



Le Grafcet – G7

[Grafcet]

- 1975 : les moyens existants de description des systèmes séquentiels..
 - Équations combinatoire de la machine de Moore
 - Logigrammes (représentation circuits des eq° précédentes)
 - Graphes d'états
 - Texte
 - ..
 - ... sont insuffisants
 - volumineux, imprécis ou incomplets,
 - représentant difficilement le parallélisme et la synchronisation d'évènements.
- ⇒ Création d'une commission pour définir un nouveau formalisme.

[Grafcet]

- AFCET : groupe de travail industriels + universitaires à l'origine du Grafcet.
(*Association Française de Cybernétique Economique et Technique*)
- 1975 : commission créée par l'AFCET pour définir un nouveau formalisme.
- Buts :
 - Simplicité,
 - Formalisme adapté à la représentation des évolutions séquentielles d'un système,
 - fournissant potentiellement des facilités de passage à une réalisation matérielle et (ou) logicielle de l'automatisme.

[Grafcet, historique]

- 1975 : création de la commission
- 1977 : 1^{ère} publication
- 1982 : 1^{ère} normalisation (AFNOR NF C 03-190)
- 1988 : normalisation internationale (CEI 848) sous le nom de SFC - *Sequential Function Chart*.
- Années 90 : définit° et normalisation de la MACRO-ETAPE et de FORCAGE ⇒ AFNOR C03-191
- 1993 : les concepts du grafcet font partie de la Norme IEC 1131-3 (SFC)
- 2002 : révision de la norme (CEI 60848)

- IEC: *International Electrotechnical Committee* ou CEI : *Commission électrotechnique internationale*

[Grafcet]

■ Significations :

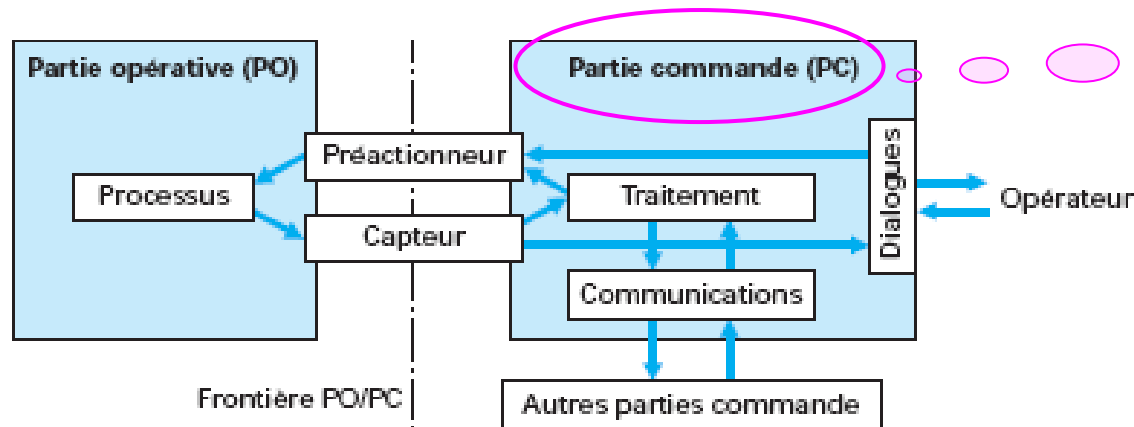
- GRAFCET : Graphique fonctionnel de commande étapes/transitions
- GRAFECT : Graphe de l'AFCET

■ Conventions :

- GRAFCET : langage de spécification
- grafcet : modèle élaboré en GRAFCET
- *Nous : G7 ☺*

Système automatique

- Structure d'un système automatique : deux parties interdépendantes :
 - la **partie opérative** (PO) qui est le processus physique automatisé et qui réalise les opérations sur le flux de produits permettant l'apport de la valeur ajoutée ;
 - la **partie commande** (PC) qui coordonne la succession des actions de la partie opérative, permet la communication avec les utilisateurs et les autres parties commandes.





Le Grafcet – G7

Bases du langage

[GRAFCET : base]

- Éléments graphiques :
 - **Etapas (Actions)**
 - **Transition (Réceptivités)**
 - **Liaisons**
- Interprétation
- 5 règles d'évolution

GRAFCET : éléments graphiques

■ Etape :

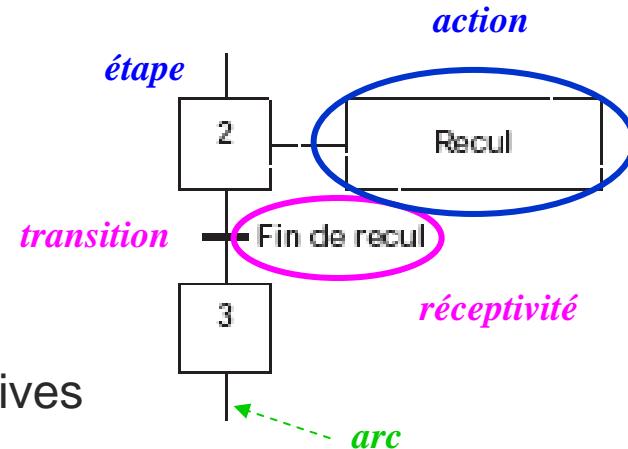
- caractérise un comportement de la partie commande.
- une étape est soit active soit inactive
- action associée (facultatif)

■ Transition :

- possibilité d'évolution entre les étapes
- validée lorsque les étapes précédentes sont actives
- réceptivité associée (condition logique)

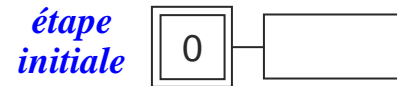
■ Liaisons - arcs :

- liaison orientée (étape → transition, transition → étape)



[GRAFCET : éléments graphiques]

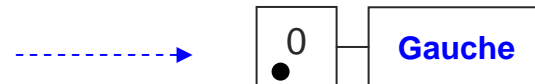
- Etape initiale : double encadré



- Etape inactive

- Etape active :

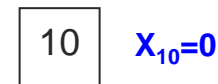
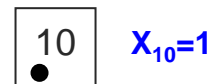
- marquée par une marque (jeton)
- l'action s'exécute



- Variable Xn associée à une étape :

A chaque étape n est associée une variable booléenne Xn, qui représente l'état de l'étape.

- $X_n=0$ si l'étape est inactive
- $X_n=1$ si l'étape est active



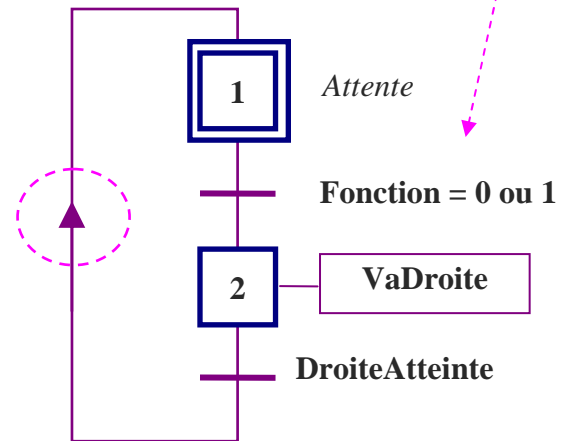
[GRAFCET : éléments graphiques]

- Réceptivité : fonction booléenne

- 1 transition à 1 ou plusieurs étapes amont et 1 ou plusieurs étapes aval.

- arcs :

- orientés par défaut vers le bas
- si vers le haut : mettre une flèche



A decorative graphic consisting of a thin gold circle on the left side, partially overlapping a horizontal bar. The bar has a gold-to-white gradient and is flanked by large, stylized square brackets: a black one on the left and a gold one on the right.

Le Grafcet – G7

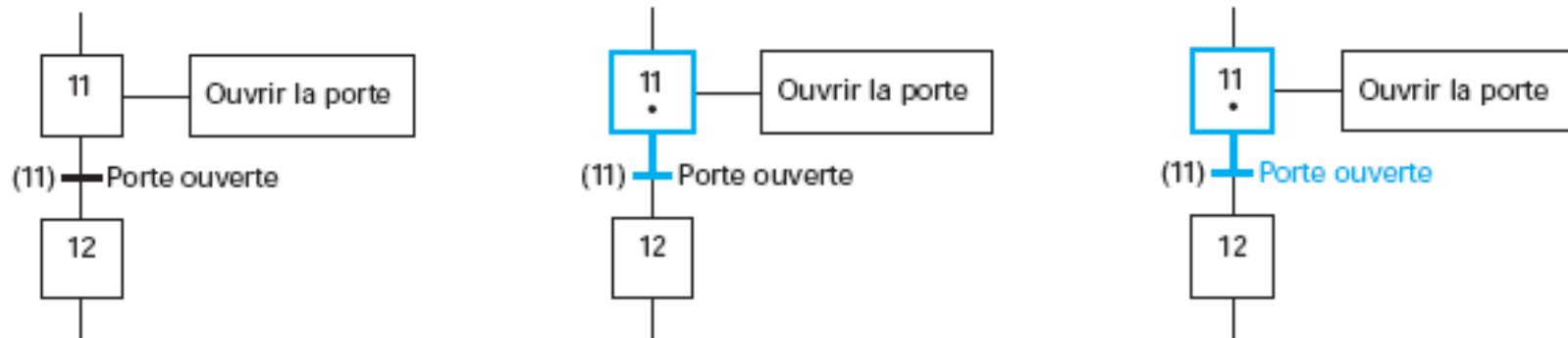
Règles d'évolution

[GRAFCET : règles d'évolution]

- règle n°1 : Situation initiale.
- règle n°2 : Franchissement d'une transition .
- règle n°3 : Evolution des étapes actives.
- règle n°4 : Evolutions simultanées.
- règle n°5 : Activation / Désactivation simultanées.

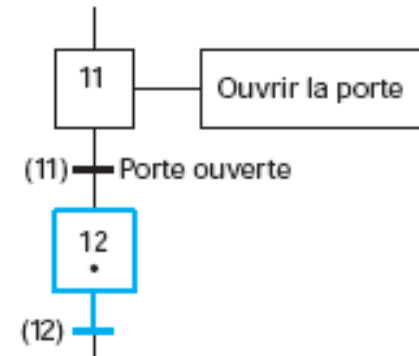
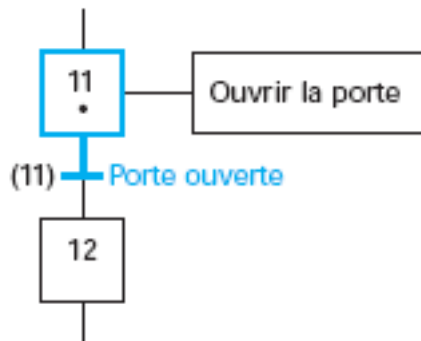
GRAFCET : règles d'évolution

- règle n°1 : situation initiale = étapes initiales.
- règle n°2 : franchissement d'une transition si :
 - étapes amont actives
 - réceptivité vraie



GRAFCET : règles d'évolution

- règle n°3 : évolution de l'activation des étapes lors du franchissement d'une transition.

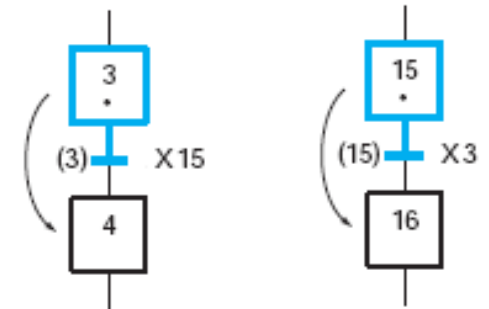


Il existe en fait une situation intermédiaire où aucune étape n'est active car franchissement = phase1 puis phase2 avec :

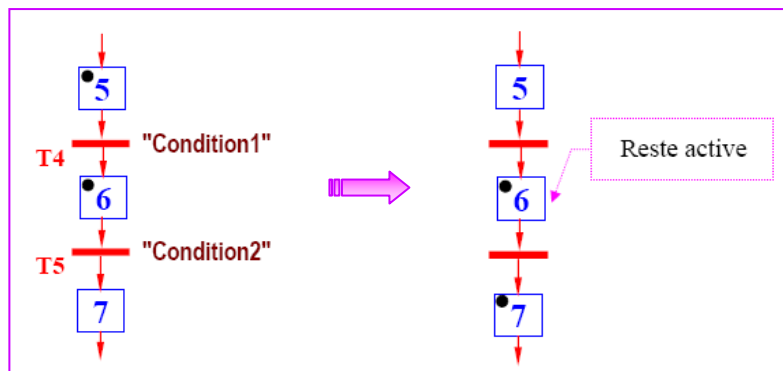
- Phase 1 = désactivation des places amont
- Phase 2 = activation des phases aval

GRAFCET : règles d'évolution

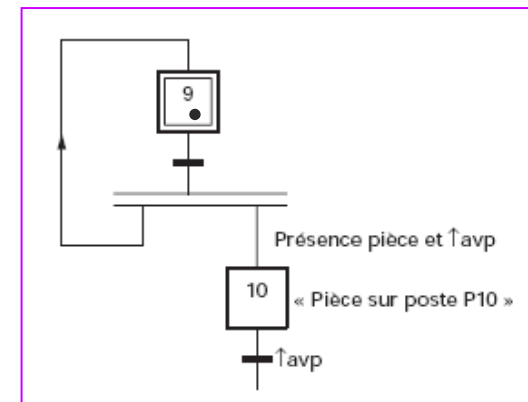
■ règle n°4 : évolutions simultanées : plusieurs transitions franchissables sont simultanément franchies.



■ règle n°5 : conservation de l'activation d'une étape :
Si une étape doit être simultanément activée et désactivée,
elle reste active.

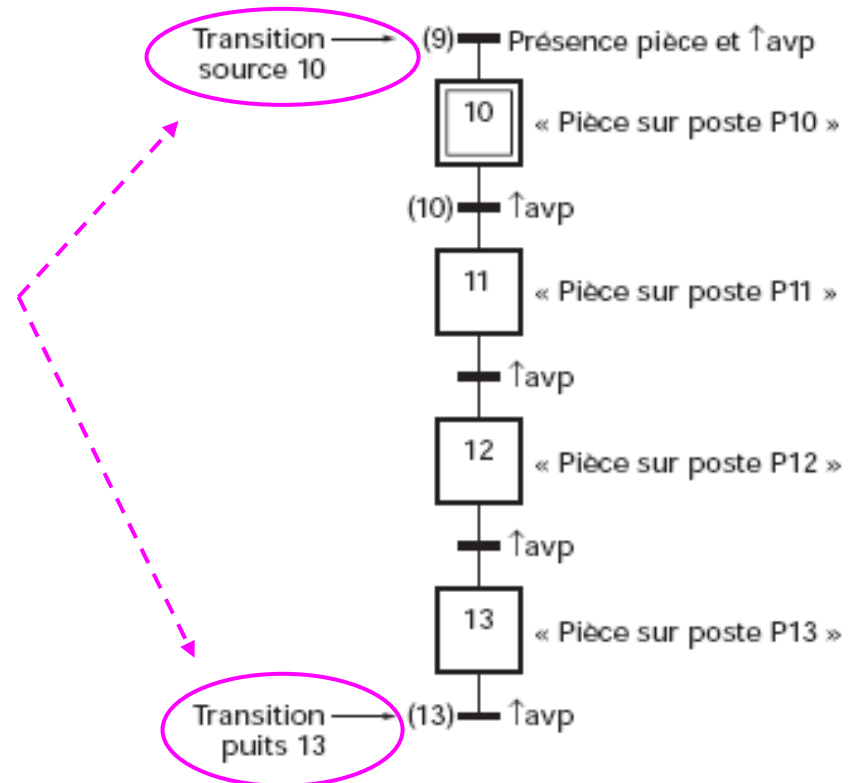


étape source



GRAFCET : règles d'évolution

■ transition source et puits :



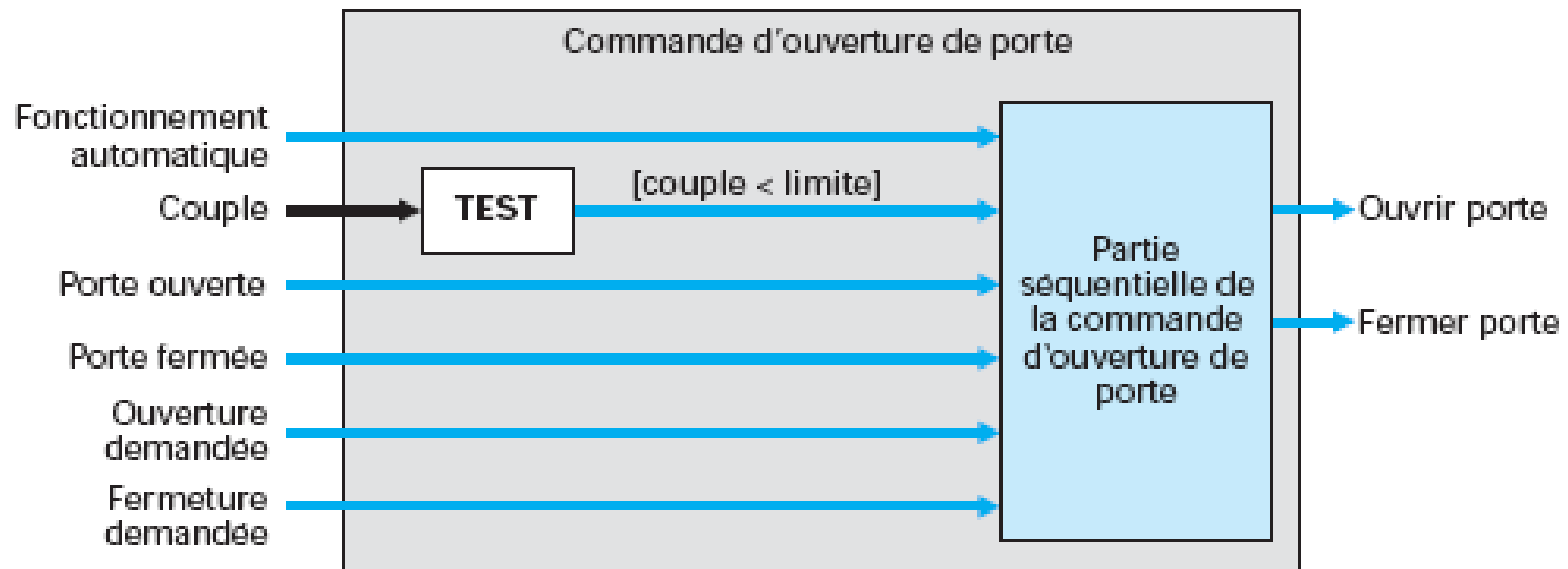


Le Grafcet – G7

Petits exemples

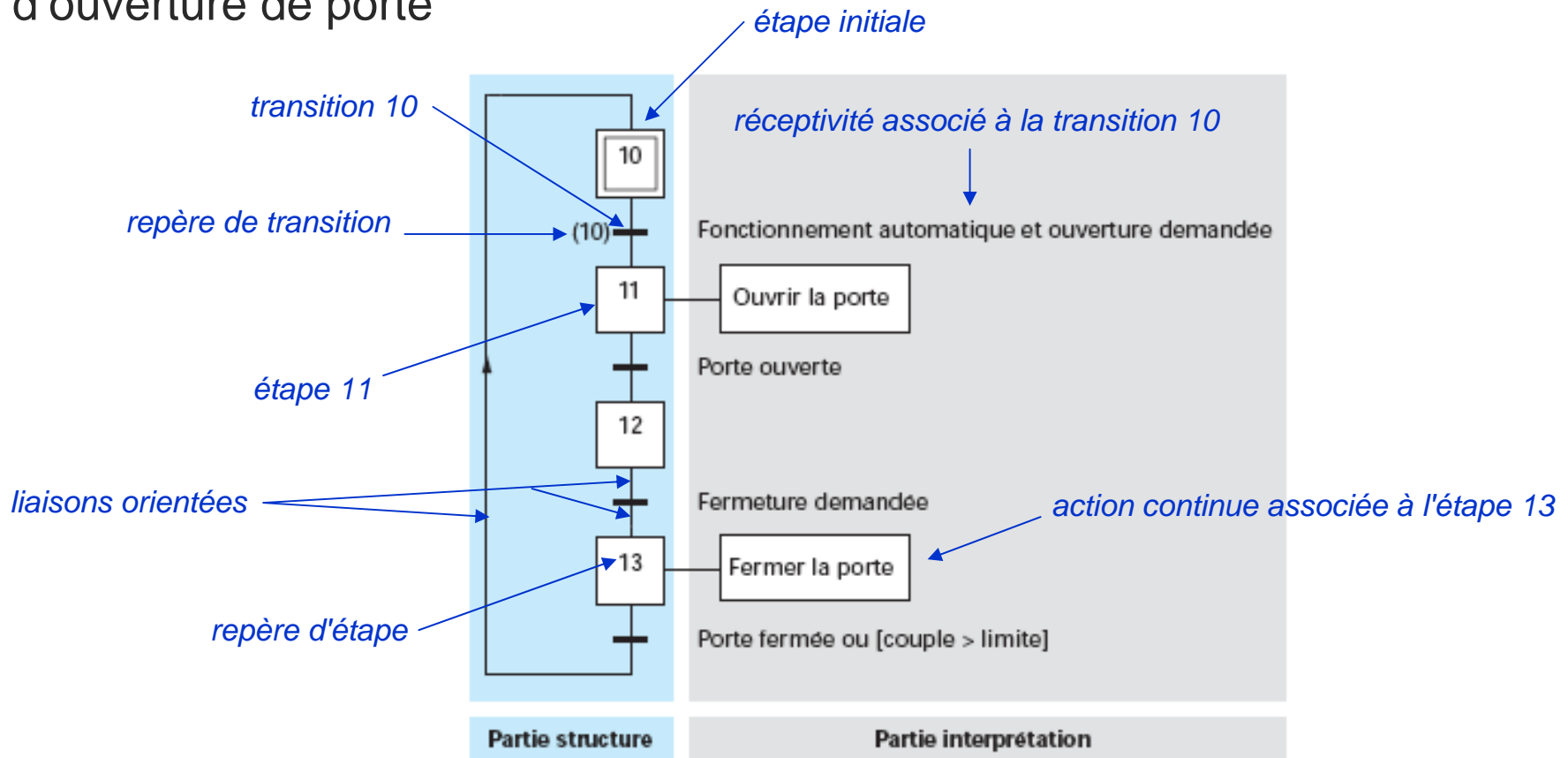
[GRAFCET : exemple]

- Représentation graphique de la partie séquentielle de la commande d'ouverture de porte



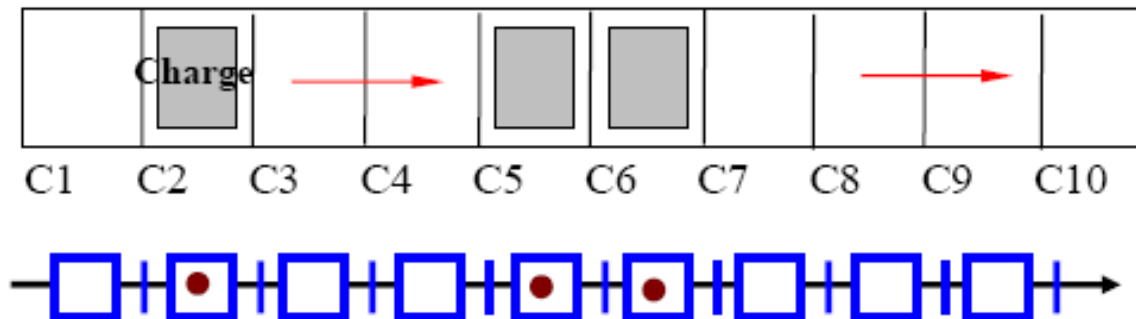
GRAFCET : exemple

- Représentation graphique de la partie séquentielle de la commande d'ouverture de porte



[GRAFCET : exemple]

- Transporteur de charges :
 - Une étape représente une cellule
 - L'activation des étapes représente le déplacement des charges



⇒ **Une étape représente souvent une action ou une attente, mais peut aussi représenter un état.**

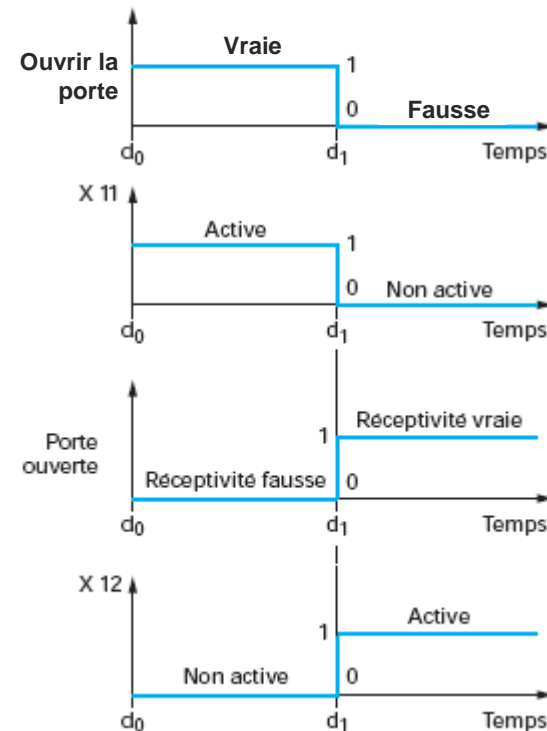
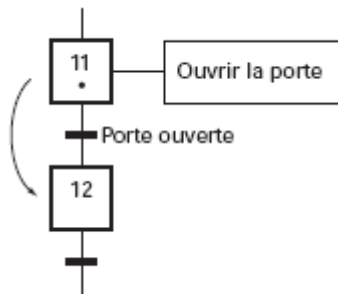


Le Grafcet – G7

Evolution de situation
Représentation

[GRAFCET : évolution]

- Situation : ensemble des étapes actives à un instant donné.
- Interprétation temporelle de l'évolution :





Le Grafcet – G7

Le temps dans le G7

GRAFCET : temporisation

- La variable "temporisation" se note " $t/Xn/d$ " avec :

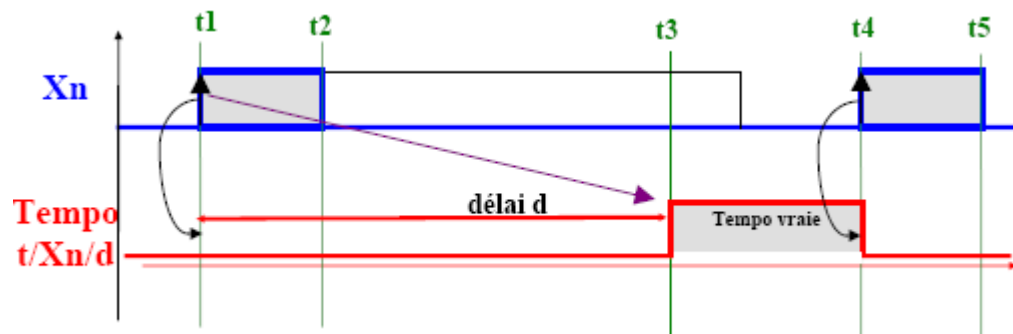
(rmq : ou " $d/Xn/t$ ")

- t : identifie une temporisation
- Xn est l'étape dont l'activation démarre la tempo
- d est le délai

- la temporisation " $t/Xn/d$ " vaut :

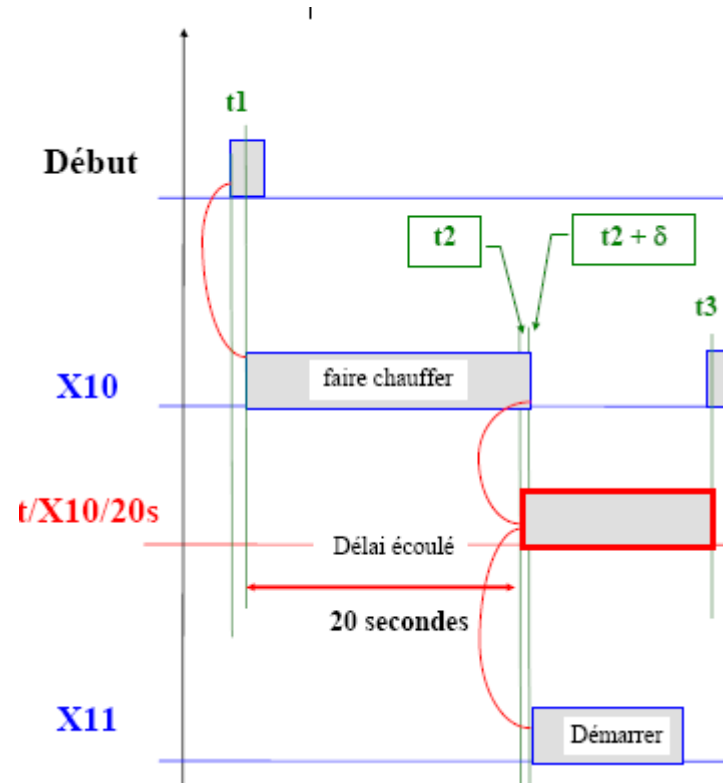
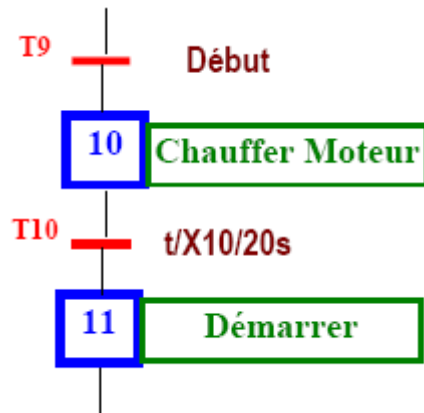
- 0 à l'instant initial
- 0 dès que l'étape Xn devient active
- 1 dès qu'un délai d est écoulé depuis la **dernière** activation de Xn

La tempo repasse à 0 à la prochaine activation de Xn .



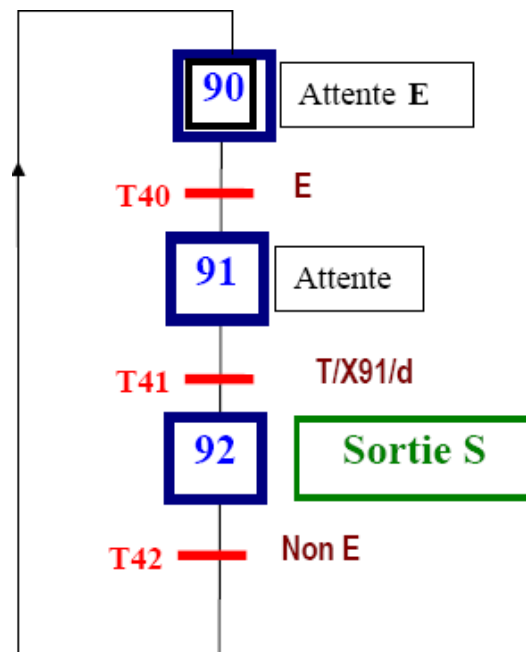
GRAFCET : temporisation

■ Exemple 1 : durée d'une activité



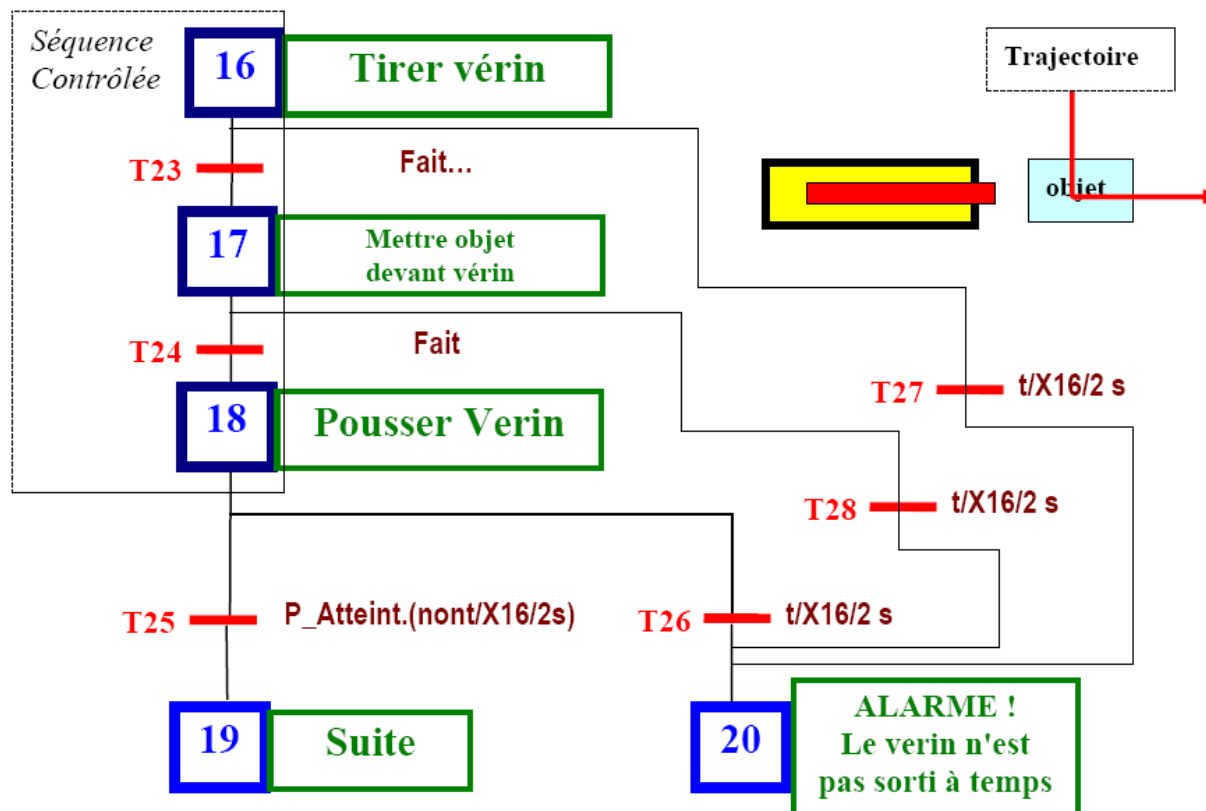
[GRAFCET : temporisation]

■ Exemple 2 : attente après un évènement



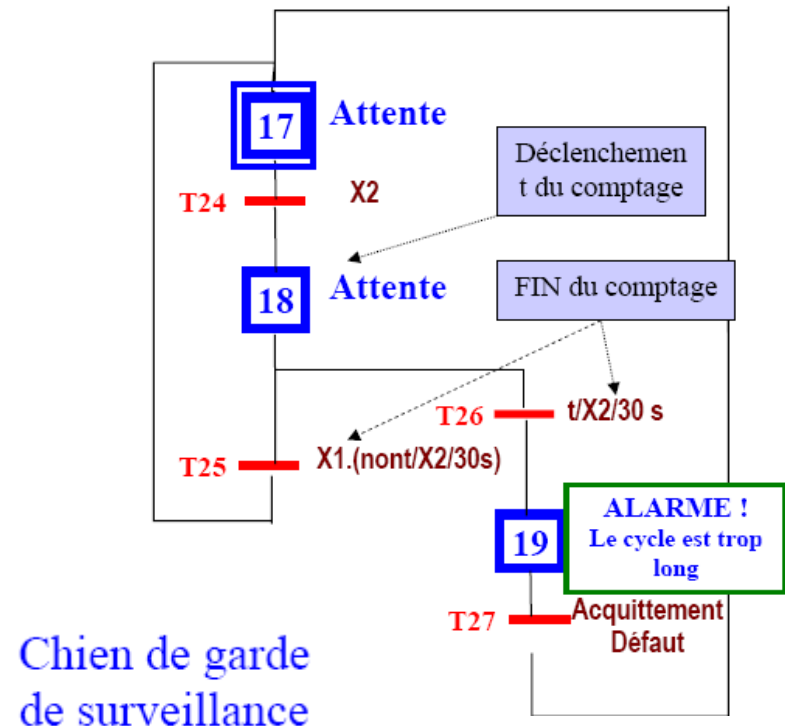
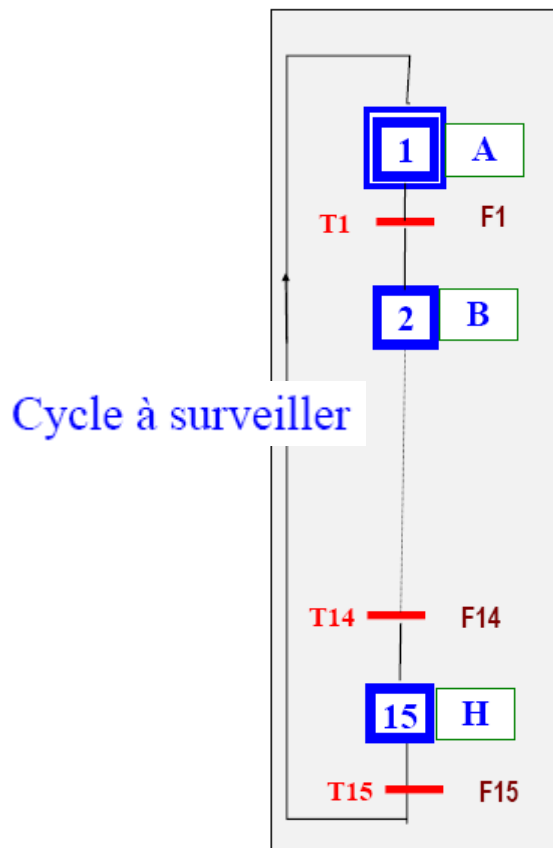
GRAFCET : temporisation

■ Exemple 3 : le chien de garde simple



GRAFCET : temporisation

- Exemple 4 : le chien de garde d'un cycle global (grafcet de surveillance)





Le Grafcet – G7

Les E/S

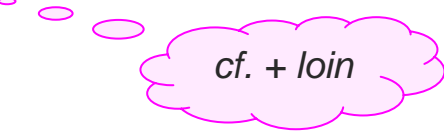
[GRAFCET : E/S]

■ Réceptivité = fonction booléenne

- Variables d'entrée (valeurs de capteurs);
- Événements d'entrée : chgmt d'état d'une variable d'entrée
 - front montant : $\uparrow a$
 - front descendant : $\downarrow a$
- Variables du système (compteurs..);
- Variables d'état des étapes X_n ;
- Equations booléennes, prédicat : comparaisons notées avec "[...]"; le résultat est la variable de réceptivité;
- Durée;



Réceptivité tjs vraie : 1

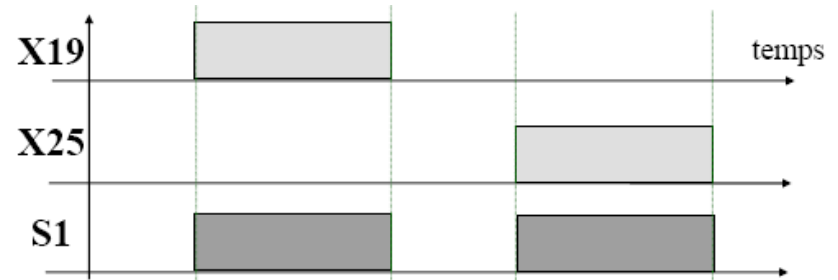


cf. + loin

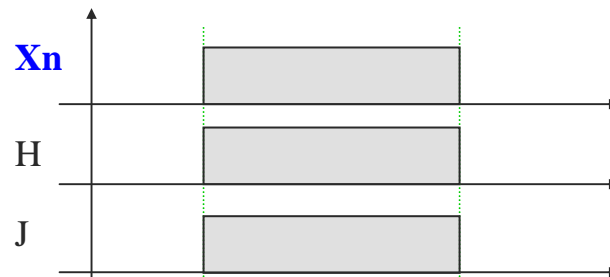
[GRAFCET : E/S]

■ Action (ou ordre) continue : c'est une sortie dont la valeur (son assignation) vaut 1 lorsque l'étape associée est active (ie $X_n=1$).

■ Remarque : si une action S1 est associée à plusieurs étapes (X_1 à X_p), alors $S1 = X_1 + X_2 .. + X_p$



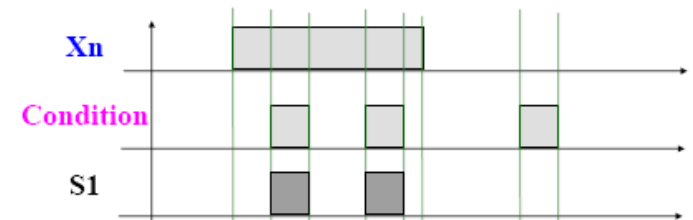
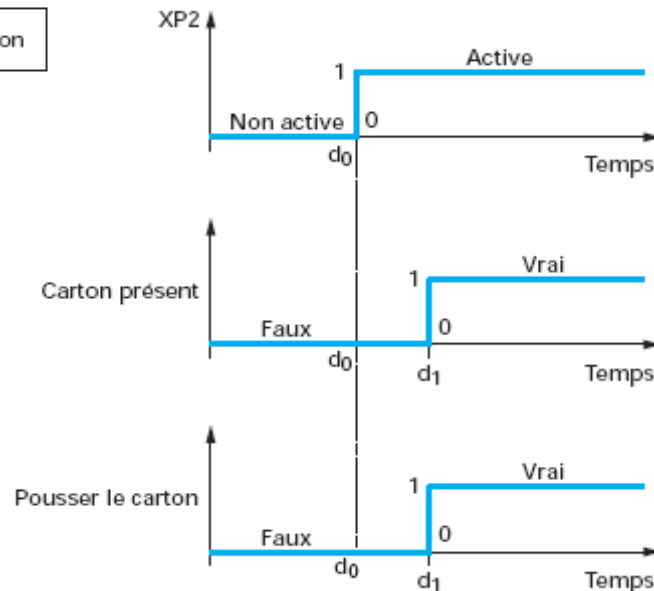
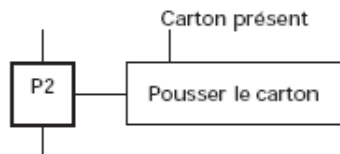
■ Plusieurs actions peuvent être associées à une étape :



GRAFCET : E/S

■ Action (ou ordre) conditionnée : l'assignation de l'action est conditionnée par une proposition logique (ou sur évènement).

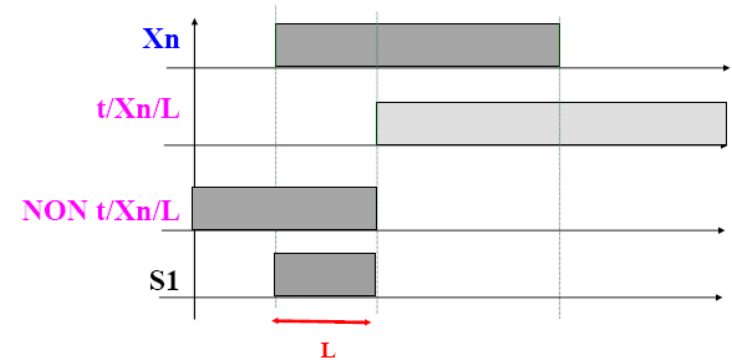
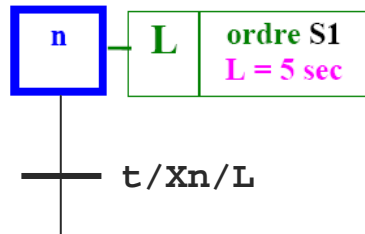
⇒ La sortie vaut si l'étape est active ET la condition est vraie.



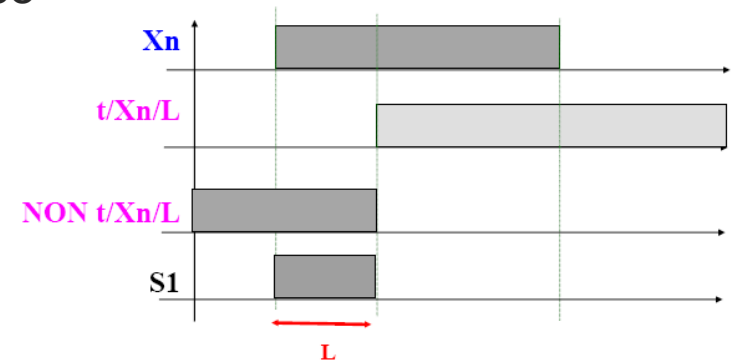
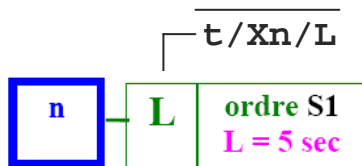
[GRAFCET : E/S]

■ Action limitée dans le temps :

- la transition qui suit est une temporisation

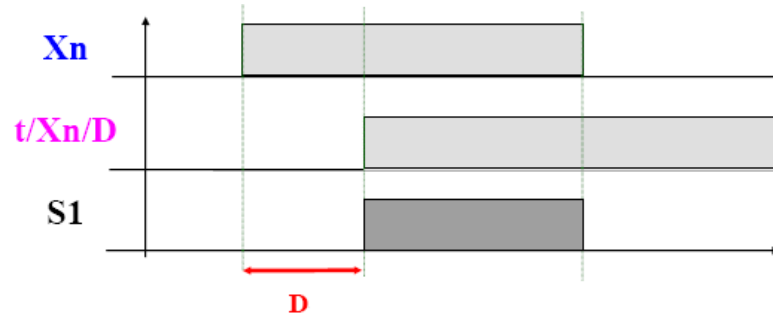
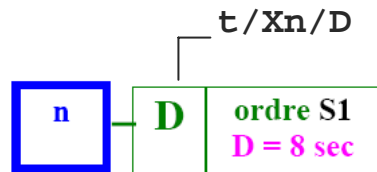


- La condition est une temporisation "inverse"

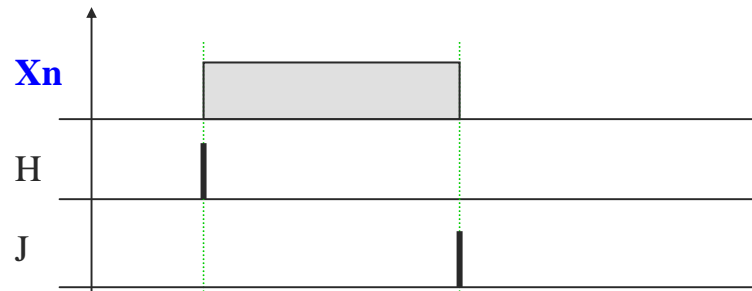
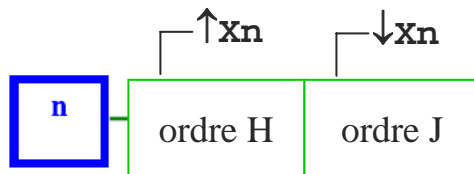


[GRAFCET : E/S]

- Action (ordre) retardée : la condition est une temporisation



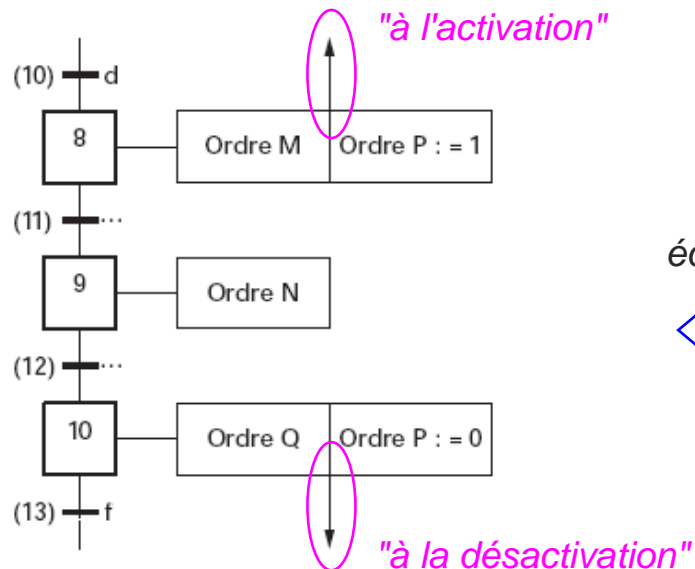
- Action (ordre) fugitive : action ponctuelle sur la partie commande (*positionnement de variables internes ou de mémoires, incrémentations, ..*)



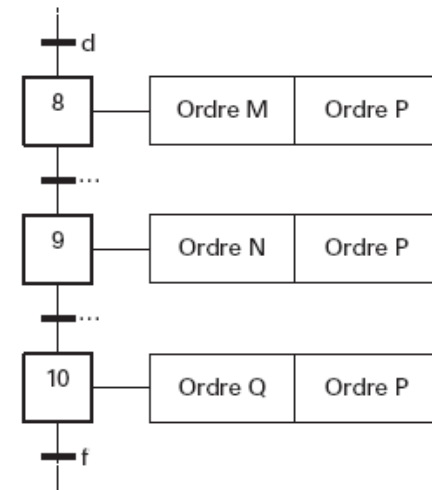
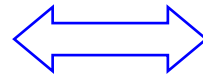
GRAFCET : E/S

■ Action (ordre) mémorisée : l'état de cette sortie est défini par deux ordres : "mise à 1" (Set) et "mise à 0" (Reset).

- Ces actions sont effectuées lorsque l'étape est active.
- Sinon : la sortie **reste à la valeur acquise**.



équivalence



Permet l'utilisation de variable numérique



Le Grafcet – G7

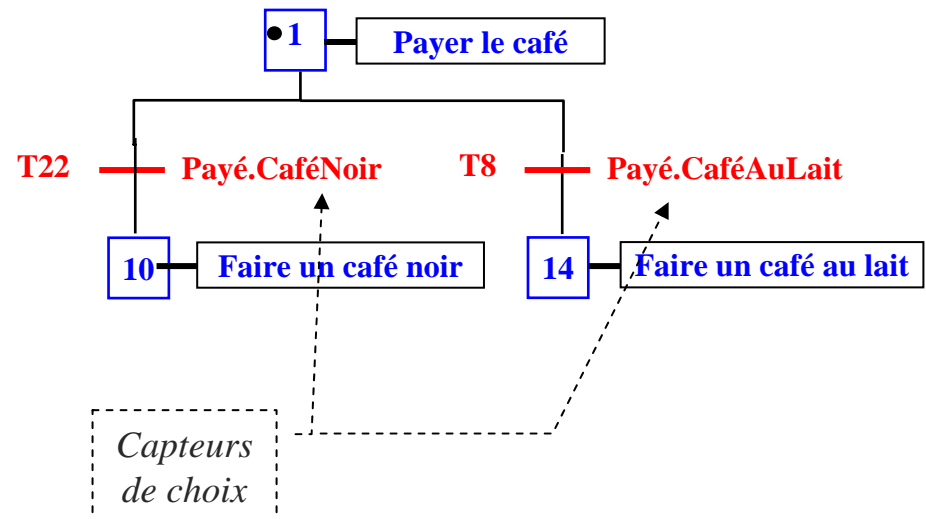
Structures de base

GRAFCET : Structures de base

■ Séquence unique :

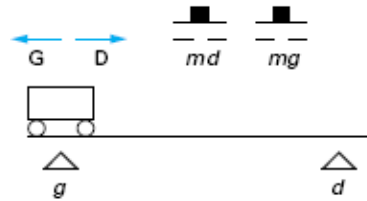
- Les étapes (sauf dernière) n'ont qu'1 transition aval,
- Les étapes (sauf première) n'ont qu'1 transition amont.

■ Choix – sélection de séquences exemple

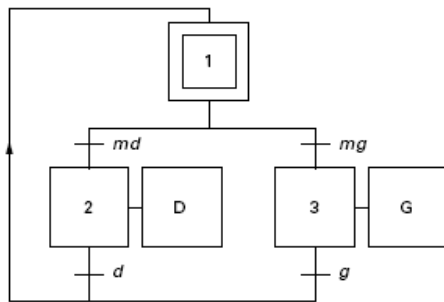


GRAFCET : Structures de base

■ Exemple : chariot

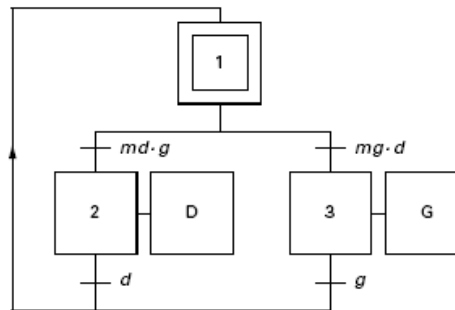


Si md et mg appuyés en même temps : activation des étapes 2 ET 3
 => **actions G et D vraies !!**



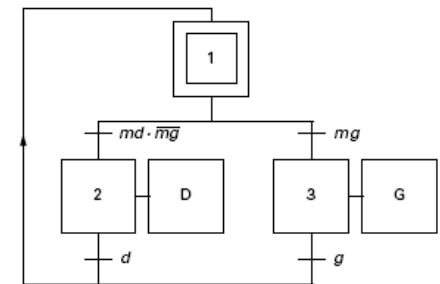
(b) activation simultanée possible

Exclusivité assurée par les propriétés de la partie opérative: g et d ne peuvent pas être vrais en même temps



(c) interdiction d'activation simultanée

Exclusivité assurée structurellement, avec priorité à la branche de droite

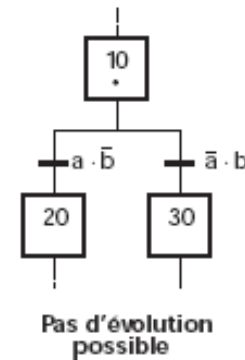
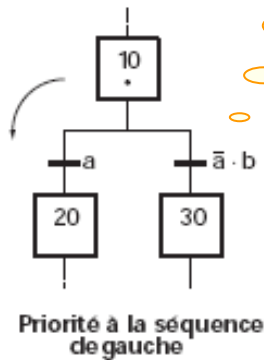
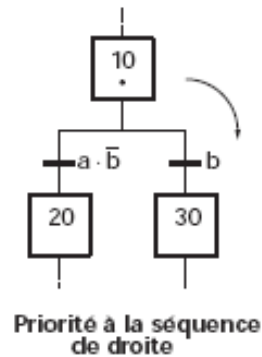
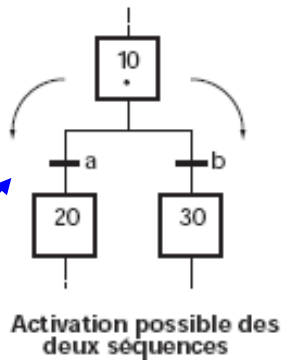


(d) priorité au déplacement à gauche

GRAFCET : Structures de base

■ Choix – sélection de séquences :

Notion de priorité



*Si a et b vraie : activation des 2 branches
⇒ possibilité de problème
⇒ il faut rendre les réceptivités de choix **exclusives***

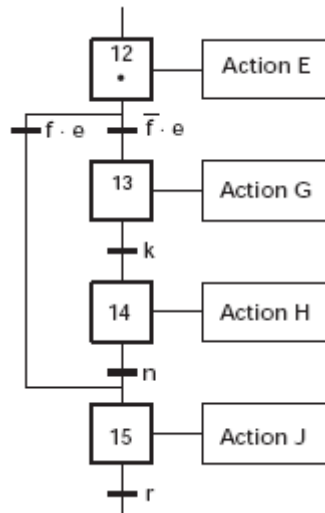
Faire attention aux possibilités de blocage..

■ **Exclusivité** des réceptivités :

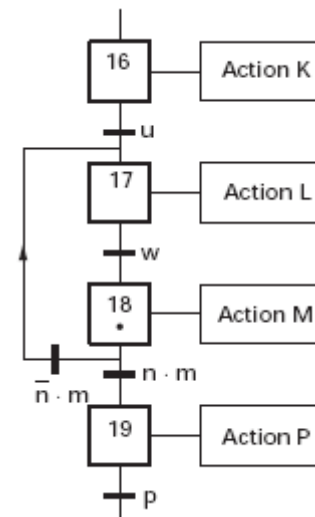
- liée au procédé : par ex. capteurs "opposés" (objet à gauche / objet à droite);
- incompatibilité temporelle : a priori jamais en même temps;
- exclusion logique : structurellement, cf. schéma.

GRAFCET : Structures de base

■ Saut d'étapes et reprise de séquences :



Saut de l'étape 12 à 15 si la réceptivité $f.e$ est vraie

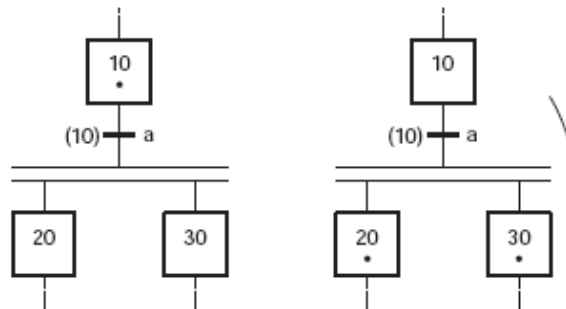


Reprise de la séquence 17-18 tant que la réceptivité $n.m$ n'est pas vraie

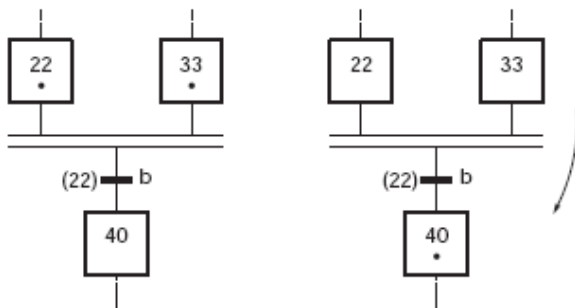
GRAFCET : Structures de base

- Parallélisme : activation de séquences parallèles

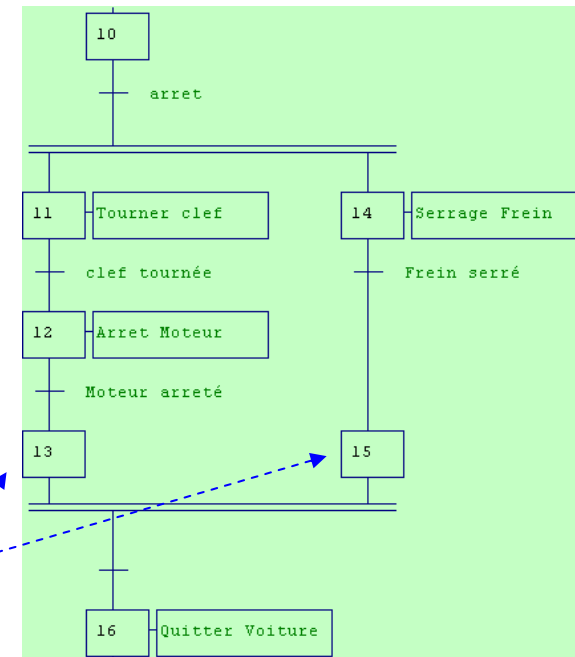
Les actions associées aux étapes 20 et 30 sont activées en même temps



- Parallélisme : synchronisation par rendez-vous

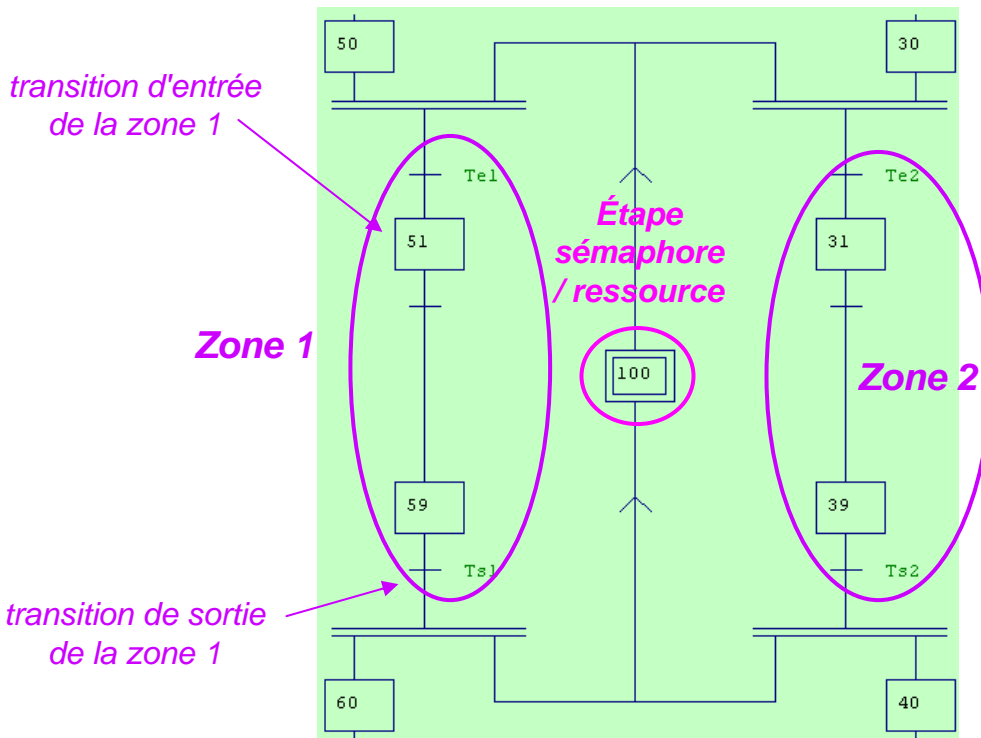


Etapes d'attente réciproque : les étapes 13 et 15 permettent la synchronisation de la fin des séquences 11-12 et 14.



GRAFCET : Structures de base

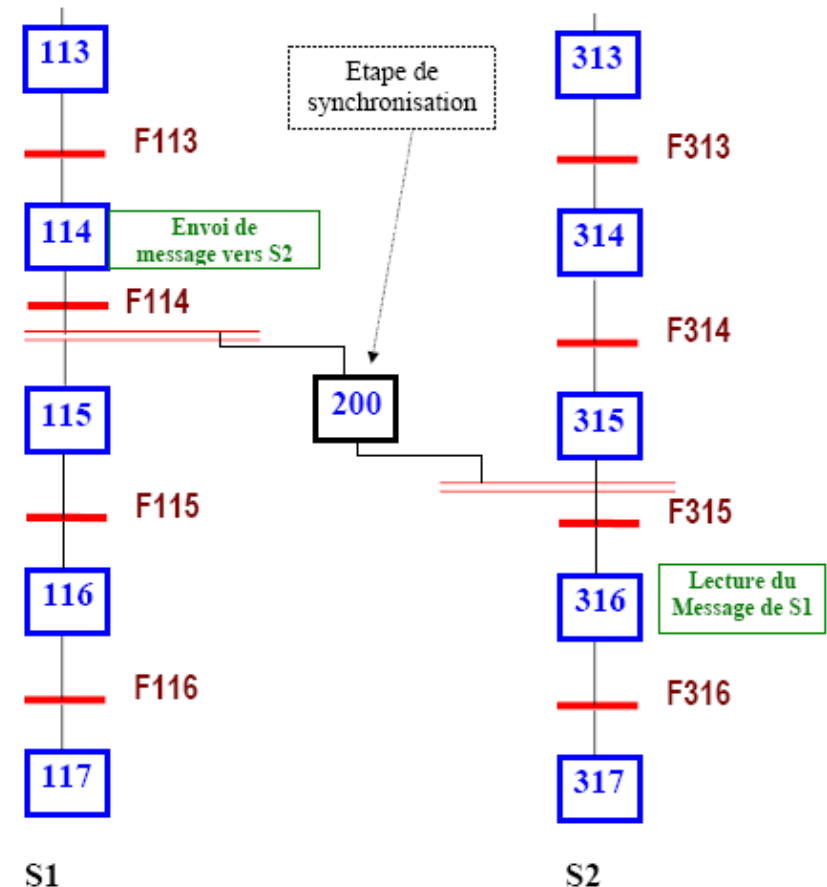
- Exclusion mutuelle : le sémaphore / Partage de ressources



- Ressources : partie physique, élément matériel, partie opérative, actions incompatibles, etc..
- Les zones 1 et 2 ne doivent pas être activées en même temps :
 - Sémaphore
 - Exclusivité des réceptivités $Te1$ et $Te2$

GRAFCET : Structures de base

- Synchronisation de deux séquences :
- Ex : envoi / réception de msg





Le Grafcet – G7

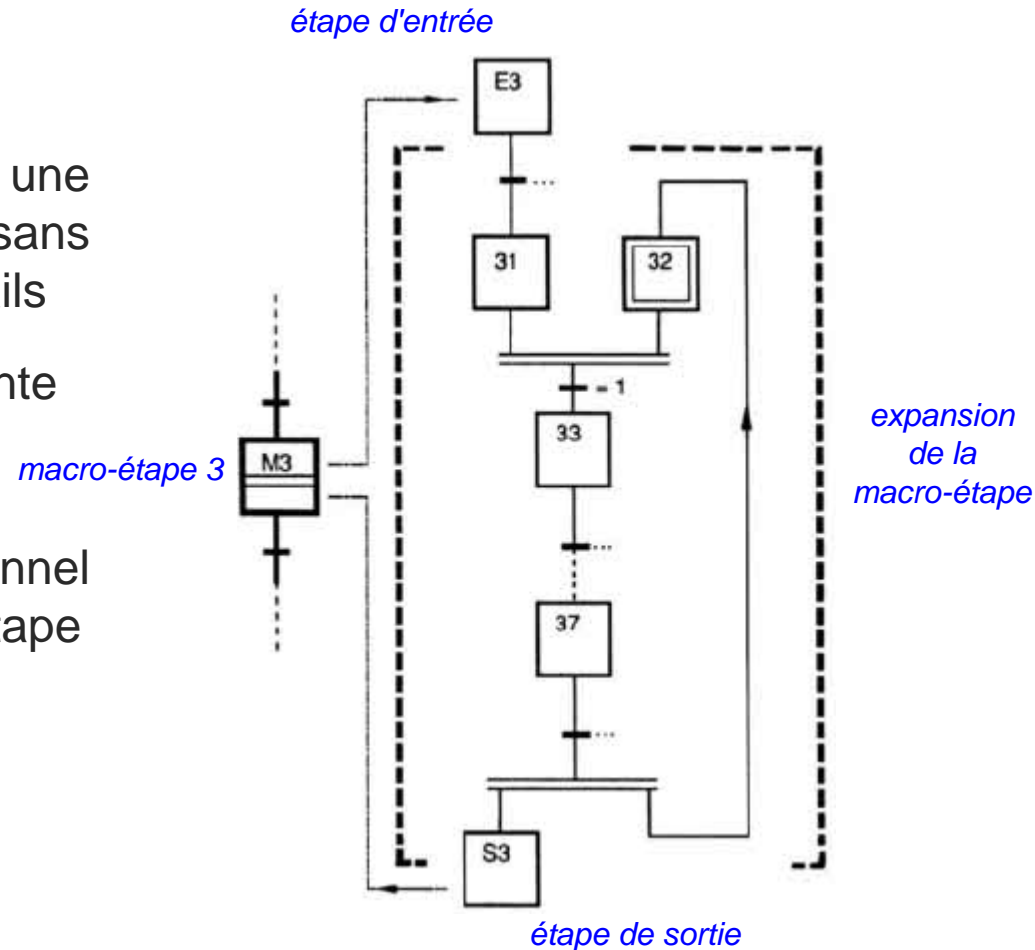
G7 Hiérarchiques

[GRAFCET hiérarchique]

- Concepts du formalisme GRAFCET pour structurer une application :
 - Macro-représentations : concept de **macro-étapes**
 - **Partition** d'un grafcet global : découpage et modularité
 - **Forçage** : hiérarchisation de la partition définie
- **Situation** d'un G7 : ensemble des étapes actives d'un G7 global à un instant donné

GRAFCET hiérarchique

- **Macro-représentation** : permet une représentation de haut niveau sans prendre en considération les détails
- Approche hiérarchisée descendante
- **Macro-étape** : ensemble fonctionnel nommé expansion de la macro-étape
 - Étape d'entrée
 - Étape de sortie
 - Pas d'autres liens "externes"

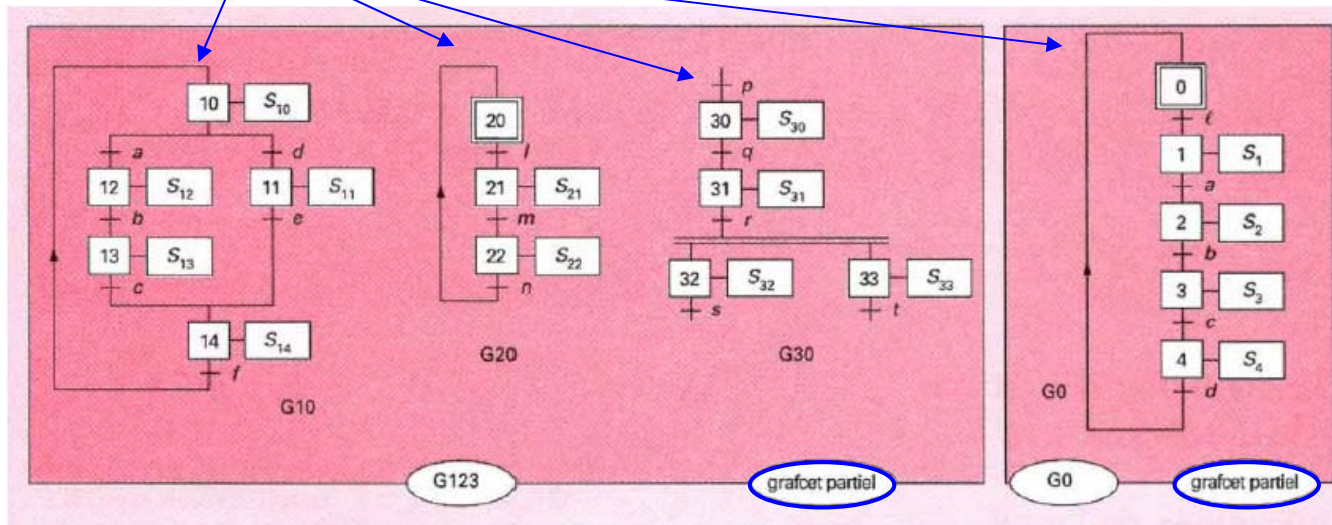


GRAFCET hiérarchique

■ Partition d'un grafcet :

- Grafcet **connexe** : il existe tjs une liaison explicite entre 2 éléments
- Grafcet **partiel** : un ou plusieurs grafcets connexes
- Grafcet **global** : ensemble de tous les grafcets

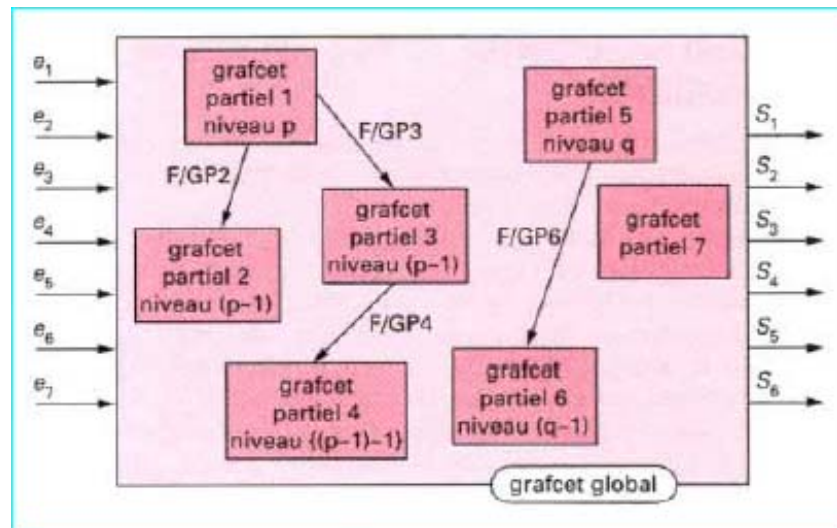
grafcets connexes



GRAFCET hiérarchique

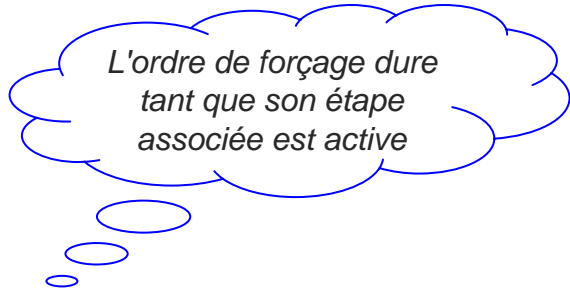
- **Forçage** : les ordres (internes) de forçage permettent de modifier la situation d'un grafcet partiel à partir d'un autre grafcet partiel.
- ⇒ Le grafcet forçant est placé dans une **position hiérarchique** supérieure à celle du grafcet forcé.

Rmq : le grafcet le + élevé hiérarchiquement est souvent un grafcet de **supervision**



GRAFCET hiérarchique

- Représentation graphique normalisée : double rectangle d'action (pas tjs employé)
- Ordres de forçage : Force G3 : Situation S4
notation : F/G3 : {S4}
rmq : cela implique la numérotation des graphes partiels..
- Situation particulière :
 - Situation courante : { * }
 - Situation vide (aucune étape active) : { }
 - Situation initiale : { INIT }
- Règles d'évolution : **les ordres de forçage sont prioritaires.**

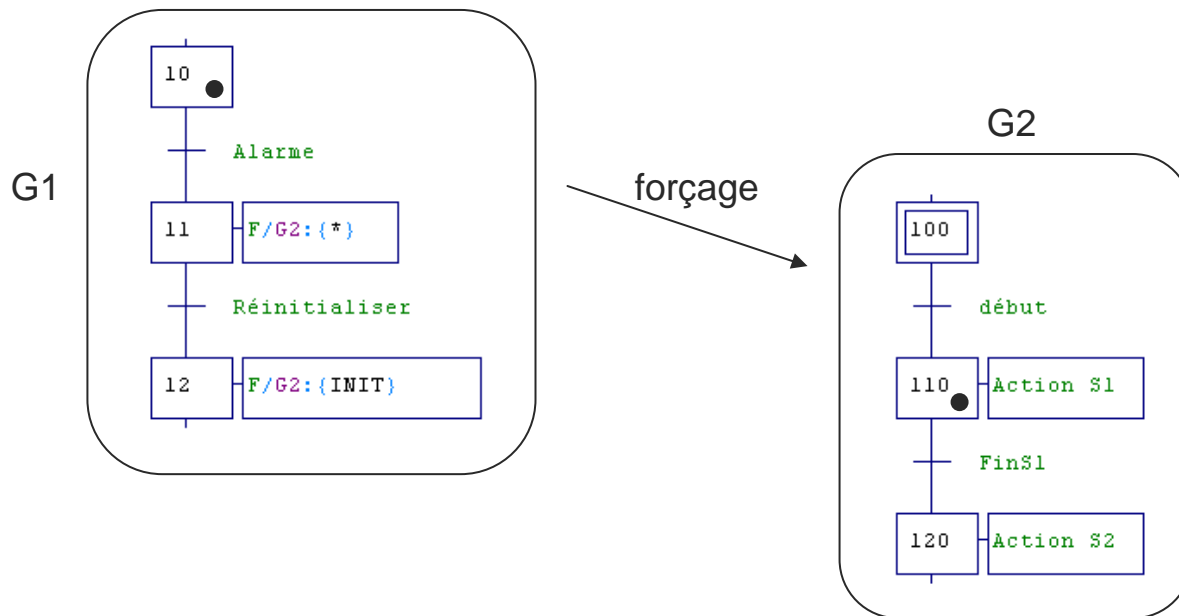


L'ordre de forçage dure
tant que son étape
associée est active

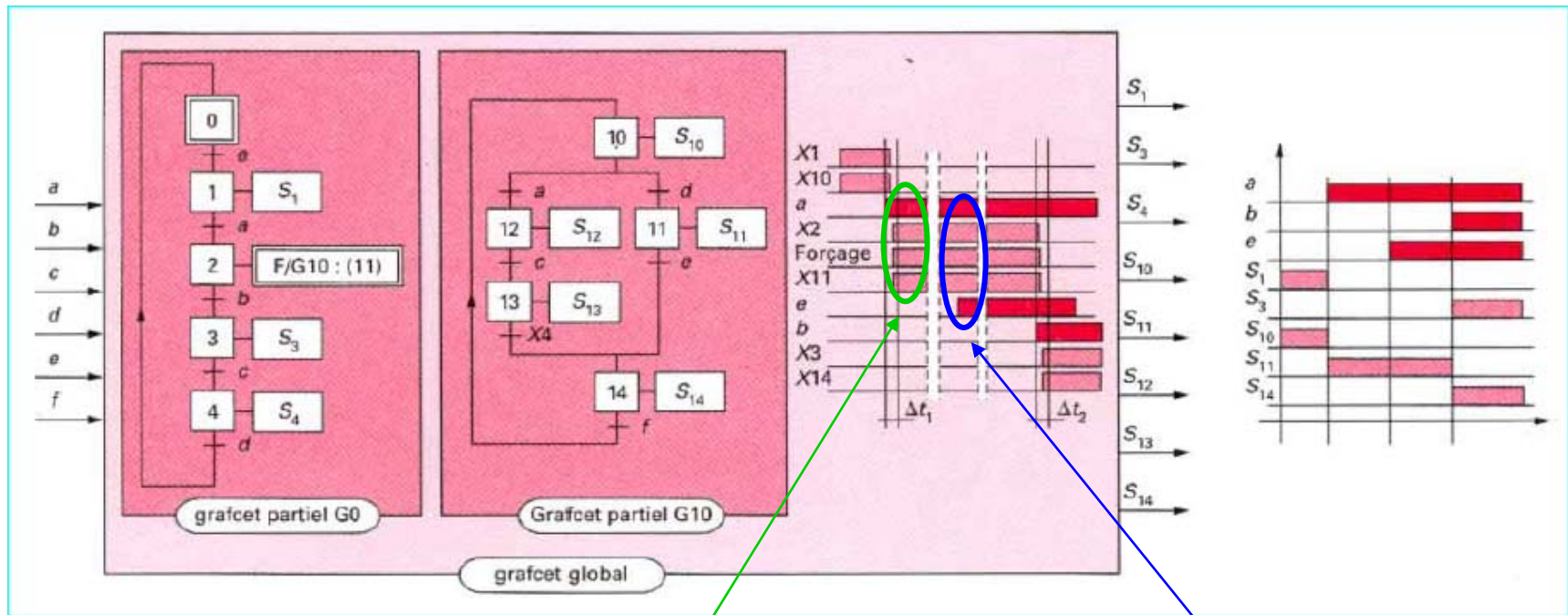
GRAFCET hiérarchique

■ Exemple :

- Après l'arrivée de l'entrée `Alarme` :
- Gel de G2 : G2 reste dans son état actuel. Ex ici : l'étape 110 reste active, même si `FinS1` se produit
- Puis après arrivée de `Réinitialiser` : forçage de G2 en activant l'étape 100



GRAFCET hiérarchique



a=1, donc normalement activation de l'étape 12. Mais comme X2 aussi => pas X12, mais X11 par forçage

e=1, mais comme X2 alors forçage de l'étape 11 : pas d'activation de l'étape 14



Le Grafcet – G7

Gestion des modes

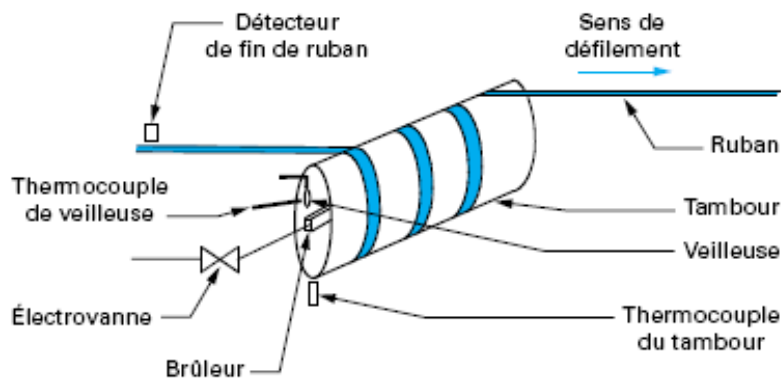
Gestion des modes

- Initialisation : activation des étapes initiales, non-activation des autres.
- Arrêts d'urgence : arrêt des actions en cours (sauf celles concernant la sécurité, frein par ex)
 - Arrêt urgence doux (AUd) : on stoppe les actions en cours sans désactiver les étapes
 - Arrêt d'urgence dur (AUD) : désactivation de toutes les étapes du G7
- L'arrêt d'urgence peut être géré :
 - directement dans les équations logiques du G7 (cf cours "implémentation")
 - par un **grafcet hiérarchiquement supérieur** qui permet la gestion des modes.

⇒ cette dernière solution permet également la gestion des défaillances, des modes normal, dégradé, d'arrêt d'urgence, etc..

Gestion des modes

■ Exemple : séchage de ruban



Notation pour les actions et les informations

Actions

Ouverture de l'électrovanne	OE
Rotation du tambour	R
Alarme veilleuse éteinte	AVE
Alarme fin de ruban	AFR

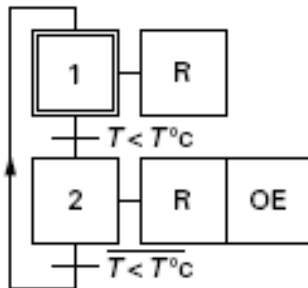
Informations

Température de tambour inférieure à température de consigne	$T < T^{\circ}\text{C}$
Veilleuse éteinte.....	ve
Détecteur de fin de ruban	dfr
Démarrage	d
Acquittement alarme.....	aa
Arrêt d'urgence.....	au

Gestion des modes

■ Exemple : séchage de ruban

Fonctionnement normal



Gestion des modes de fonctionnement et traitement des défaillances

