

(CEG4561/CSI4541 – Chapitre 4, annexe)

4.3 Le GRAFCET (*GRAphe Fonctionnel de Commande Étape-Transition*) :

4.3.1 Introduction et historique

4.3.1.1 Historique :

- 1975 : AFCET (Association française pour la Cybernétique Économique et Technique) qui regroupe des industriels, utilisateurs et constructeurs d'automatismes, et des universitaires a créé la commission de normalisation ayant pour but de définir des moyens capables de décrire les automatismes séquentiels.
- 1977 : proposition de l'outil de représentation GRAFCET.
- 1982 : ADEPA (Agence nationale pour le Développement de la Production Automatisée) donne au GRAFCET une forme normalisée : la norme française AFNOR C03190.
- 1987: Devient une norme Internationale IEC 848 (*Function Chart for Control Systems - FCCS*).

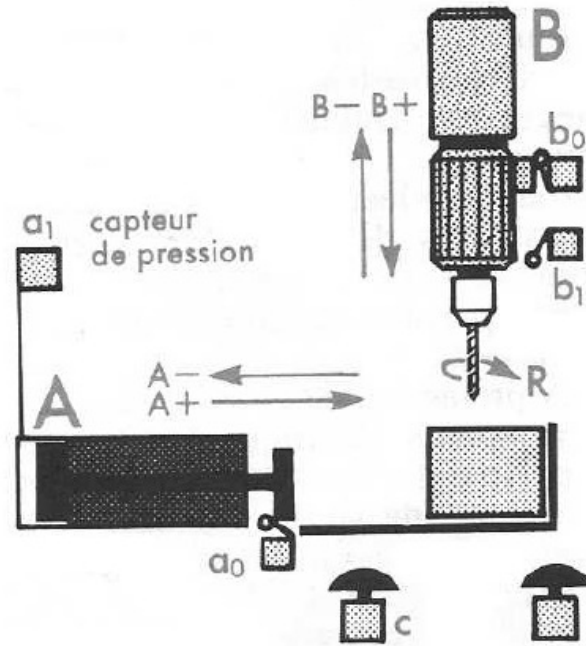
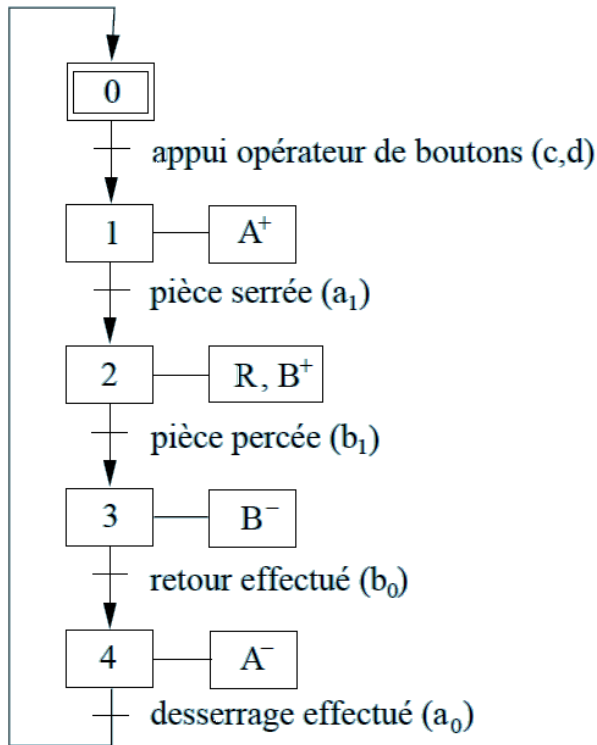
Le Grafcet est un outil graphique de définition pour l'automatisme séquentiel, en tout ou rien. Mais il est également utilisé dans beaucoup de cas combinatoires, dans le cas où il y a une séquence à respecter mais où l'état des capteurs suffirait pour résoudre le problème en combinatoire.

C'est une représentation graphique. C'est un langage clair, strict et sans ambiguïté.

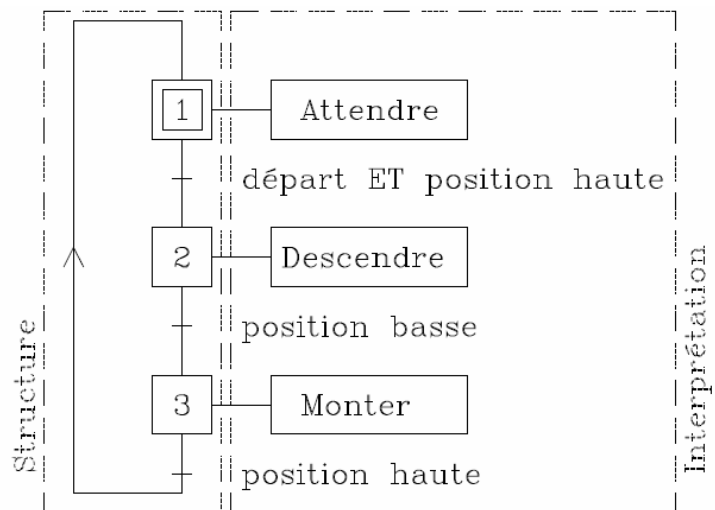
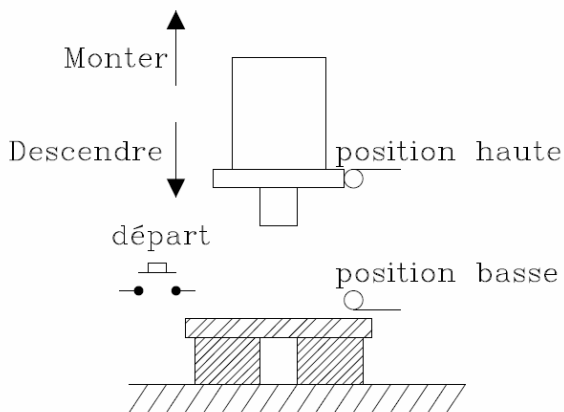
- Représente la succession des étapes dans le cycle
- L'évolution du cycle étape par étape est contrôlée par une transition disposée entre chaque étape
- À chaque étape peut correspondre une action
- À chaque transition correspond une condition (réceptivité) qui doit être satisfaite pour que la transition puisse être franchie.

4.3.1.2 Exemples :

a) Perceuse



b) Commande d'une poinçonneuse semi-automatique



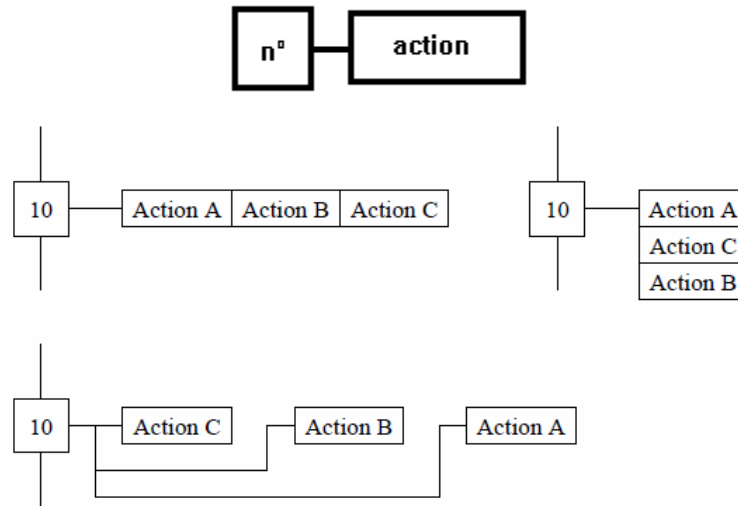
4.3.2 Définitions

Un Grafcet est composé d'**ÉTAPES**, de **TRANSITIONS** et de **LIAISONS**.

LIAISON : Arc orienté (ne peut être parcouru que dans un sens). À une extrémité d'une liaison il y a UNE (et une seule) étape, à l'autre UNE transition.

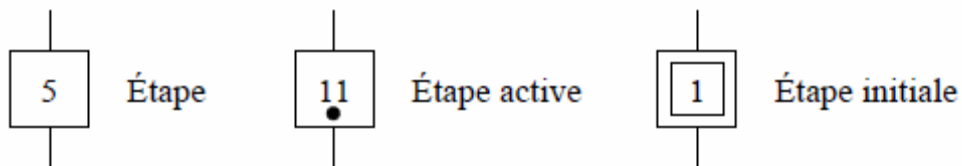
ÉTAPE : Correspond à une phase durant laquelle on effectue une ACTION pendant une certaine DUREE (même faible mais jamais nulle). L'action doit être stable pendant toute la durée de l'étape. L'action peut être une composition de plusieurs actions, ou à l'opposé l'inaction (étape dite d'attente).

On représente chaque étape par un carré, l'action est représentée dans un rectangle, l'entrée se fait par le haut et la sortie par le bas. On numérote chaque étape par un entier positif, mais pas nécessairement croissant par pas de 1. Deux étapes ne peuvent pas avoir le même numéro.

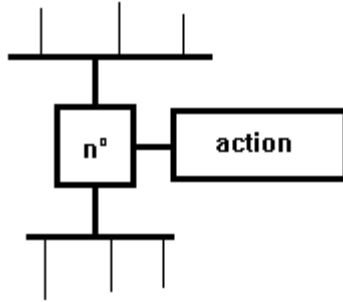


Étapes avec action

Note: La disposition des actions n'implique aucune priorité



Étapes active et initiale

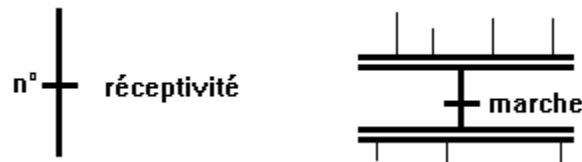


Liaisons multiples. Cas de plusieurs liaisons arrivant sur une étape ou partant de l'étape, on utilisera une barre horizontale.

Une étape est dite active lorsqu'elle correspond à une phase "en fonctionnement", c'est à dire qu'elle effectue l'action qui lui est associée. On représente une étape active à un instant donné en dessinant un point à l'intérieur.

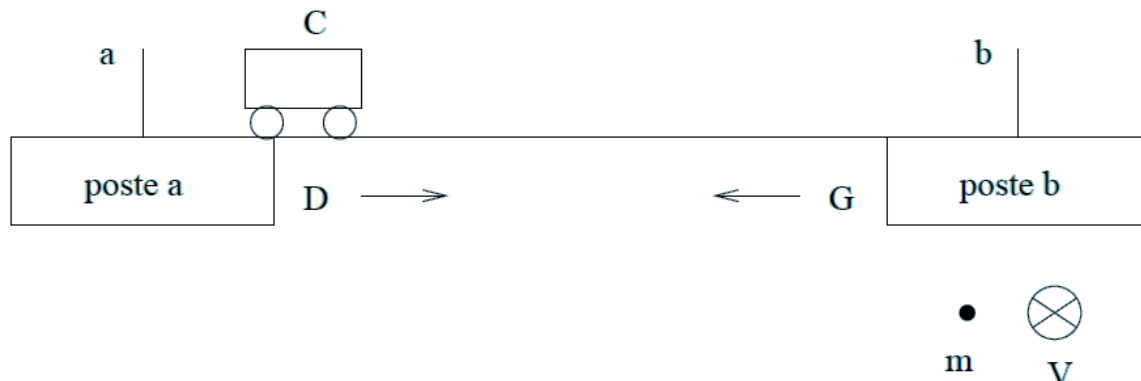
TRANSITION : C'est une condition de passage d'une étape à une autre. Elle n'est que logique (Vrai ou Faux), sans notion de durée. La condition est définie par une **RÉCEPTIVITÉ** qui est généralement une expression booléenne des CAPTEURS.

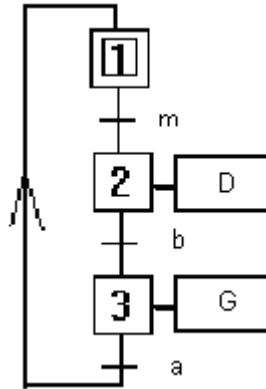
On représente une transition par un petit trait horizontal sur une liaison verticale. On note à droite la réceptivité, on peut noter à gauche un numéro de transition (entier positif, indépendant des numéros d'étapes).



Exemple :

Un chariot pouvant avancer (A) ou reculer (R) sur un rail limité par deux capteurs G et D, Un cahier des charges pourrait être : Quand on appuie sur le bouton DÉPART (m=1), on avance jusqu'en D, puis on revient. Le cahier des charges peut être détaillé en 3 phases : Attendre jusqu'à l'appui de DÉPART, avancer jusqu'en D, reculer jusqu'en G, attendre à nouveau DÉPART et recommencer. On suppose le chariot initialement en G.





4.3.3 Règles d'évolution

La modification de l'état de l'automatisme est appelée évolution, et est régie par **5 règles** :

Règle 1 : Situation initiale

La situation initiale d'un Grafset caractérise le comportement initial de la partie commande vis-à-vis de la partie opérative, de l'opérateur et/ou des éléments extérieurs. Elle correspond aux étapes actives au début du fonctionnement. Elle traduit généralement un comportement au repos.

Règle 2 : Franchissement d'une transition

Une transition est dite validée lorsque toutes les étapes précédentes reliées à cette transition sont actives. Le franchissement d'une transition se produit : lorsque la transition est validée et que la réceptivité associée à cette transition est vraie.

Règle 3 : 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.

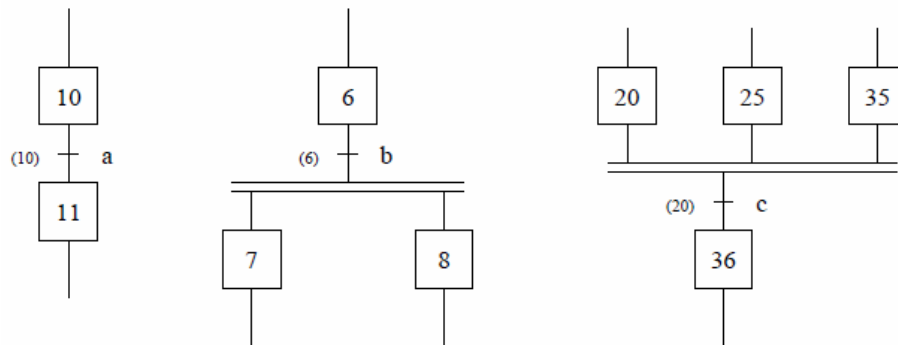
Règle 4 : Évolutions simultanées

Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies.

Règle 5 : Activation et désactivation simultanées d'une étape

Si, au cours du fonctionnement, la même étape est simultanément activée et désactivée, elle reste active.

Exemple : Validation de transition

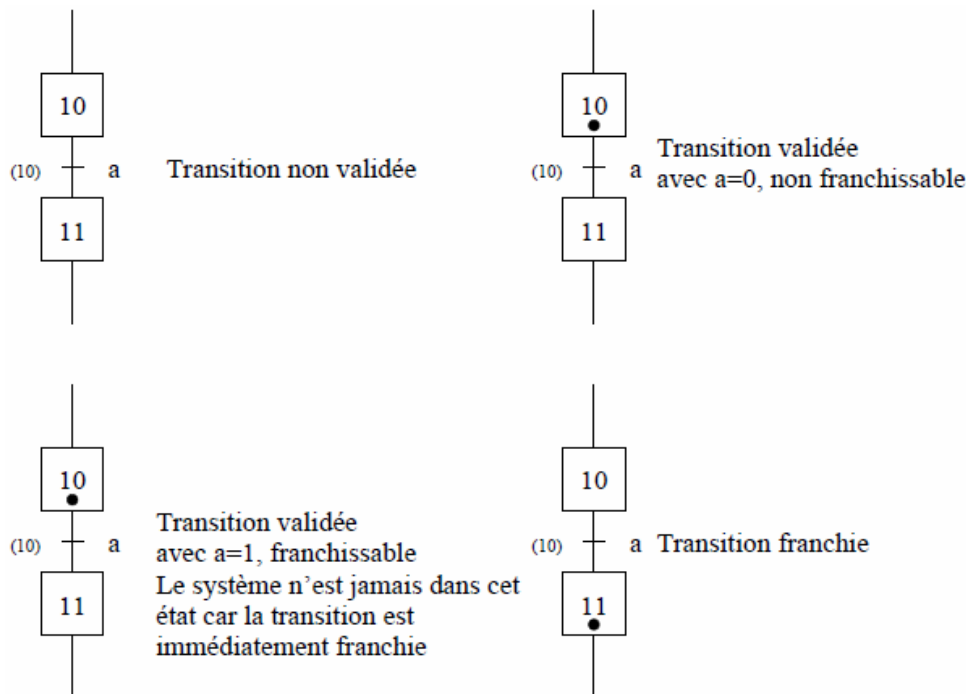


- La transition (10) est validée par une seule étape : 10.
- La transition (6) est validée lorsque l'étape 6 est active.
- La transition 20 sera validée lorsque les étapes 20, 25 et 35 seront actives.

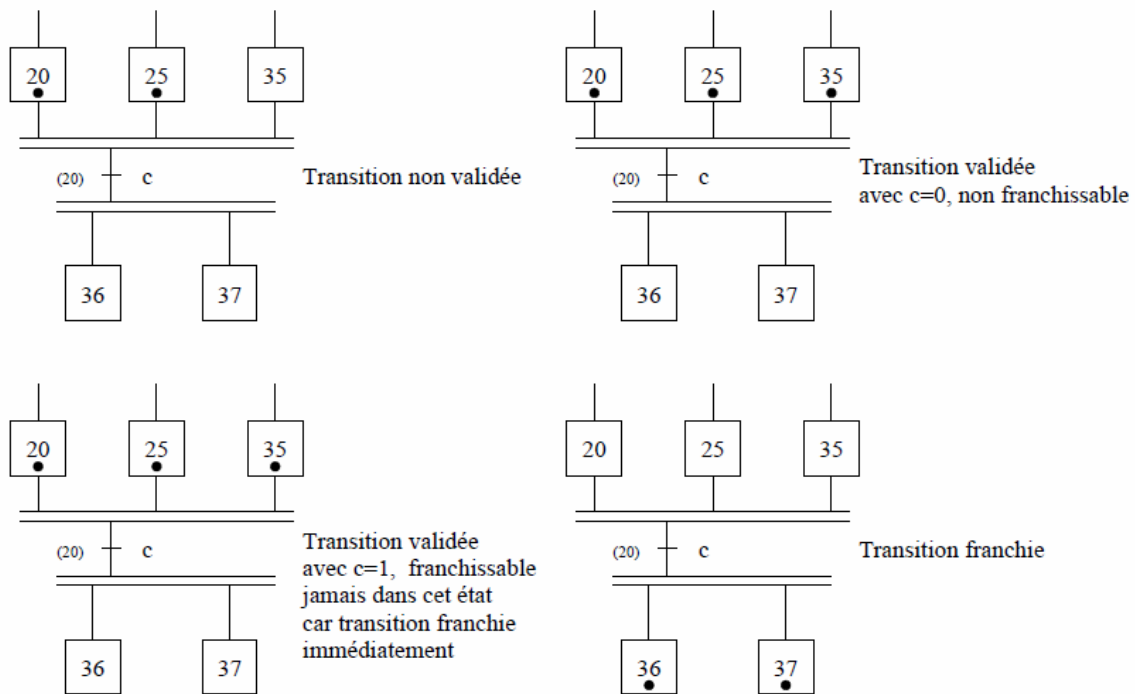
Exemple : Franchissement de transition

À noter que le franchissement d'une des transitions se produit lorsque la transition est validée et que la réceptivité associée à cette transition est vraie.

1)



2)



4.3.4 Niveau d'un Grafcet

Le Grafcet peut être utilisé aussi bien pour décrire l'aspect fonctionnel d'un automate que pour le définir dans le détail en tenant compte des technologies utilisées. Ces utilisations donnent respectivement des Grafquets de *niveau 1* et de *niveau 2*.

4.3.4.1 Grafcet de niveau 1 : *Spécifications fonctionnelles*

La première étape dans l'élaboration d'une commande par Grafcet est l'élaboration d'un Grafcet tenant compte exclusivement de l'aspect fonctionnel du cahier des charges. C'est un Grafcet de niveau 1 qui est généralement élaboré par l'utilisateur de l'installation à automatiser.

Note : il importe que les sécurités de fonctionnement prévues soient incorporées dans les spécifications fonctionnelles, dans la mesure où elles ne dépendent pas directement de la technologie de ces capteurs ou actionneurs.

Note : Après avoir défini le fonctionnement normal par ce Grafcet de base, il faut l'enrichir afin de tenir compte des modes de marches de l'installation : la mise en marche au démarrage, l'arrêt en cours de production, la remise en marche après l'arrêt, les arrêts d'urgence, etc. Le Guide d'Étude des Modes de Marches et d'Arrêts (le GEMMA qui sera décrit plus en avant) permet d'effectuer cet enrichissement de façon structurée et rigoureuse, rendant ainsi le Grafcet de base exploitable.

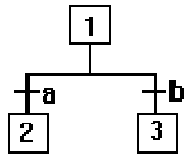
4.3.4.2 Grafcet de niveau 2 : *Spécifications technologiques et opérationnelles*

C'est un Grafcet plus technique qui tient compte, entre autres :

- de l'aspect fonctionnel du cahier des charges ;
- de la technologie de la partie opérative ;
- de la technologie de la partie commande ;
- de la nature des capteurs utilisés ;
- du mode traitement de l'information.

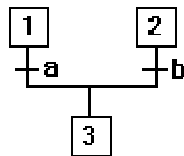
4.3.5 Configurations courantes

Divergence en OU :



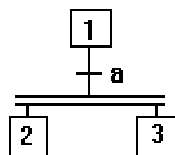
Si **1** active et si **a** seul, alors désactivation de **1** et activation de **2**, **3** inchangé. Si **a** et **b** puis **1** active alors désactivation **1**, activation **2** et **3** quel que soit leur état précédent. (Règle 4)

Convergence en OU :



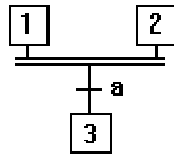
Si **1** active et **a** sans **b**, alors activation de **3** et désactivation de **1**, **2** reste inchangé. Si **1** et **2** et **a** et **b** alors **3** seule active

Divergence en ET :



Si **1** active et si **a**, alors désactivation de **1** et activation de **2** et **3**.

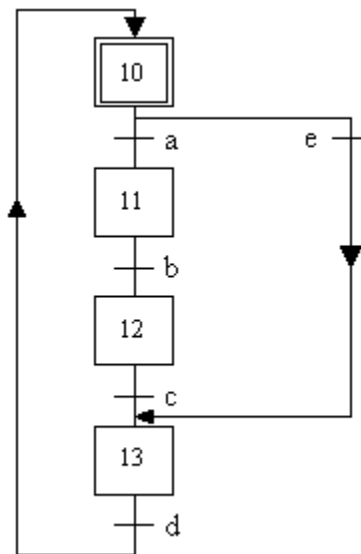
Convergence en ET :



Si **1** active seule et **a** alors aucun changement. Si **1** et **2** et **a**, alors activation de **3** et désactivation de **1** et **2**.

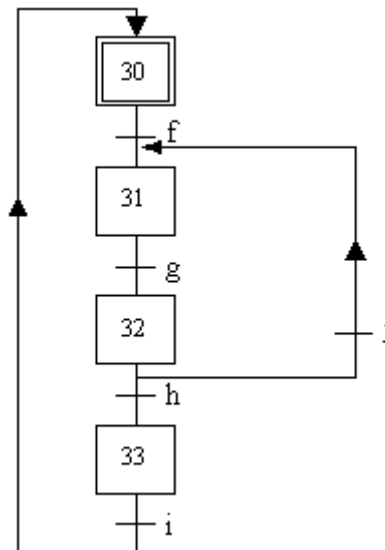
Le saut avant :

Saut de phase (*si a alors ...*) : Le saut en avant permet de sauter une ou plusieurs étapes lorsque les actions à réaliser deviennent inutiles.



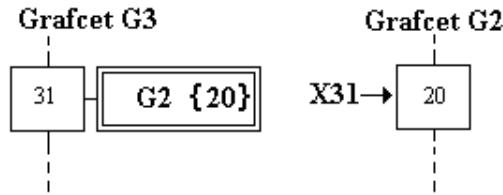
Saut en arrière :

Reprise de phase, les boucles (*répéter ... jusqu'à...*) : Le saut en arrière permet de reprendre une séquence lorsque les actions à réaliser sont répétitives.



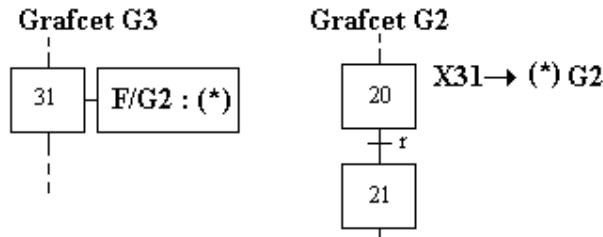
Forçage :

À l'étape **31** du Grafcet G3, il y a **forçage** du Grafcet G2 à l'étape **20**.

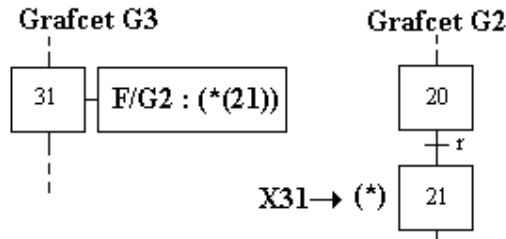


Figéage :

Cas 1 : Dans la situation courante, l'activation de l'étape **31** du Grafcet G3 fige le Grafcet G2 dans sa situation courante.



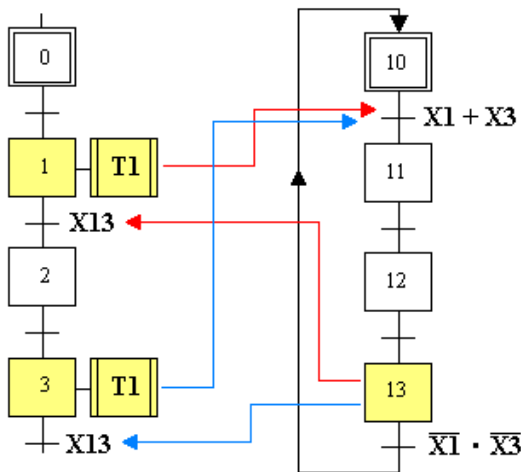
Cas 2 : Dans une situation prédéterminée, à la différence du cas précédent, le Grafcet G2 se figera à l'étape **21**, lorsqu'elle sera active.



Présentation d'une Macro :

Grafcet Principal

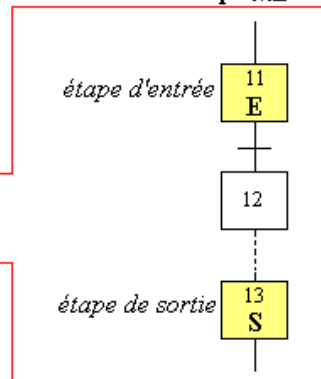
Grafcet T1



Sous-programme (tâche)

Grafcet Principal

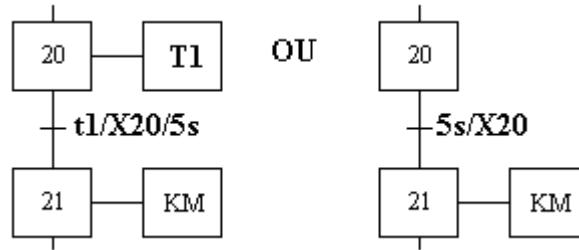
Expansion de la macro-étape M2



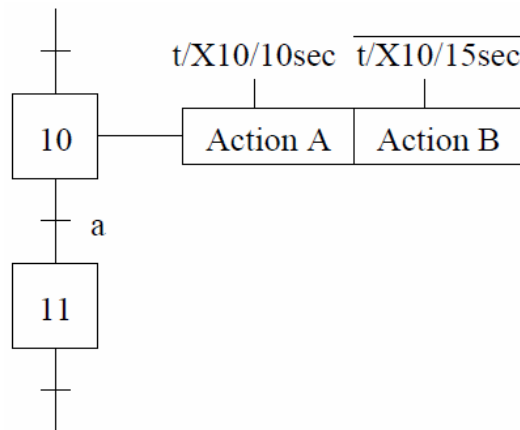
Macro-étape

Temporisation :

La transition **20 - 21** est franchie lorsque la temporisation, démarrée à l'étape **20** est écoulée, soit au bout de 5s.



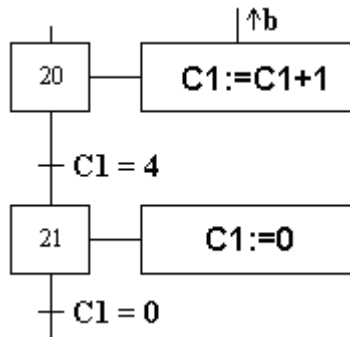
Ou bien :



Action retardée (A) ou limitée (B) dans le temps

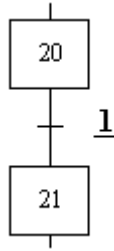
Comptage :

La transition **20 - 21** est franchie lorsque le contenu du compteur C1 est égal à 4. Le compteur est incrémenté sur front montant du signal b. Il est mis à zéro à l'étape **21**.



4.3.6 Cas particuliers

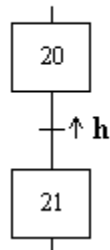
Réceptivité toujours vraie :



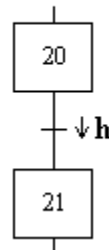
Événement (fronts montants ou descendants) :

La transition **20 - 21** est franchie lors d'un **front montant** sur h (cas n°1), ou lors d'un **front descendant** sur h (cas n°2).

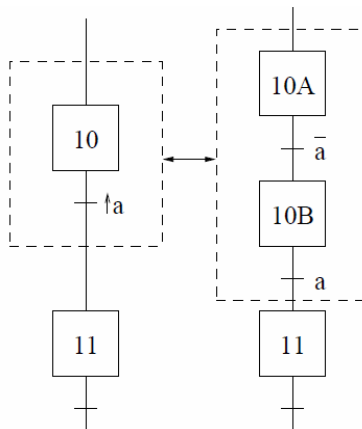
Cas n°1



Cas n°2



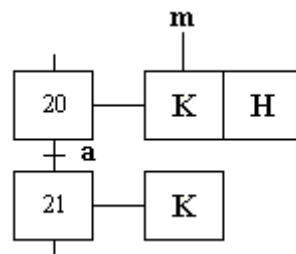
À noter l'équivalence suivante :



Action conditionnelle :

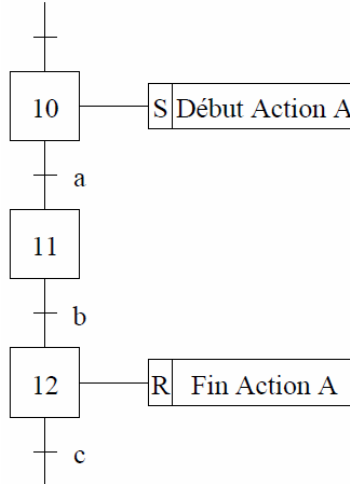
L'action K devient effective à l'étape **20**, lorsque la condition **m** est vraie.

$$K = X_{20.m} + X_{21}$$

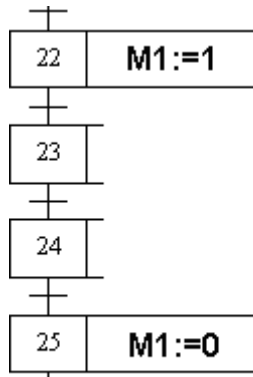


Mémorisation :

Pour qu'une action reste maintenue lorsque l'étape qui la commande vient à être désactivée, il faut utiliser une action mémorisée, ce qui est alors spécifiée par les lettres symbole de début **S** (set) et de fin d'action mémorisée **R** (reset) qui seront précisées dans les étapes correspondantes.

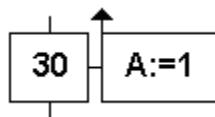


Ou bien : L'action **M1** (mémorisation) est active aux étapes **22, 23 et 24**.



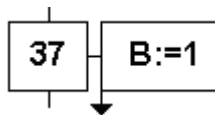
Action à l'activation :

L'affectation de **A** se produit à l'**activation** de l'étape **30**.



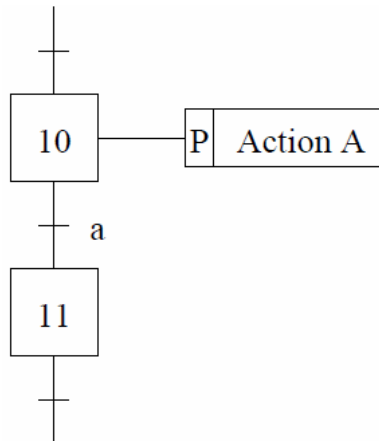
Action à la désactivation :

L'affectation de **B** se produit à la **désactivation** de l'étape **37**.



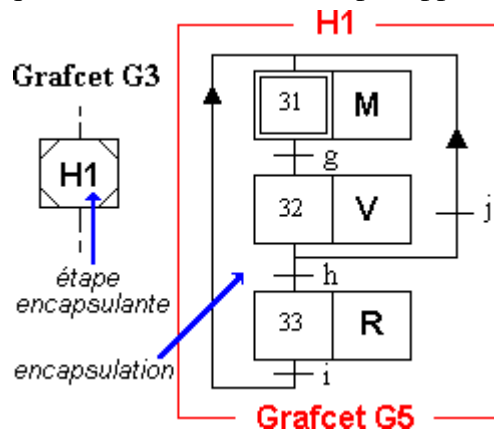
Actions impulsionnelles :

Les actions impulsionnelles sont des actions temporisées de durée très petite mais suffisante pour obtenir l'effet souhaité. On ajoutera la lettre P (Pulse) à l'action A.



Encapsulation :

Une étape **encapsulante** contient d'autres étapes dites **encapsulées**. Lorsque l'étape encapsulante est active, son **encapsulation** peut évoluer librement. La désactivation d'une étape encapsulante provoque la désactivation des étapes appartenant à son encapsulation.

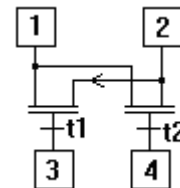


Exemples :

1)

Soient 4 étapes 1 à 4 et deux transitions de réceptivité t1 et t2. Construire la portion de Grafcet réalisant :

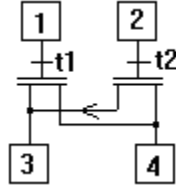
- Quand **1** ET **2** actifs alors :
 - o si **t1** passer en **3** (et désactiver **1** et **2**),
 - o si **t2** passer en **4** (et désactiver **1** et **2**),
 - o sinon rester en **1** et **2**



2)

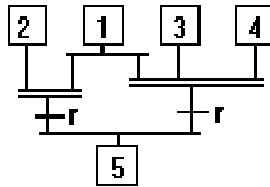
Problème du même ordre :

- Quand (étape 1 et t1) OU (étape 2 et t2)
 - o alors passer en 3 ET 4:



3)

Si {étape 1 et [étape 2 ou (étapes 3 et 4)]} et réceptivité r alors activer l'étape 5 (et désactiver les autres).

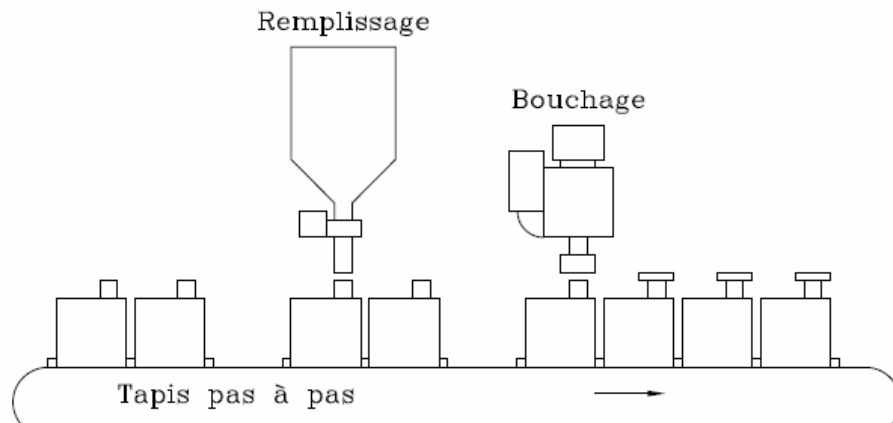


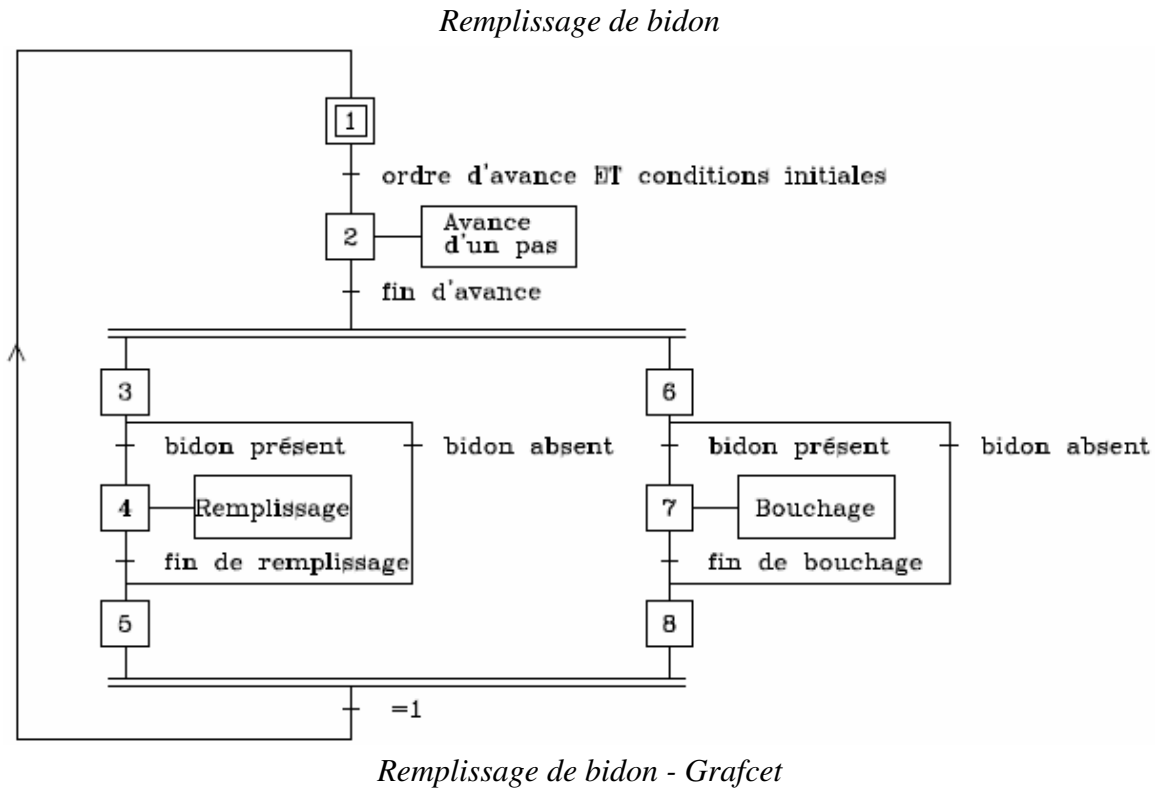
4.3.7 Études de cas (D'après R. Gourdeau et G. M. Cloutier) :

4.3.7.1 Remplissage de bidons

D'après J.C. Bossy, P. Brard, P. Faugère, and C. Merlaud. *Le GRAFCET : sa pratique et ses applications*. Casteilla, Paris, 1995.

Un tapis avance pas à pas et transporte des bidons vides qui seront remplis et ensuite bouchés à des postes de travail différents (voir figure ci-dessous). L'approvisionnement en bidons n'est pas régulier et certains bidons peuvent manquer de temps à autre. La distance entre les bidons présents est fixée par des taquets situés sur le tapis et distants d'un pas. Un dispositif permet à chacun des deux postes décrits, de détecter la présence ou l'absence d'un bidon. Le Grafcet de cette installation est donné par le graphe ci-dessous. La réceptivité toujours vraie (= 1) qui suit les étapes d'attente 5 et 8 permet de synchroniser les opérations effectuées aux deux postes.





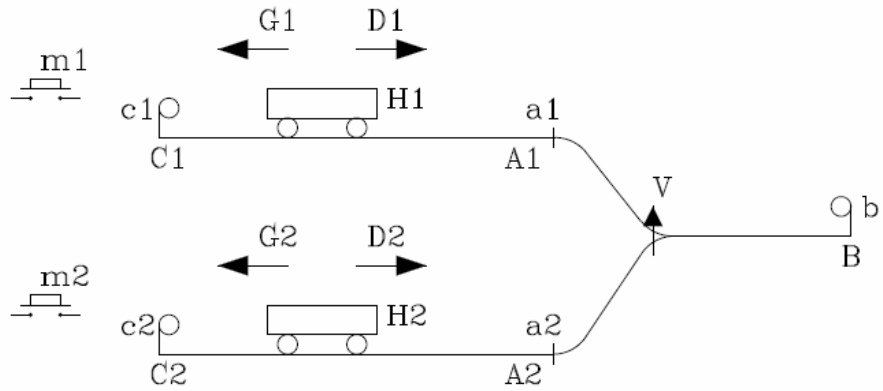
4.3.7.2 Synchronisation entre séquences

Cas 1 : Séquences exclusives

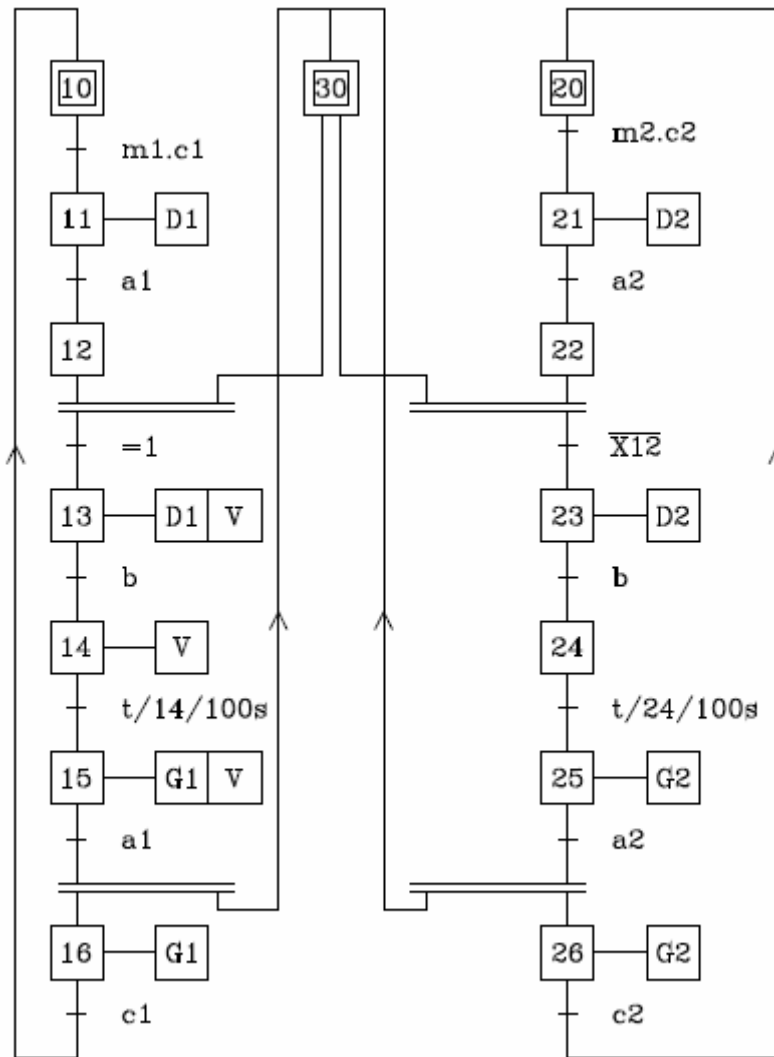
Deux chariots H1 et H2 (voir figure ci-dessous) transportent du matériel depuis les points de chargement (C1 et C2) jusqu'au point de déchargement (B). Les variables c_1 , c_2 et b ayant la valeur 1 indiquent la présence d'un chariot en fin de course. Les variables a_1 et a_2 indiquent la présence d'un chariot au-dessus des capteurs A1 et A2 respectivement. Au départ, les deux chariots sont en C1 et C2. Si le bouton poussoir m_1 est enfoncé, pour le chariot H1, un cycle C1,B,C1 commence avec :

1. attente éventuelle sur A1 jusqu'à ce que la zone commune soit libre ;
2. attente en B de 100 secondes pour le déchargement.

Le chariot H2 fonctionne de la même façon. L'aiguillage est contrôlé par la variable V : chemin C1-B lorsque $V = 1$ et chemin C2-B lorsque $V = 0$.



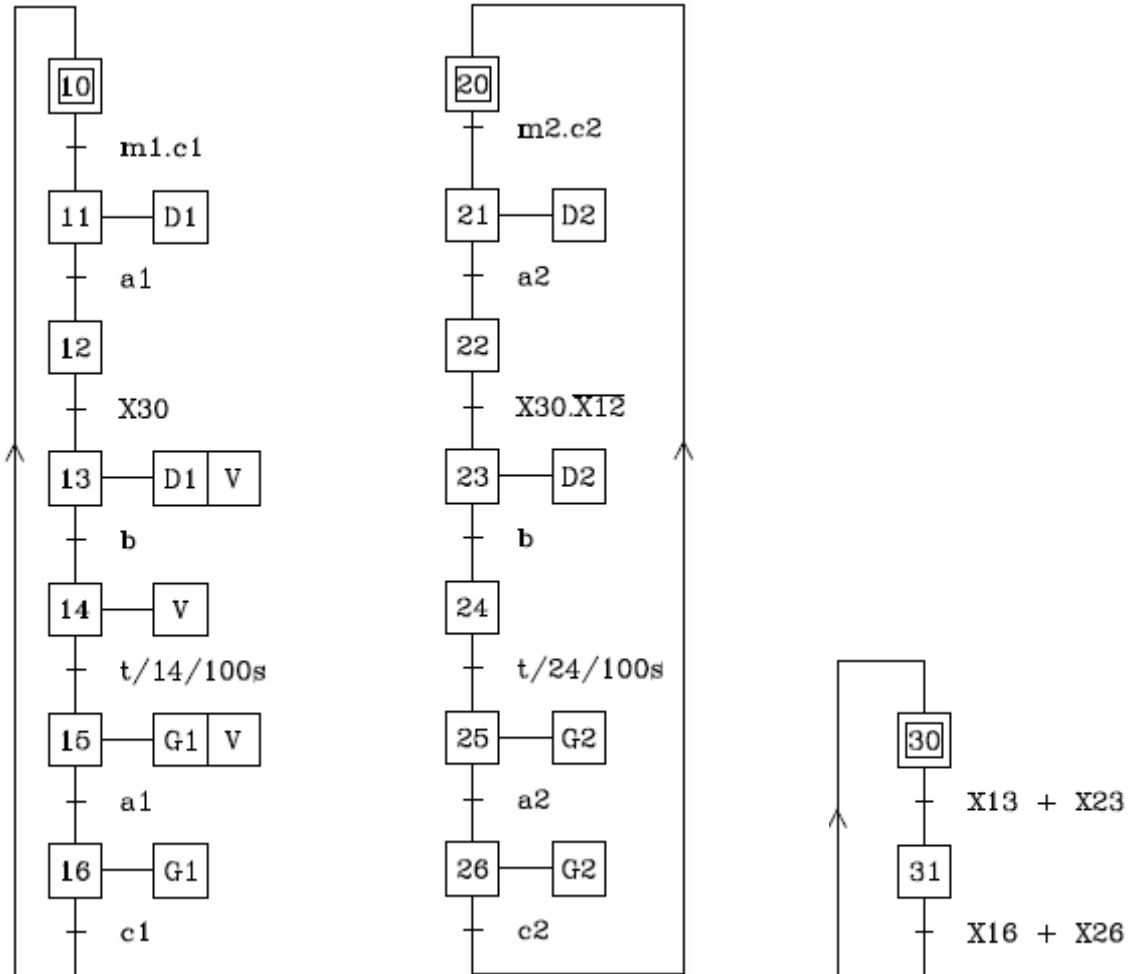
Installation avec deux chariots avec aiguillage



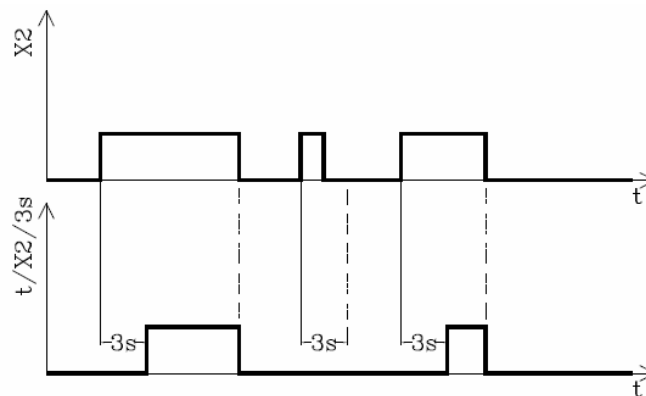
Installation avec deux chariots avec aiguillage – Grafset

Cas 2 : Deux Grafquets partiels plus synchronisation

Ce Grafcet peut aussi se décomposer en deux cycles (Grafquets partiels) avec un Grafcet de synchronisation (voir figure ci-dessous). Les réceptivités entre les étapes 14–15 et 24–25 sont des temporisations. Par exemple, $t/14/100s$ est une variable logique valant 0 dans les 100 premières secondes suivant l'activation de l'étape 14 et valant 1 après ce délai. La figure ci-dessous montre le chronogramme de X2 et $t/X2/3s$.



Installation avec deux chariots avec aiguillage – Grafquets partiels

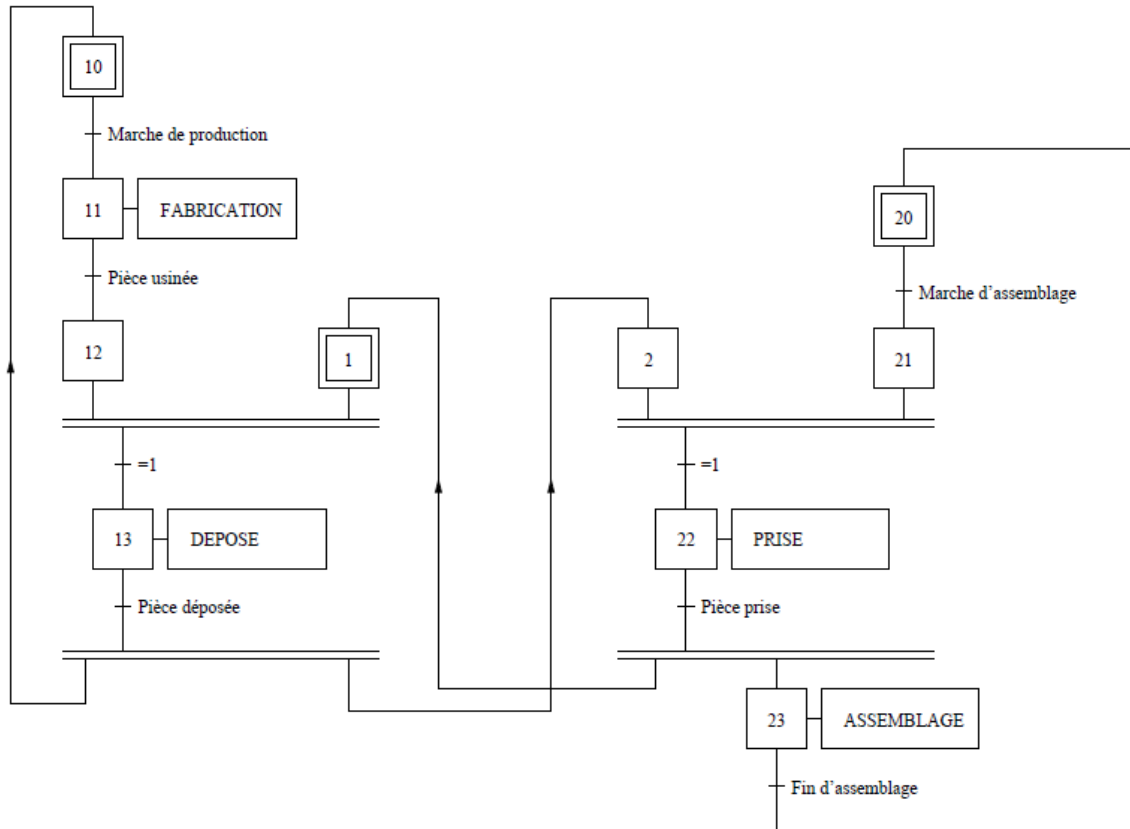


Exemple de temporisation

4.3.7.3 Séquences alternées

D'après AFCET – ADEPA. *Le GRACET. Cépaduès, Toulouse, 2e édition, 1995.*

Deux opérations doivent se faire de façon alternée : une première de fabrication et une deuxième d'assemblage qui utilise le produit de la fabrication. Le tout résulte en une alternance entre la dépose des pièces fabriquées et la prise pour l'assemblage (voir Grafcet ci-dessous).



Grafcet avec séquences alternées