l'activation de L'étape associée, et ensuite, tant que cette étape est active</p>
<p>Diagramme temporel</p>	 <p>$D = (t/X_1/délai)$</p>
<p>Equation booléenne</p>	<p>$A = t/X_1/délai \cdot X_1$</p>

Actions et sorties : action limitée

<p>Représentation NF C 03-190 Sept. 95</p> <p>Norme UTE C 03-191</p>	
<p>Principe</p>	<p>L'action est produite pendant une certaine durée suite à l'activation de l'étape associée</p>
<p>Diagramme temporel</p>	
<p>Equation booléenne</p>	$A = \text{non}(t/X_1/durée) \cdot X_1$

Actions et sorties : action mémorisée

<p>Représentation NF C 03-190 Sept. 95</p> 	<p>Norme UTE C 03-191</p> 
<p>Principe</p>	<p>L'action est produite dès que l'étape X_1 est activée jusqu'au moment où l'étape X_{10} est activée</p>
<p>Diagramme temporel</p>	

Réceptivités

Une réceptivité peut être soit une condition logique, soit un événement et une condition.

condition

Une condition noté C_i , est une fonction booléenne des variables externes et des variables internes

Exemple : condition

$$C_1 = \bar{a} + b.X_4$$

$$C_2 = (t/4/10s) + b.c$$

Événement

Un événement noté E_i est un front montant ou descendant
D'une variable externe (ou d'une fonction de variables
externes

Réceptivités**Événement : exemple**

$$E_1 = \uparrow a$$

$$E_2 = \downarrow (a+b)$$

$$E_1 = \uparrow (t/8/10mn)$$

Événement et condition

Par l'exemple, l'événement peut être $\uparrow a$ et la condition $(b+X_i)$. On a donc : $R_i = \uparrow a.(b+X_i)$.

Ce troisième cas est le plus général, les deux premiers étant des Cas particuliers. En effet, une réceptivité R_i peut toujours s'écrire $R_i = E_i.C_i$. En utilisant

Réceptivités

Evénement et condition

a) La condition « toujours vraie », notée $C_i = 1$, qui est associée aux Réceptivités R_i qui ne dépendent que d'un événement externe E_i ,
Par exemple $R_1 = E_1$ signifie que $C_1 = 1$. donc

$$R_1 = E_1 \quad \longleftrightarrow \quad R_1 = E_1 \cdot 1$$

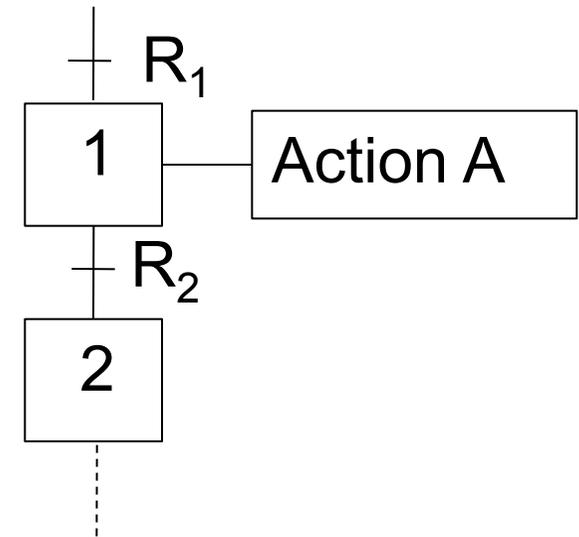
b) l'événement « toujours occurrent », noté e , qui est associé aux réceptivités R_i qui ne dépendent que d'une condition C_i . Par exemple

$R_1 = C_1$ signifie que $E_1 = e$, donc

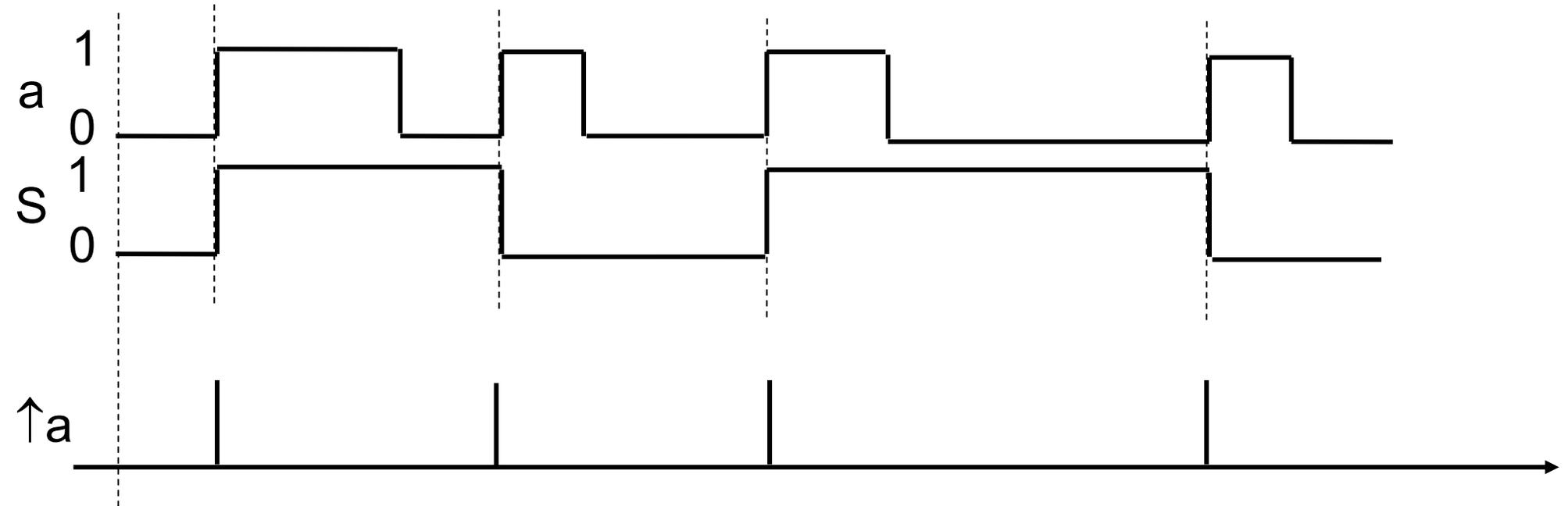
$$R_1 = C_1 \quad \longleftrightarrow \quad R_1 = C_1 \cdot e$$

Stabilité d'une étape

Supposons que la réceptivité R_2 soit déjà vraie au moment de l'activation de l'étape X_1 . La transition associée est validée dès cette activation et donc immédiatement franchie. Le temps d'activation de l'étape X_1 est infiniment petit : l'étape X_1 est dite instable



Ce qui compte dans le Grafcet au niveau automate, c'est moins le temps de cette activation que la possibilité pour le programme de produire l'ordre qui est associé à l'étape X_1 .

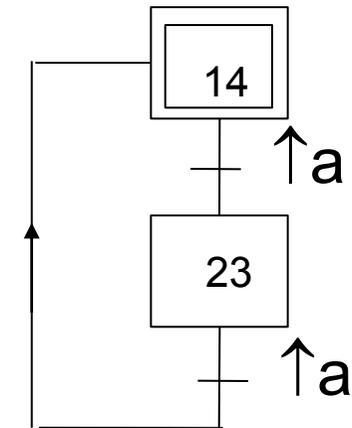
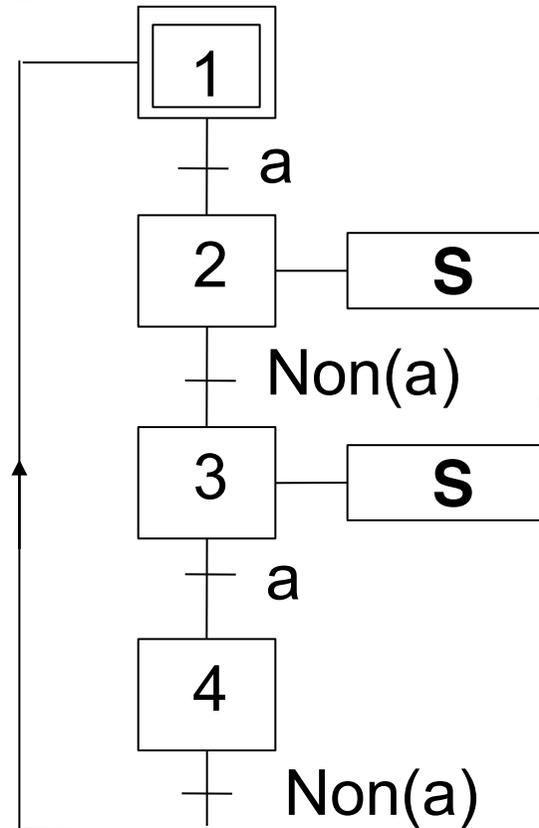
Application des fronts

Le système a une entrée qui est a et une sortie qui est S .

La figure ci-dessus représente un exemple de chronogramme. L'instant Initial ($a = S = 0$) est représenté par un trait hachuré

Application des fronts

ce système est décrit dans le grafcet de la figure ci dessous



Propriété

$$\triangleright \uparrow a = \downarrow \bar{a}$$

$$\triangleright \uparrow a.a = \uparrow a$$

$$\triangleright \uparrow a.\bar{a} = ?$$

$$\triangleright \downarrow a.\bar{a} = ?$$

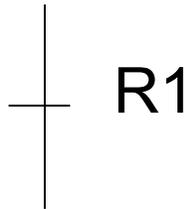
$$\triangleright \downarrow a.a = ?$$

$$\triangleright \uparrow a.\uparrow a = ?$$

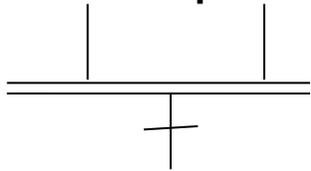
$$\triangleright \uparrow a.\uparrow \bar{a} = ?$$

Structure de base :

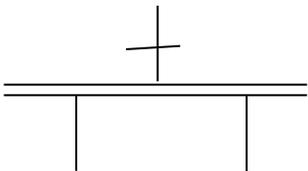
Les structure de base les plus utilisées sont représentées ci-dessous



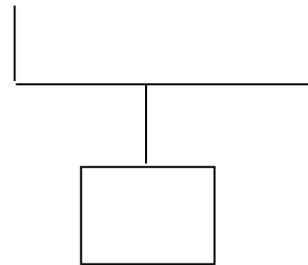
structure séquentielle



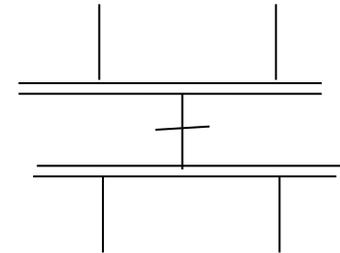
structure parallélisme



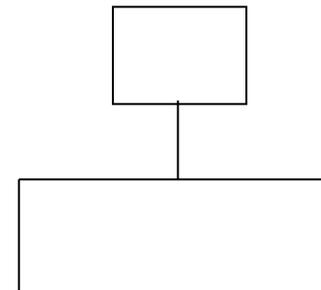
structure synchronisée



Jonction ou



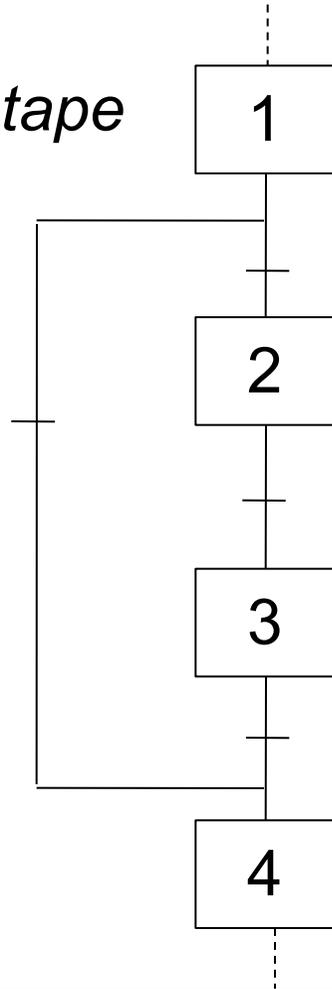
structure de rendez-vous



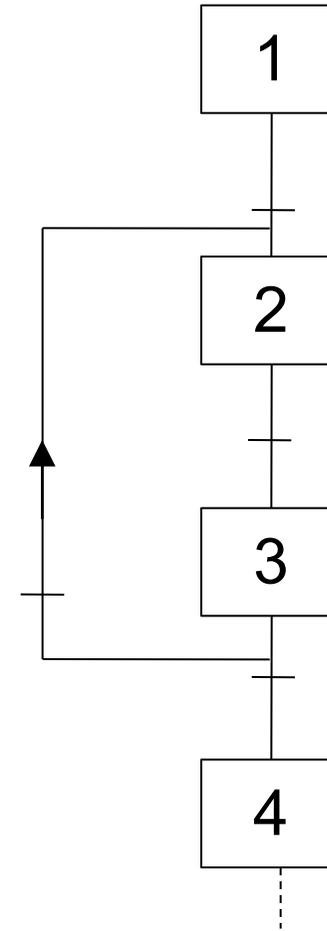
structure de choix
(distribution ou)

Structure de base :

Saut d'étape



Reprise de séquence

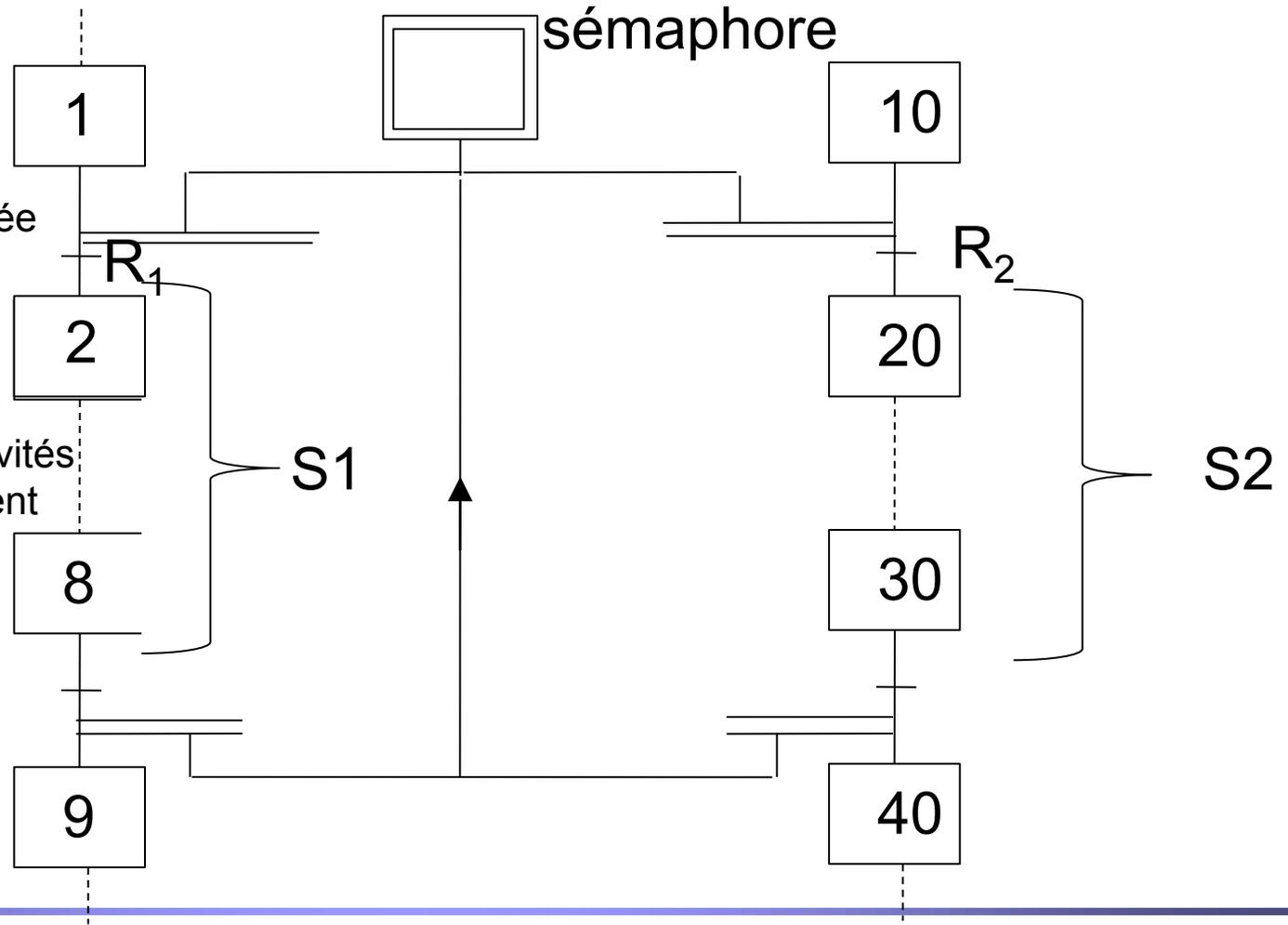


Structure de base : Ressource critique (sémaphore)

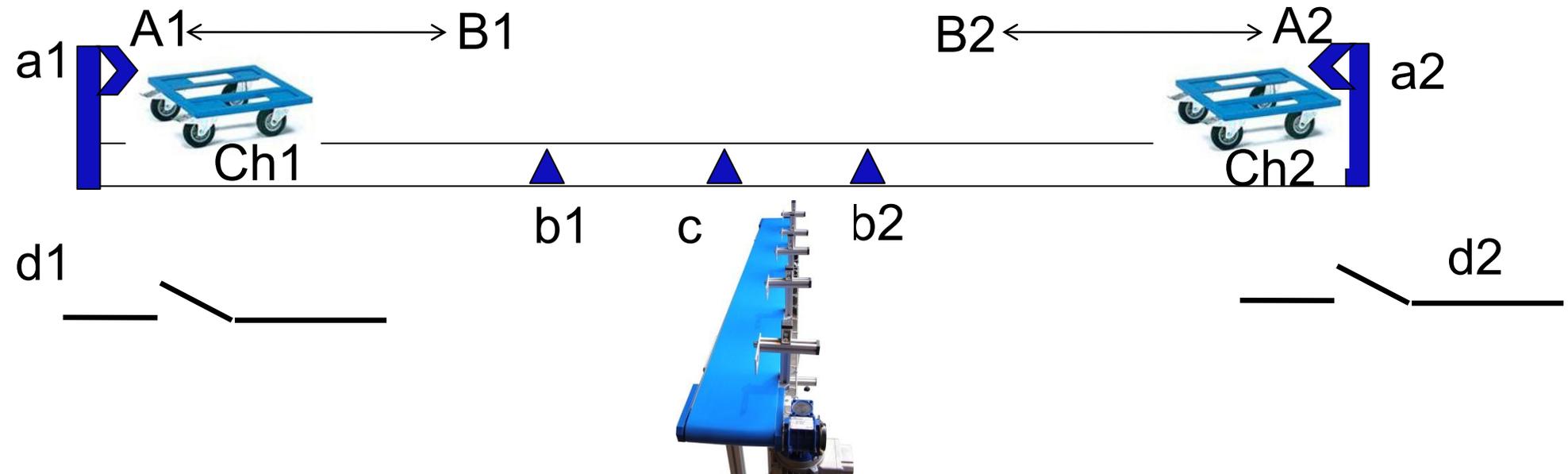
Le sémaphore est un mécanisme basé sur l'emploi d'une synchronisation ensuite d'un parallélisme et d'une étape initiale. Il permet de rendre deux branches réellement séquentielles ou de protéger deux activités d'une exécution simultanée car elles ne doivent en aucun cas être parallèles (voir figure ci-dessous)

Structure de base : Ressource critique (sémaphore)

Par contre l'ordre de l'exécution des activités (S1 avant S2 ou le contraire) importe peu. C'est la première activité sollicitée qui sera exécutée la première si la ressource est libre. L'autre devra attendre que cette ressource critique se libère pour continuer. Les deux réceptivités R_1 et R_2 doivent être mutuellement exclusives afin de permettre l'évolution soit de S1 soit de S2

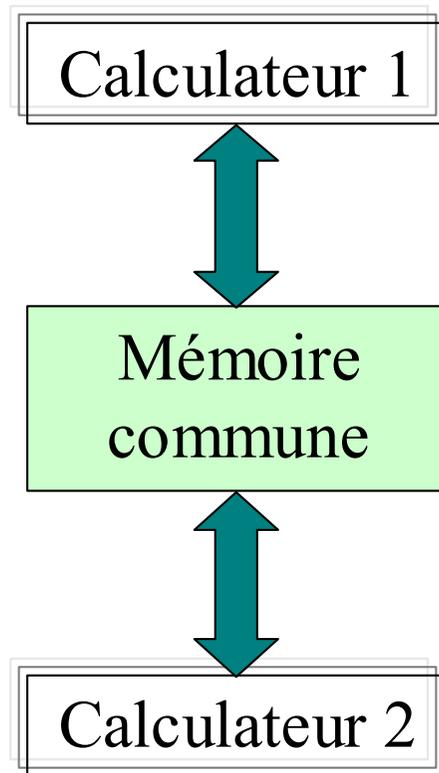


Exemple d'application 1: Ressource critique (sémaphore)



Cahier des charges : Au fon du puits de mine, un mineur remplit un chariot Ch_i ($i = 1, 2$). Quand il est plein (le chariot), il (le mineur) appuie sur un bouton poussoir d_i . Immédiatement, le chariot se déplace dans la direction B_i jusqu'au poste de déchargement, composé d'un tapis roulant en mouvement continu, et d'un vérin V qui retourne la benne. Si le poste de déchargement est libre, le chariot avance jusqu'au capteur c , est déchargé puis s'en retourne et a_i . Si le poste est occupé, il attend son tour en b_i . Le poste de déchargement, commun à plusieurs voies, n'est utilisable que par une voie à la fois. Dans l'exemple ci-dessus le poste de déchargement représente la ressource critique.
 Traiter le cas de 2 voies (pas nécessairement de la même longueur)

Exemple d'application 1: Ressource critique (sémaphore)



Une mémoire commune

Deux calculateurs:

N'a pas besoin de la mémoire

Demande la mémoire

Utilise la mémoire

Macroétape

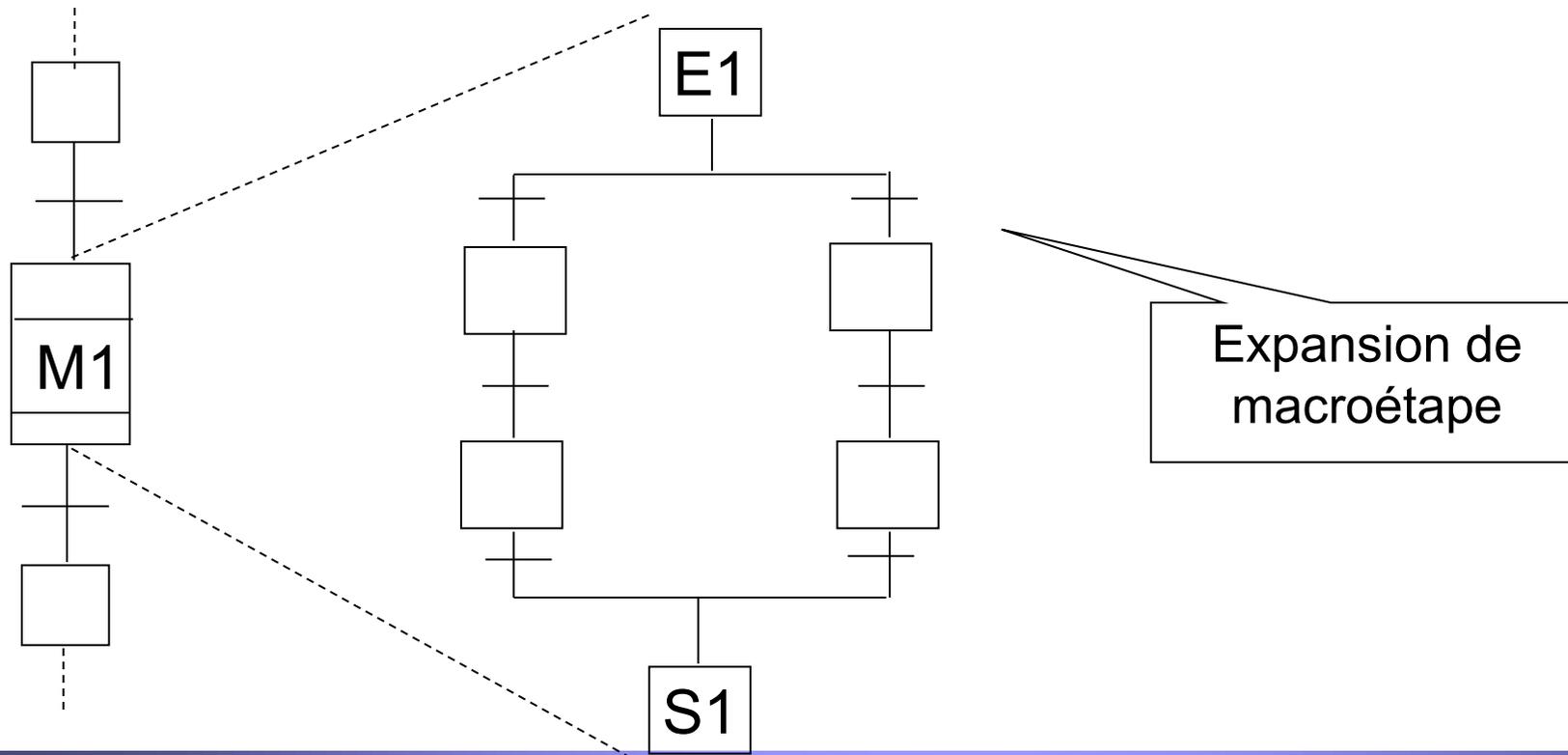
Déf : Une macroétape et son expansion répondent aux règles suivantes :

- 1) Une expansion de macroétape n'a qu'une étape d'entrée
- 2) (noté E) et qu'une étape de sortie (notée S).
- 3) L'étape de sortie de l'expansion de la macroétape participe à la validation des transitions en aval, conformément à la structure du grafcet contenant cette macroétape.
- 4) Il n'existe aucune liaison orientée qui arrive sur l'expansion de macroétape ou qui en parte.

Macroétape

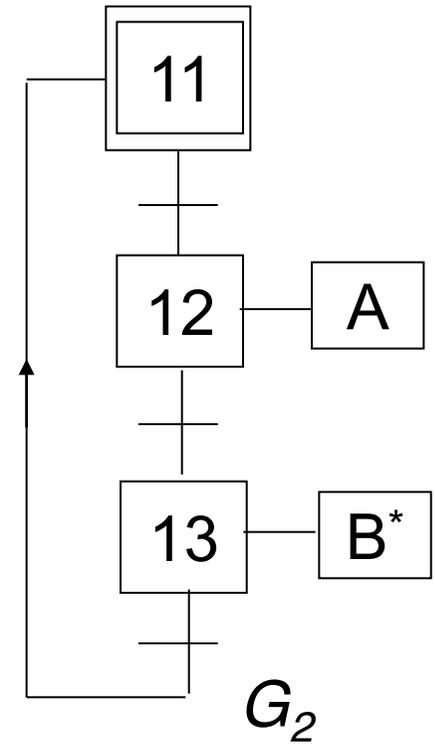
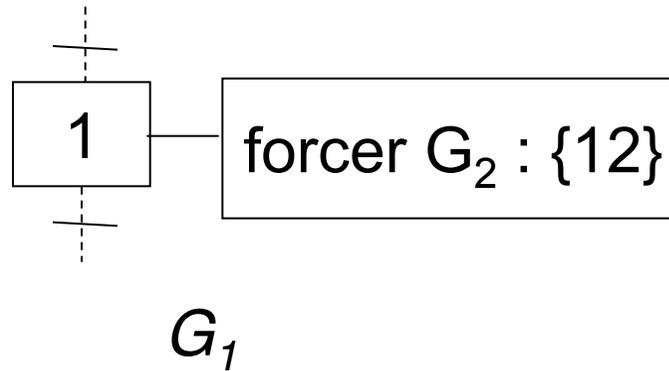
Une macroétape est représenté par un carré partagé en 3 parties par 2 traits horizontaux dans le graphisme normalisé.

Une macroétape notée 5/M30 est représenté sur la figure ci-dessous



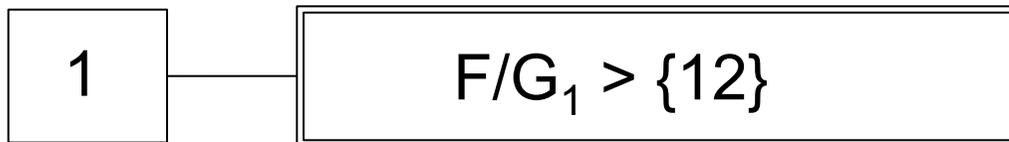
Macroactions

Forçage :



Cette macroaction est illustrée sur la figure ci-contre. la macroaction forçage est une macroaction à niveau C'est-à-dire qu'elle est maintenue tant que l'étape 1 reste active.

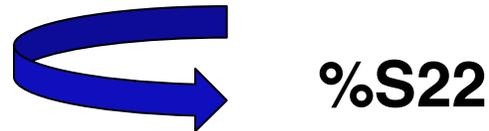
Le symbole défini par la norme UTE C 03-191 est :



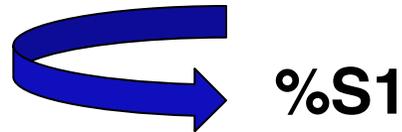
Macroactions : Forçage :

En réponse aux cas souvent rencontrés, on peut admettre la symbolisation suivante :

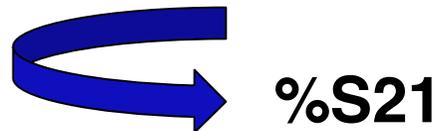
$F/G_1 > \{ \}$ → Forcer la situation vide de G_1 : aucune étape n'est active



$F/G_1 > \{^* \}$ → Forcer la situation courante de G_1 : les étapes conservent leur état

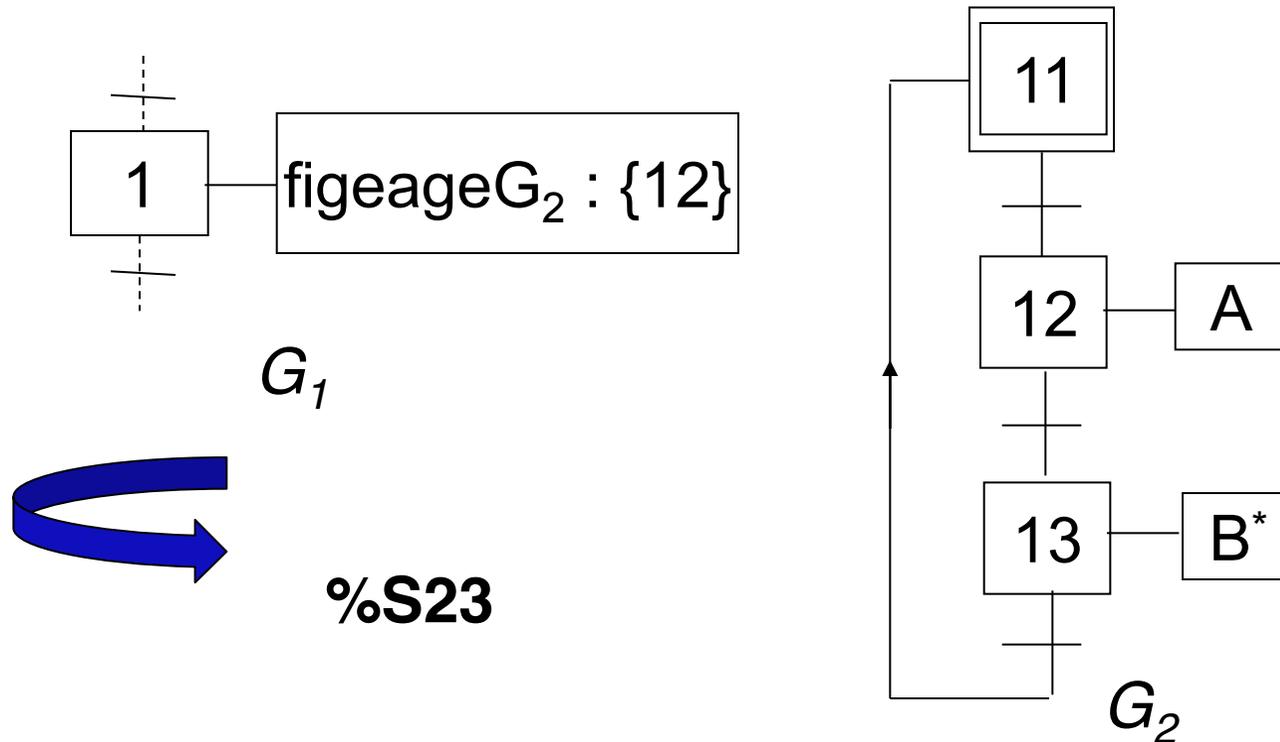


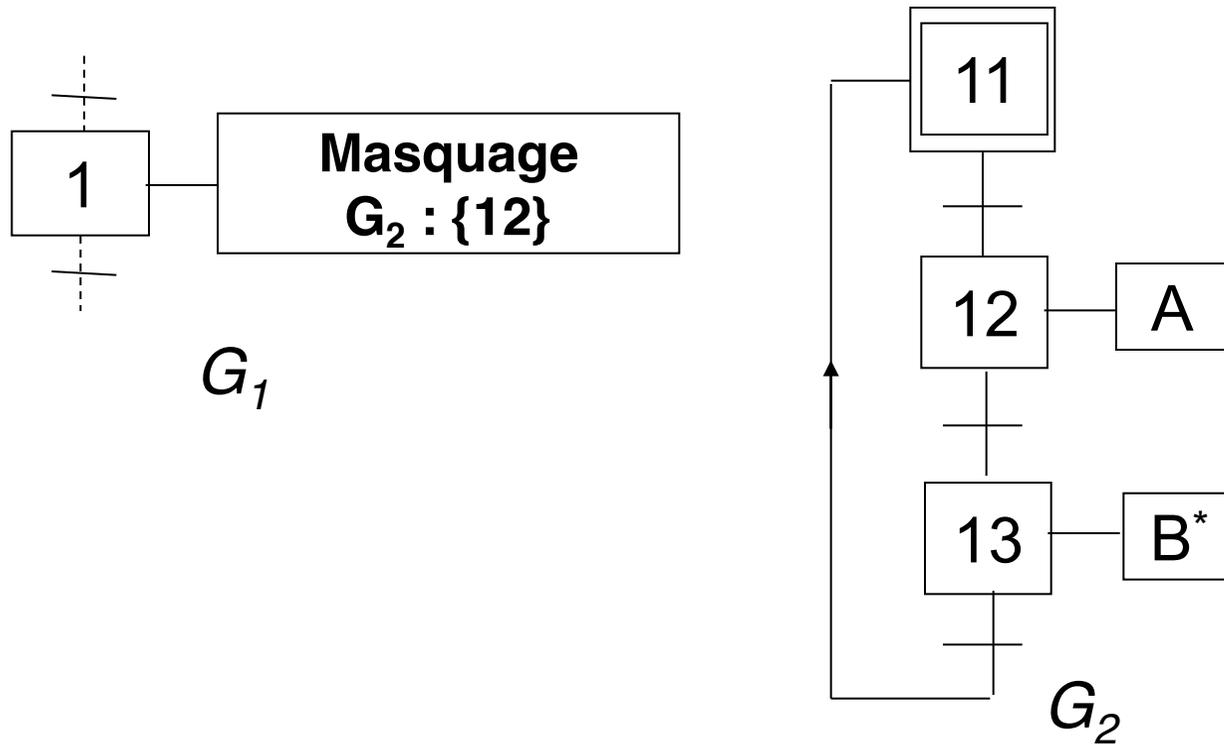
$F/G_1 > \{ \text{INIT} \}$ → Forcer la situation initiale de G_1 : seules les étapes initiales sont actives



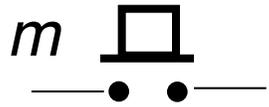
Macroactions*Figeage :*

Cette macroaction est illustrée sur la figure ci-dessous



Macroactions**masquage :**

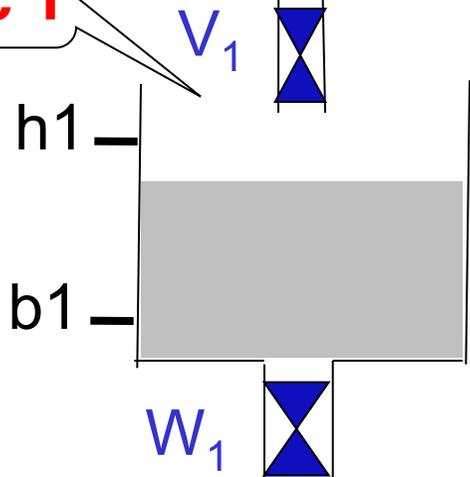
	TSX 37-10	TSX 37-2x	TSX 57-xx
Action à l'activation	oui	oui	oui
Action continu	oui	oui	oui
Action à la désactivation	oui	oui	oui
Plusieurs éléments programme par action	non	oui	oui
Nombre maximum d'étapes	96	128	250
Nombre maximum de maro-étapes	-	-	64
Nombre maximum d'étapes actives simultanément	96	128	250
Nombre maximum de transitions	192	256	1024
Nombre maximum de transitions valides simultanément	192	256	400

Exemple : Remplissage de bacs

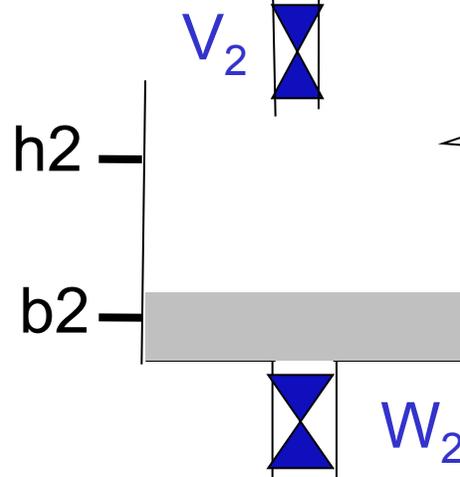
Réservoir

V_1 ou $W_1 = 1$ si vanne ouverte
 b_i ou $h_i = 1$ si niveau supérieur
 au repère

Bac 1



V_2



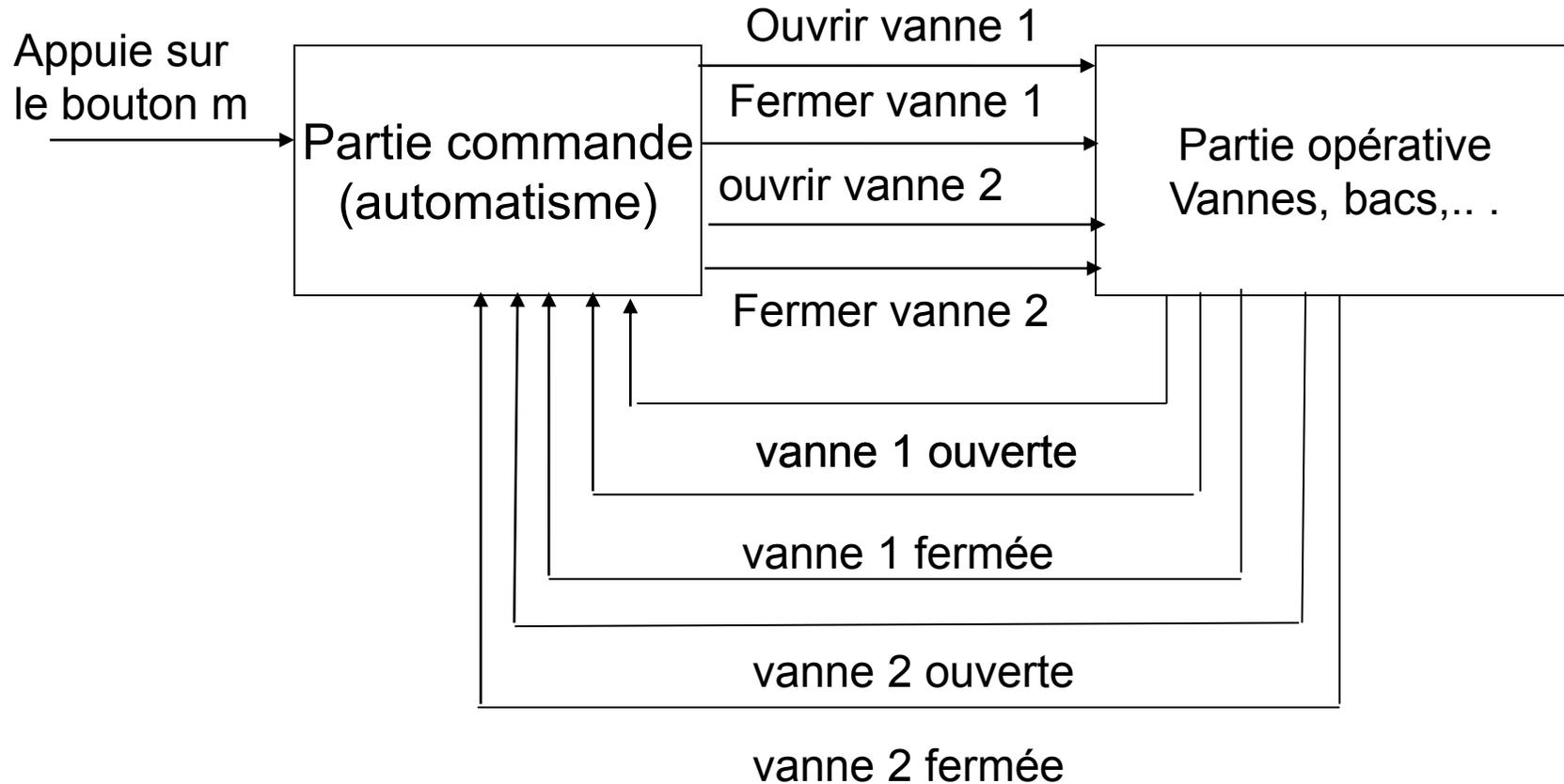
Bac 2

Exemple : Remplissage de bacs :

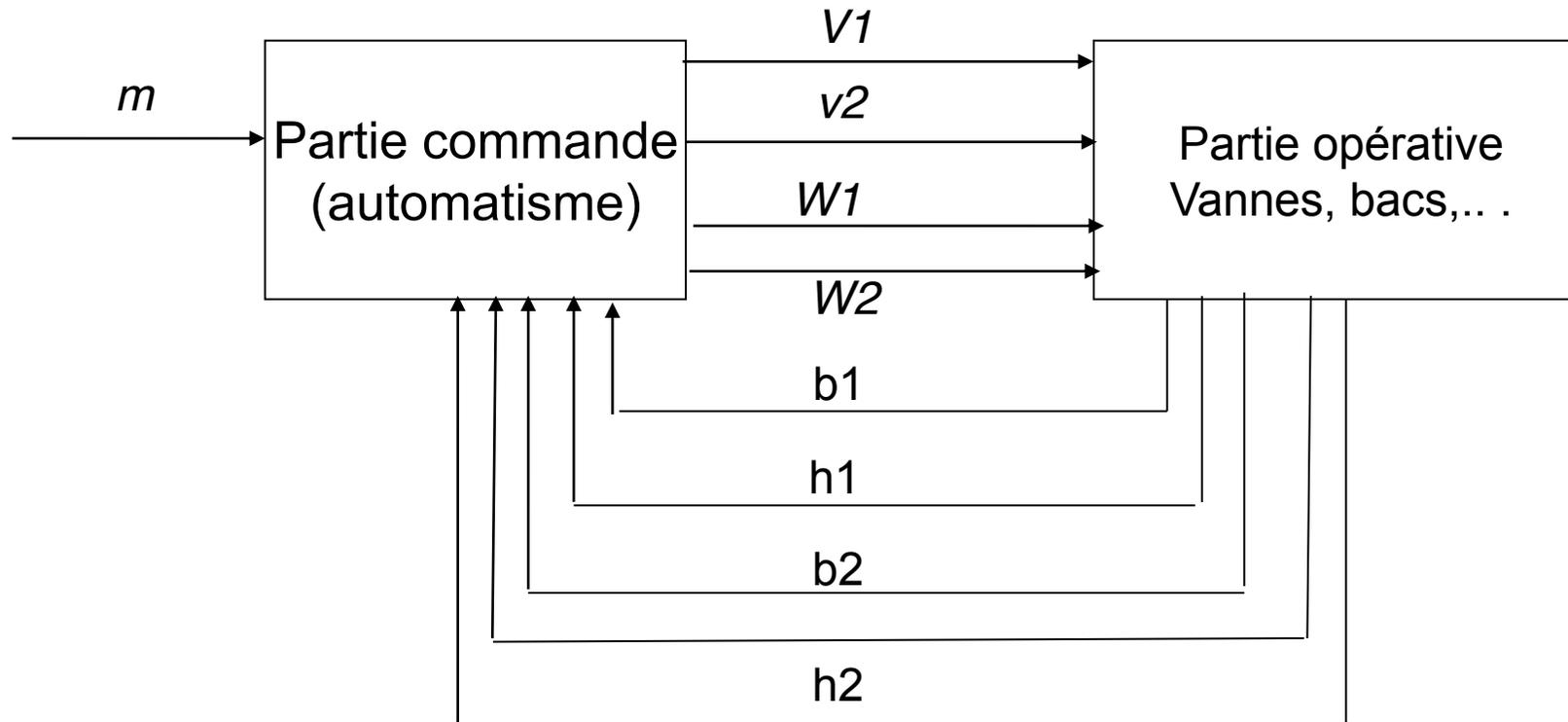
Cahier des charges : Initialement les deux bacs sont vides. Au moment où l'on met appuie sur le bouton poussoir m , les deux bacs se remplissent grâce à l'ouverture des vannes V_1 et V_2 . Dès qu'un bac est plein, par exemple le bas 1, on arrête son remplissage (fermeture de la vanne V_1) et l'on commence à utiliser son contenu (ouverture de la vanne W_1). Lorsque le bac 1 est vide, on ferme la vanne W_1 . Le remplissage ne pourra recommencer que lorsque les deux bacs seront vides. Ce remplissage sera déclenché Par appui sur le bouton poussoir m .

1.1 Etablir le modèle grafcet représentant ce fonctionnement (remplissage de bacs)

Exemple : Remplissage de bacs : description fonctionnelle



Description fonctionnelle : les entrées et les sorties sont indiqués ont utilisant un langage courant.

Exemple : Remplissage de bacs : description technologique

Exemple : Remplissage de bacs : modèle grafset

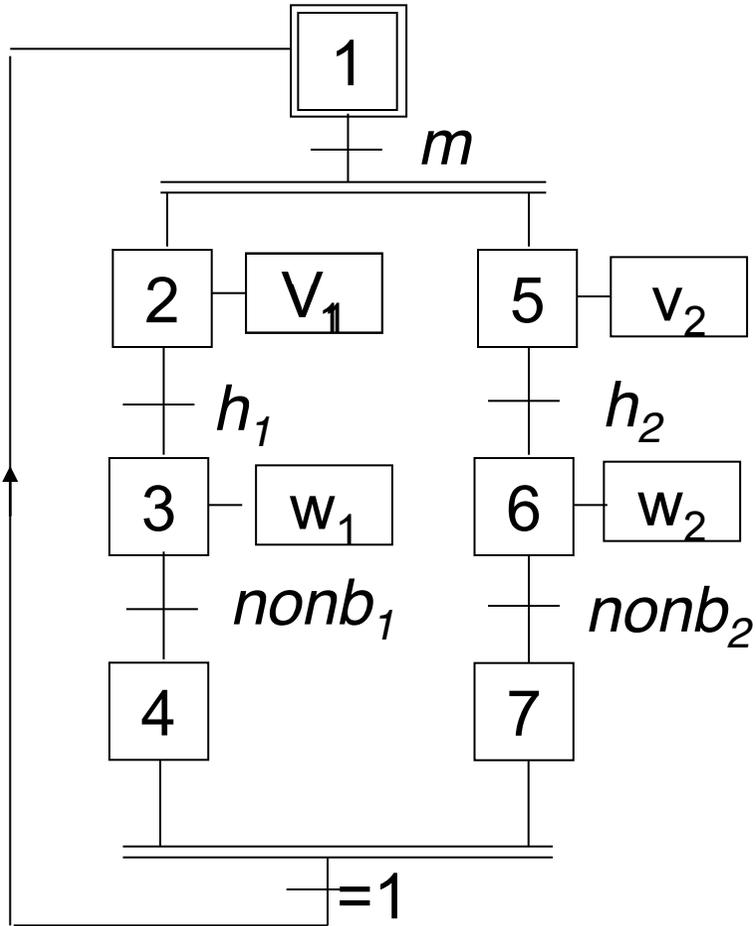


fig. 1

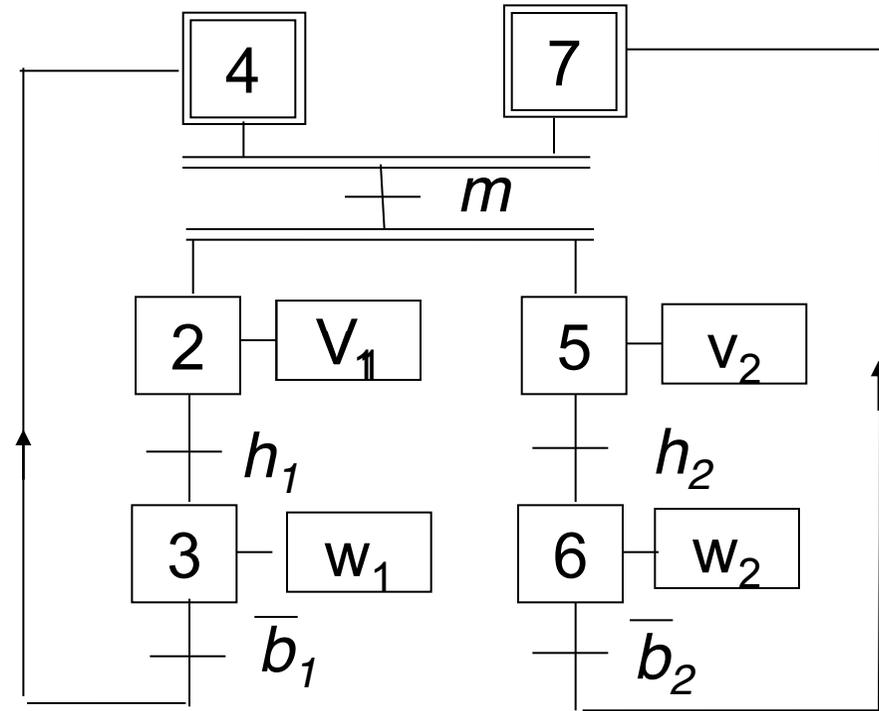


fig. 2

Exemple : Remplissage de bacs : modèle grafcet

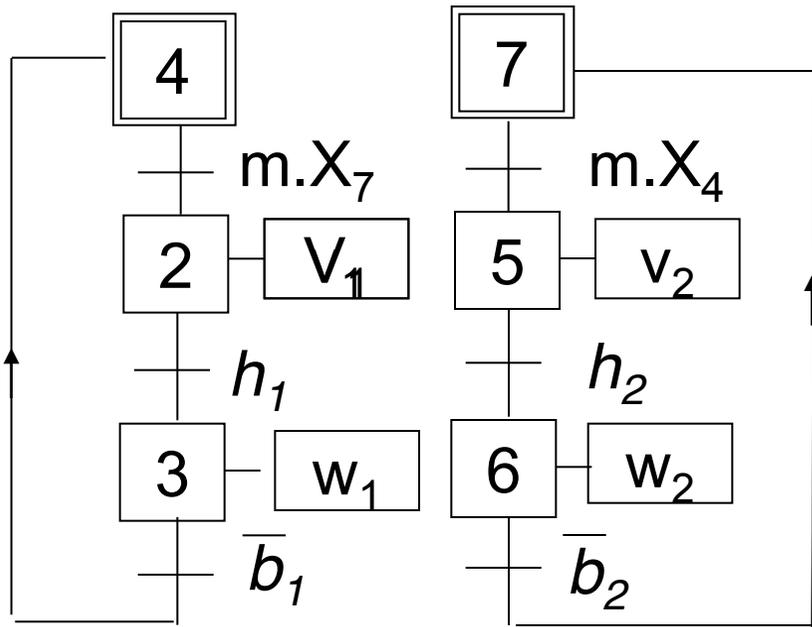


fig. 3

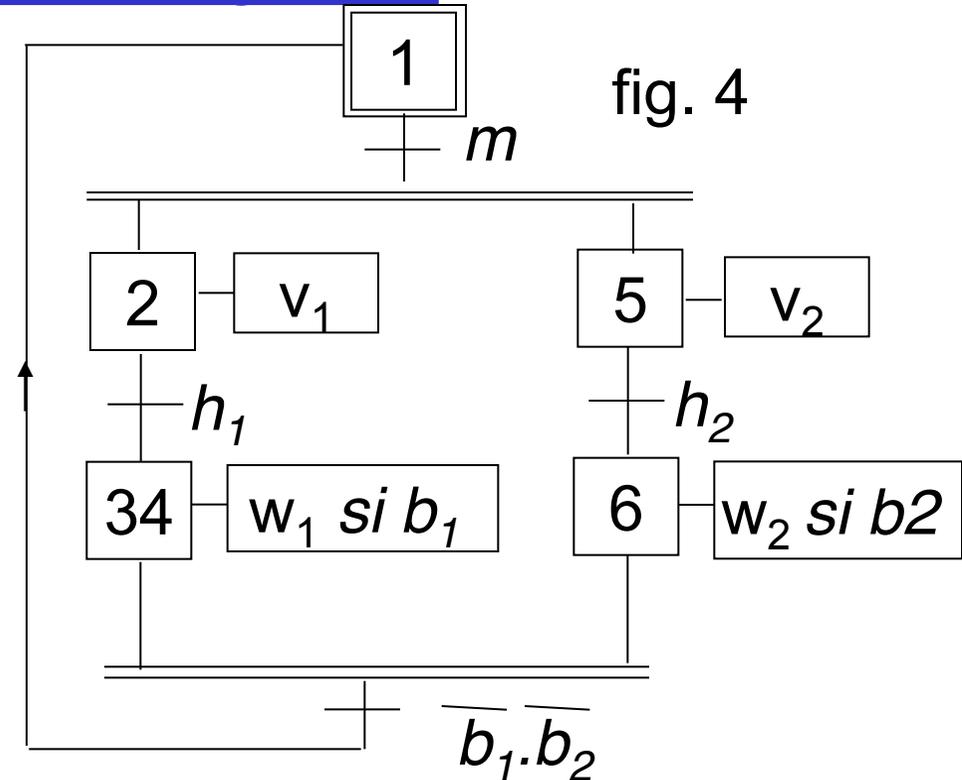


fig. 4

Recommandation 2 : Pour obtenir un grafcet simple et facile à comprendre, associer une signification simple (une seule action à niveau)

Commentaires sur grfacet : Ces quatre grafkets sont corrects et correspondent bien à la description du même cahier des charges. Néanmoins, les concepteurs ont une préférence pour la figure 2 dans laquelle tout est simple et clair. Il n'y a pas d'étape ayant une signification multiple (comme dans la fig. 1). Il n'y a pas de réceptivité fonction de l'état interne (comme dans la fig. 3). Il n'y a pas d'action conditionnelle (comme dans la figure 4).

Dialogues entre grafquets

Le grafcet de surveillance est chargé d'autoriser ou non le fonctionnement du cycle de production. Le grafcet de conduite

Gère les modes de marches et d'arrêt (GEMMA) et assure l'unicité de mode (un seul mode à la fois doit être actif). Chaque mode peut ensuite être décrit par un grafcet spécifique, le Grafcet de commande. Des tâches subalternes peuvent être définies par des grafquets de tâches de niveaux inférieurs.

Les dialogues entre ces grafquets se font que verticalement. Du haut vers le bas, ce sont des ordres, du bas vers le haut, des comptes-rendus

