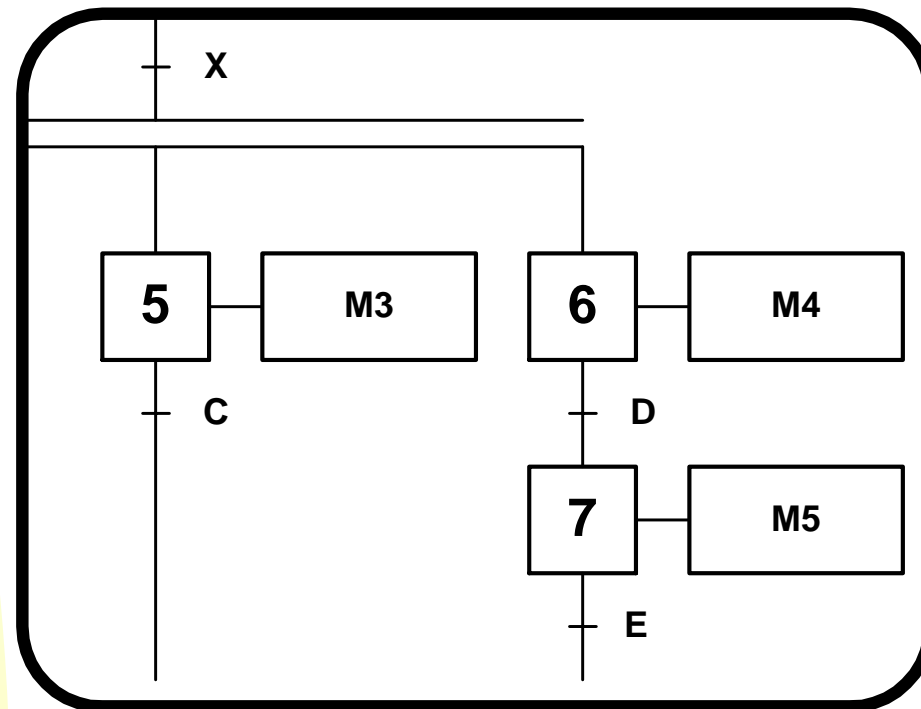


Le GRAFCET

Cours #5: GPA-140

Automne 2006



GRAFCET

Introduction au GRAFCET

- ❖ Inventé en 1977 en France par l'AFCET:
 - ❖ Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique
- ❖ Acronyme de **GRA**phe **F**onctionnel de **C**ommande, **É**tapes, **T**ransitions
- ❖ En anglais : *Sequential Function Chart (SFC)*

Introduction au GRAFCET (2)

❖ Diffusé par l'ADEPA

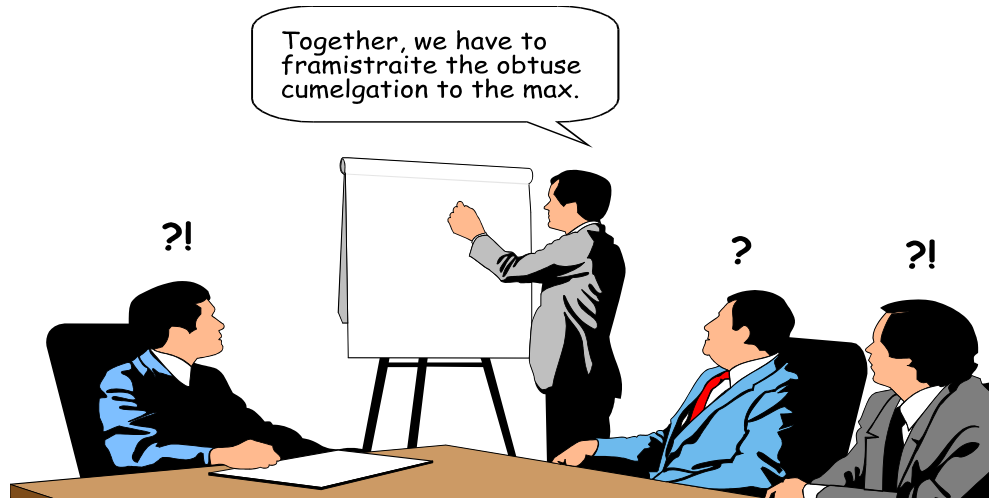
- ❖ Agence Nationale pour le Développement de la Productique Appliquée à l'Industrie

❖ Normalisation

- ❖ France : NFC 03-190 (juin 1982)
- ❖ CÉI : IEC 848 (1988)
- ❖ CÉI : IEC 1131.3 (mars 1993)
 - International Electrotechnical Committee

Pourquoi le GRAFCET ?

- ❖ Lorsque certaines spécifications sont exprimées en langage courant, il y a un risque permanent d'incompréhension.
 - ⊗ Certains mots sont peu précis, mal définis ou possèdent plusieurs sens.
 - ⊗ Le langage courant est mal adapté pour décrire précisément les systèmes séquentiels.



Pourquoi le GRAFCET ? (2)

- ❖ Le GRAFCET fut donc créé pour représenter de façon symbolique et graphique le fonctionnement d'un automatisme.
- ❖ Cela permet une meilleure compréhension de l'automatisme par tous les intervenants.

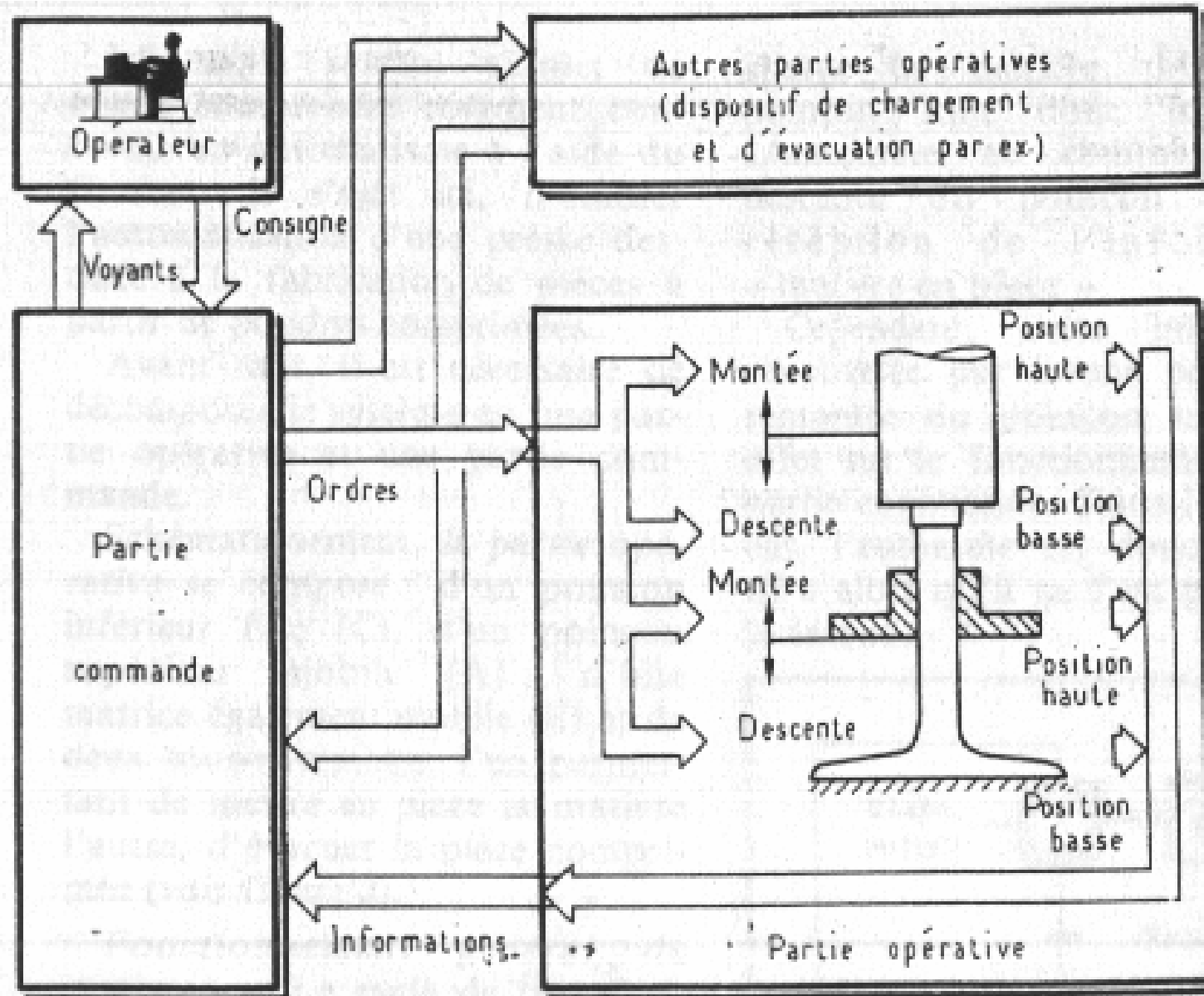
Pourquoi le GRAFCET ? (3)

- ❖ Un GRAFCET est établi pour chaque machine lors de sa conception, puis utilisé tout au long de sa vie : réalisation, mise au point, maintenance, modifications, réglages.
- ❖ Le langage GRAFCET doit donc être connu de toutes les personnes concernées par les automatismes, depuis leur conception jusqu'à leur exploitation.

Les avantages du GRAFCET

- ❖ il est indépendant de la *matérialisation technologique* ;
- ❖ il traduit de façon cohérente le *cahier des charges* ;
- ❖ il est bien adapté aux *systemes automatisés*.

Synoptique d'un système à automatiser



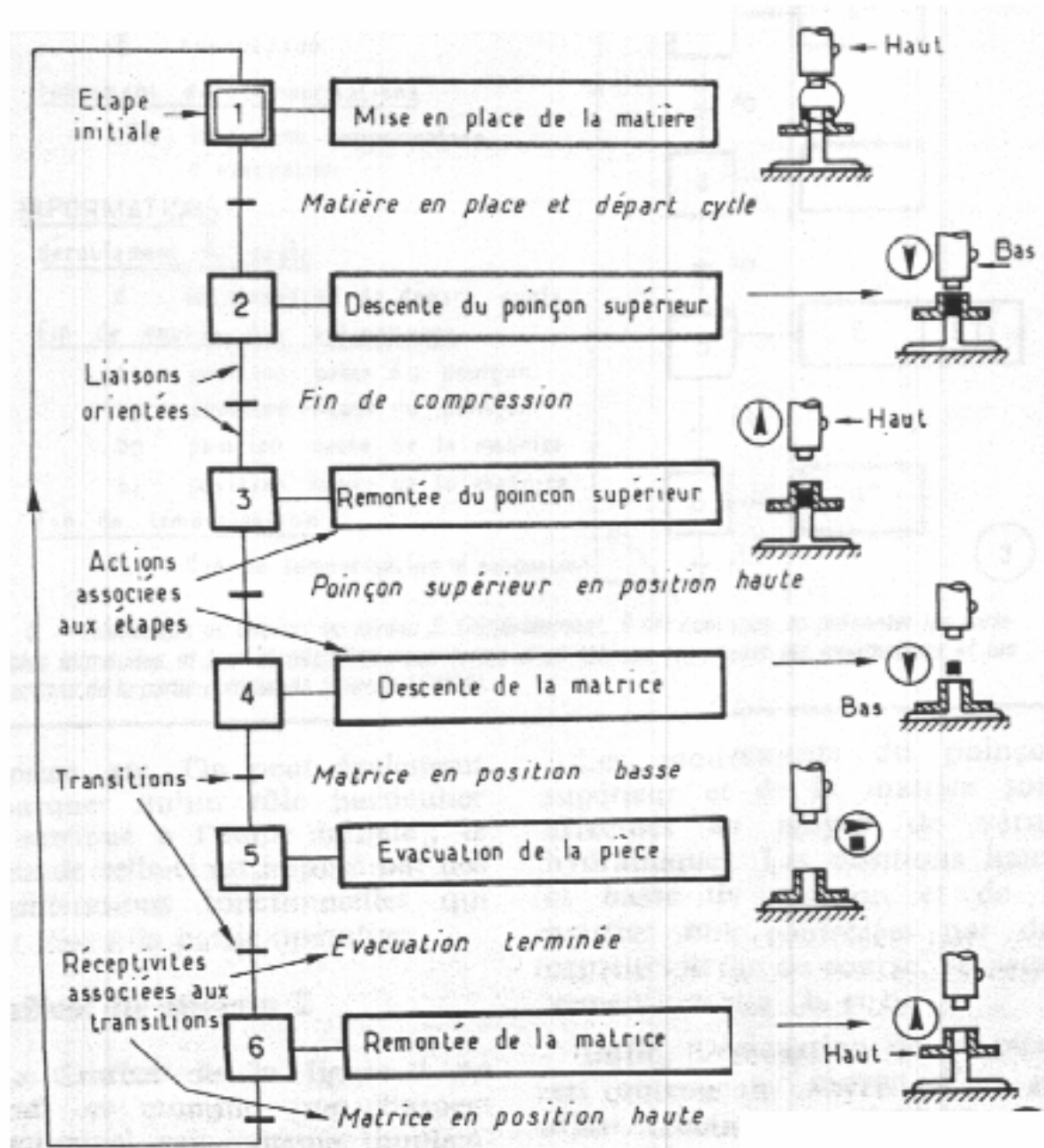
Les niveaux de représentation

- ❖ Le GRAFCET utilise deux niveaux de représentation:
 - ⊗ Niveau #1 : Spécifications fonctionnelles
 - ⊗ Niveau #2 : Spécifications technologiques

Niveau 1: Spécifications fonctionnelles

- ❖ Représentation de la séquence de fonctionnement de l'automatisme sans se soucier de la technologie des actionneurs et des capteurs.
- ❖ Description littérale des actions et de la séquence de l'automatisme.

GRAFCET de niveau 1



Niveau 2 : Spécifications technologiques

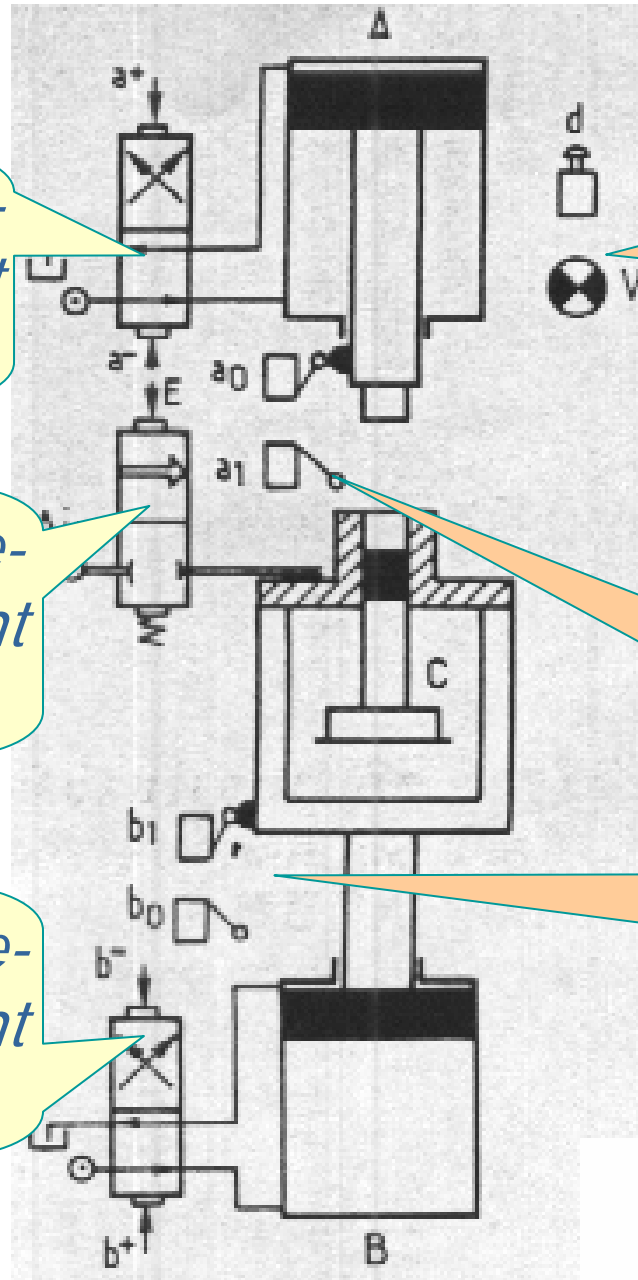
- ❖ Prise en compte de la technologie des actionneurs et des capteurs de l'automatisme.
- ❖ Description symbolique des actions et de la séquence de l'automatisme.

Les choix technologiques

Distributeur double-action commandant le poinçon.

Distributeur simple-action commandant l'évacuation.

Distributeur double-action commandant la matrice.



Poussoir de départ de cycle.

Signalisation « Prêt ».

Détecteurs poinçon en position haute ou basse.

Détecteurs matrice en position haute ou basse.

GRAFCET de niveau 2

ORDRES

vers le milieu extérieur et l'opérateur

V : voyant "Prêt"

commande des actionneurs

a+ : descente poinçon

a- : remontée poinçon

b- : descente matrice

b+ : remontée matrice

E : évacuation

lancement de temporisations

LT1 : lancement temporisation
d'évacuation

INFORMATIONS

déroulement du cycle

d : autorisation de départ cycle

fin de course des actionneurs

a1 : position basse du poinçon

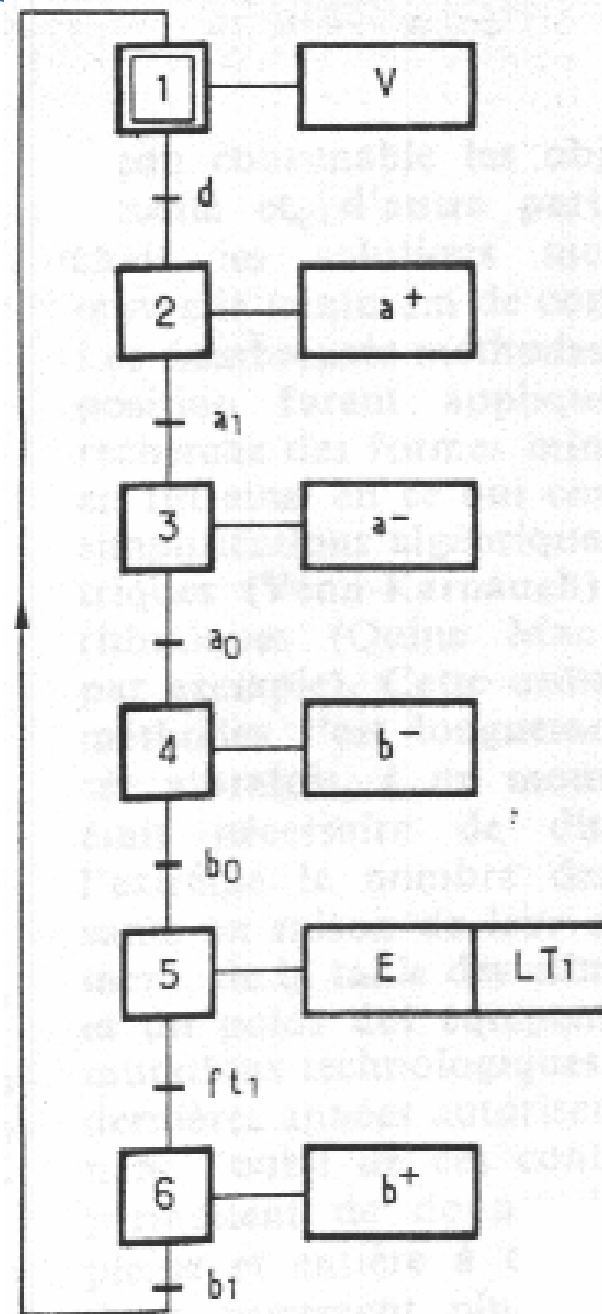
a0 : position haute du poinçon

b0 : position basse de la matrice

b1 : position haute de la matrice

fin de temporisation

ft1 : fin de temporisation d'évacuation



Note importante

- ❖ Le GRAFCET ne s'attarde qu'au fonctionnement normal de l'automatisme et ne prend pas en compte les divers modes de marche et d'arrêt, de même que les défaillances.
- ❖ Le GEMMA nous introduira à ces modes ultérieurement.

Les éléments de base

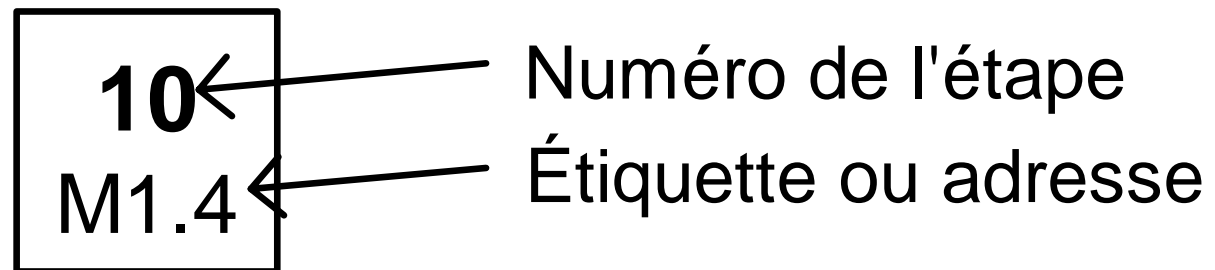
- ❖ Pour comprendre la syntaxe du GRAFCET, il faut connaître les éléments suivants:
 - ⊗ Étapes
 - ⊗ Transitions
 - ⊗ Réceptivités
 - ⊗ Actions
 - ⊗ Liaisons

L'étape

❖ Définition:

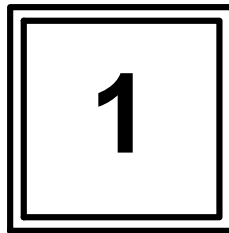
- ❖ Situation dans laquelle le comportement du système par rapport à ses entrées et ses sorties est invariant.

❖ Représentée par un carré numéroté

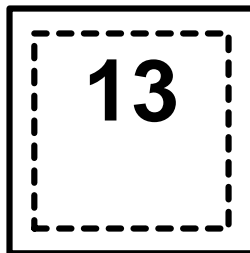


L'étape

- ❖ L'étape initiale est représentée par un carré double



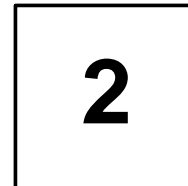
- ❖ L'étape initialisable est représenté par un carré double avec le carré intérieur en pointillé



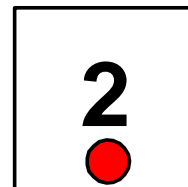
L'étape

- ❖ Chaque étape est représentée par une variable Booléenne X_i
 - ⊗ (i = numéro de l'étape)

❖ Si $X_i = 0$, étape inactive



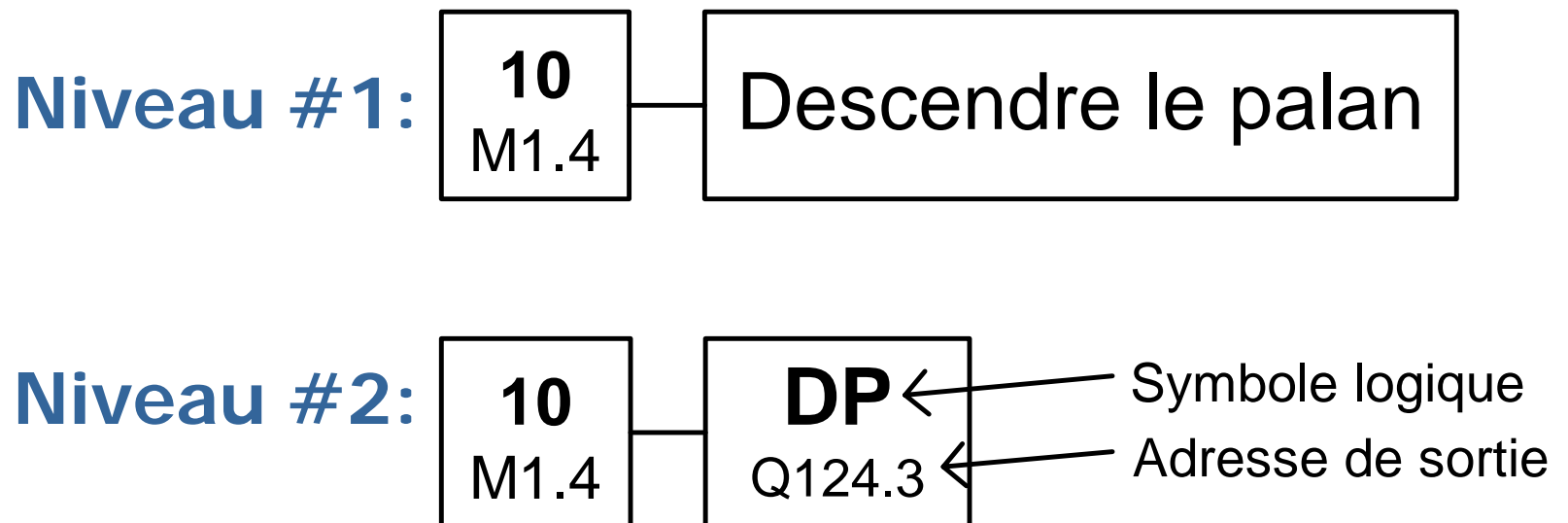
❖ Si $X_i = 1$, étape active



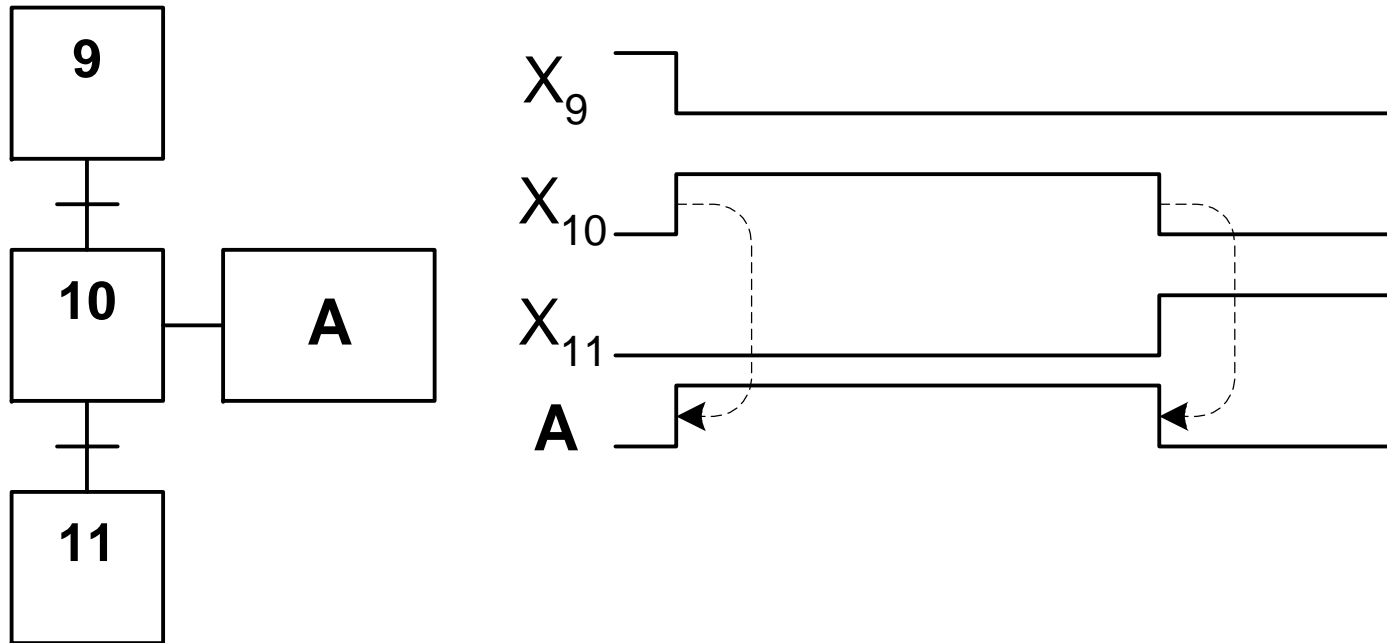
L'action

❖ Définition:

- ❖ Description des tâches à effectuer lorsqu'une étape est active.



Action continue

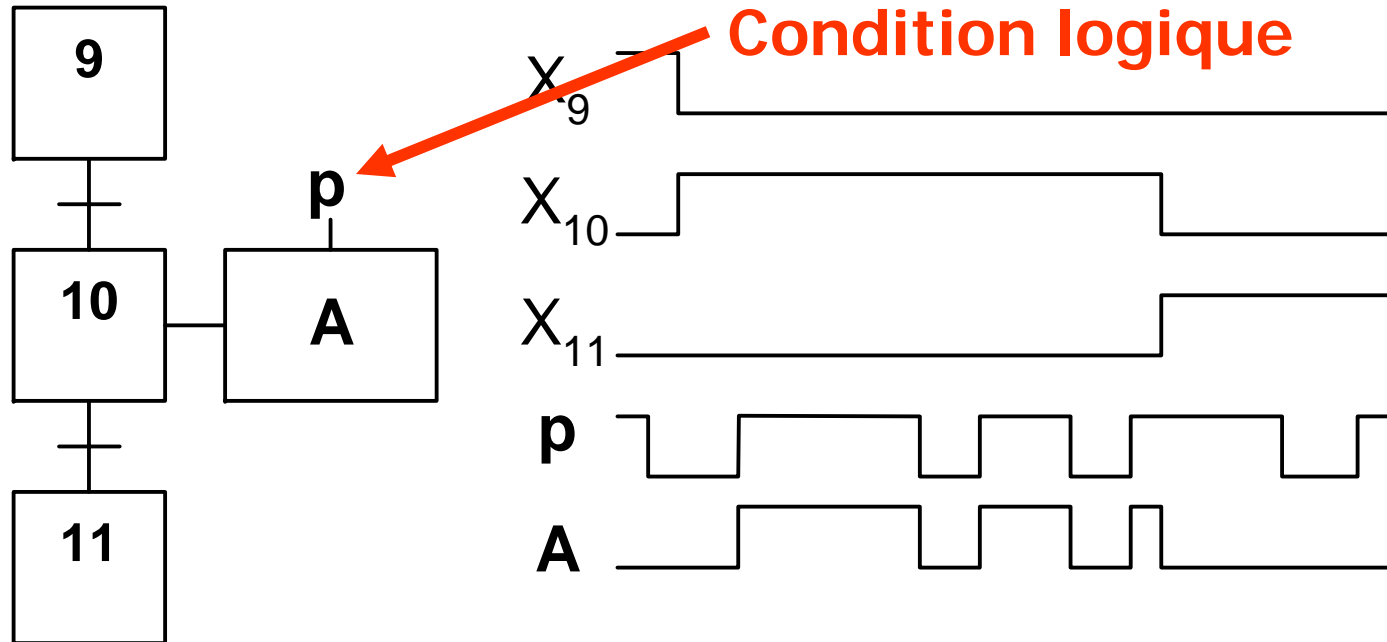


❖ Définition:

⊗ Action qui dure tant que l'étape est active.

⊗ $A = X_{10}$

Action conditionnelle

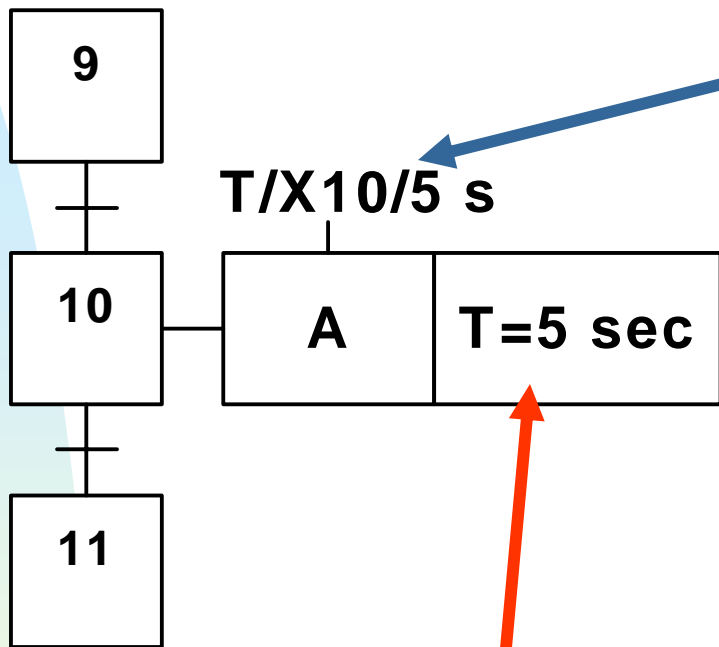


❖ Définition:

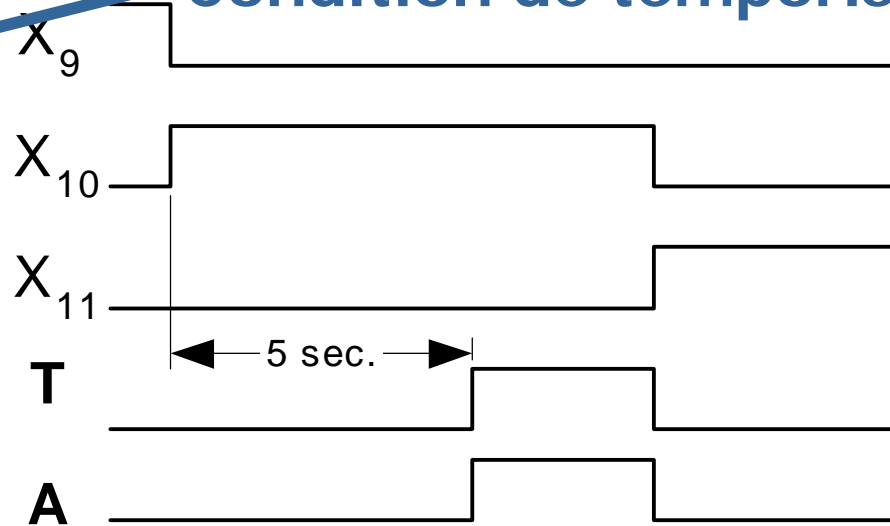
- ❖ Action qui dure tant que l'étape est active et que la condition logique est vraie

$$\text{❖ } A = P * X_{10}$$

Action temporisée

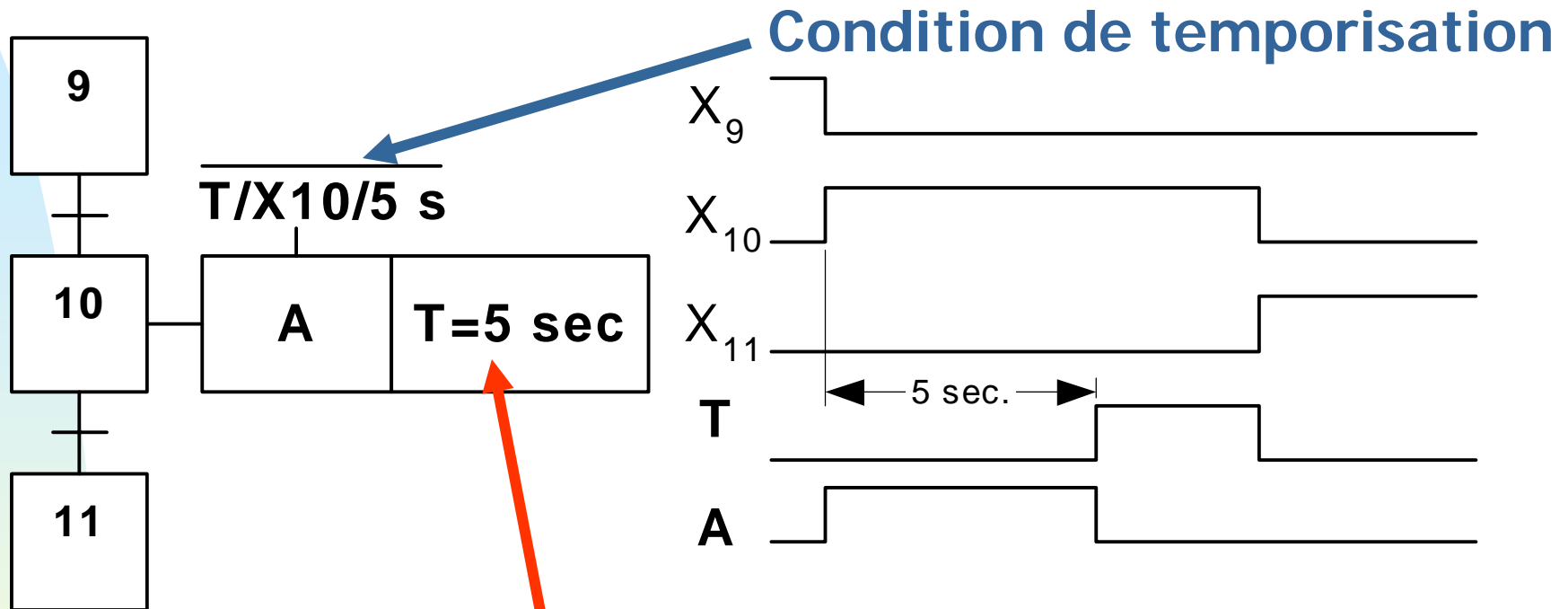


Condition de temporisation



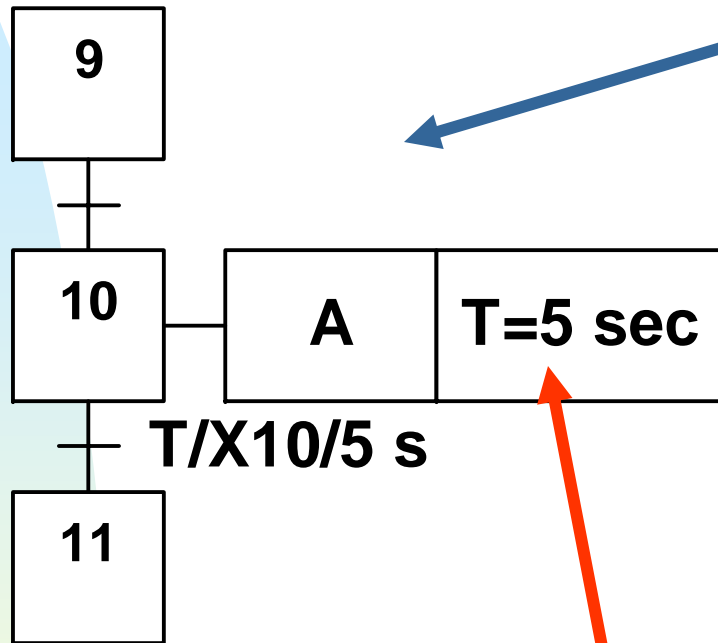
Action de temporisation

Action impulsionnelle

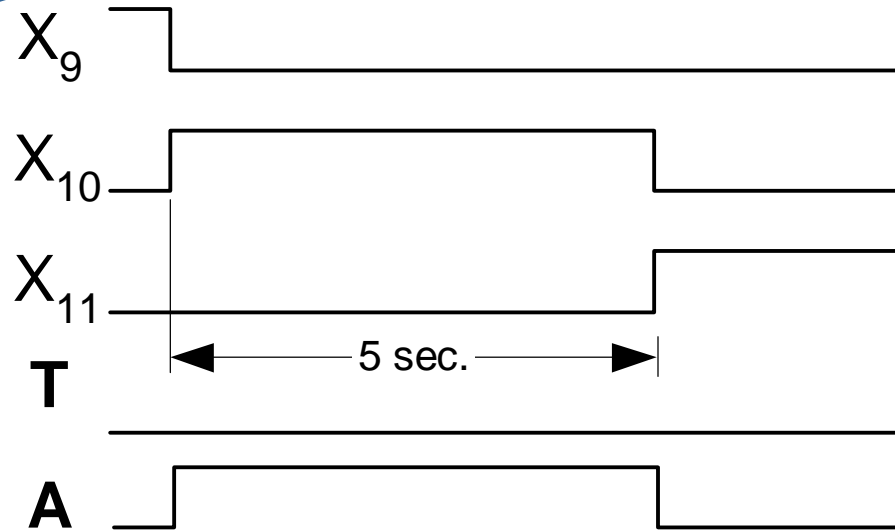


Action de temporisation

Action impulsionnelle "obligatoire"

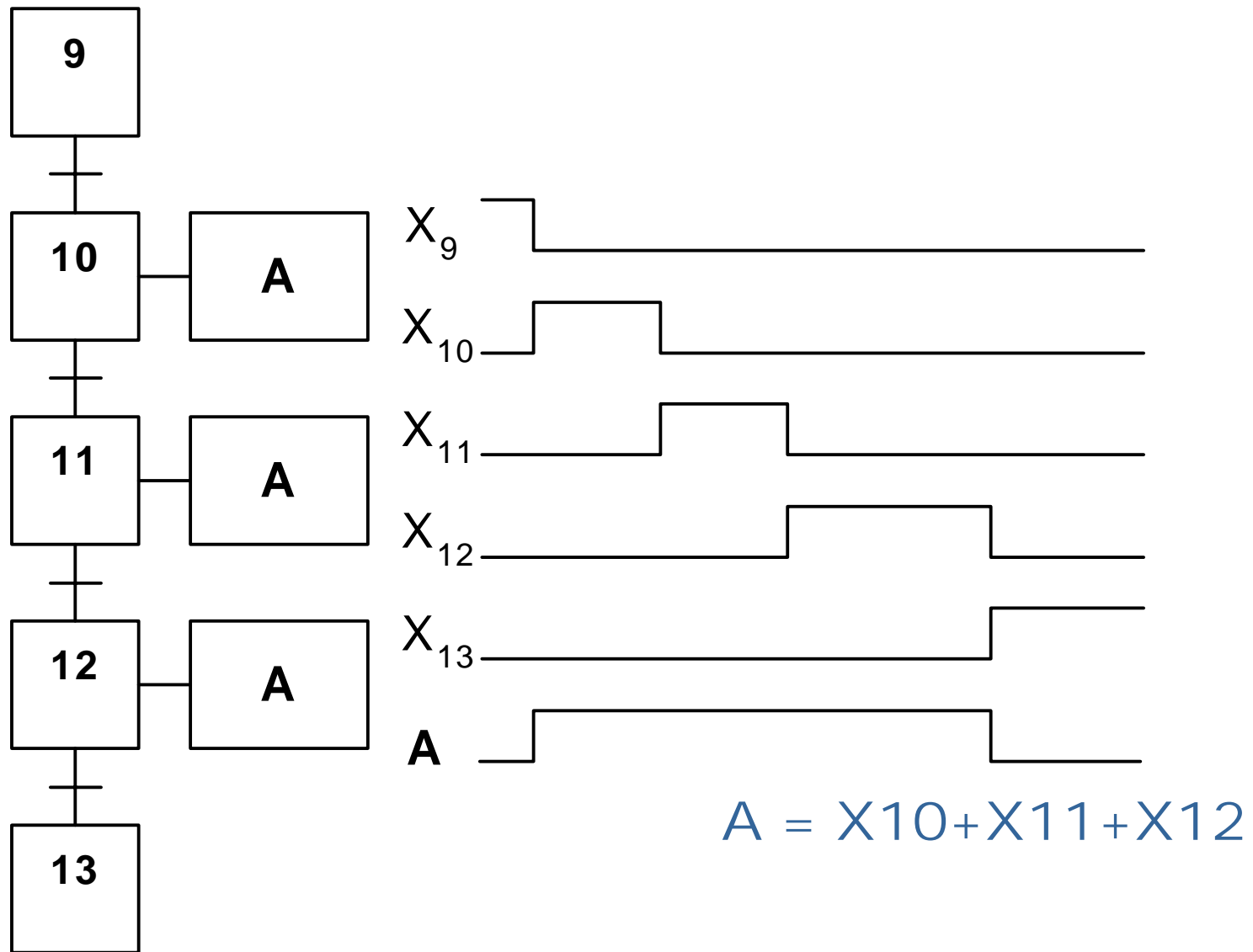


Condition de temporisation

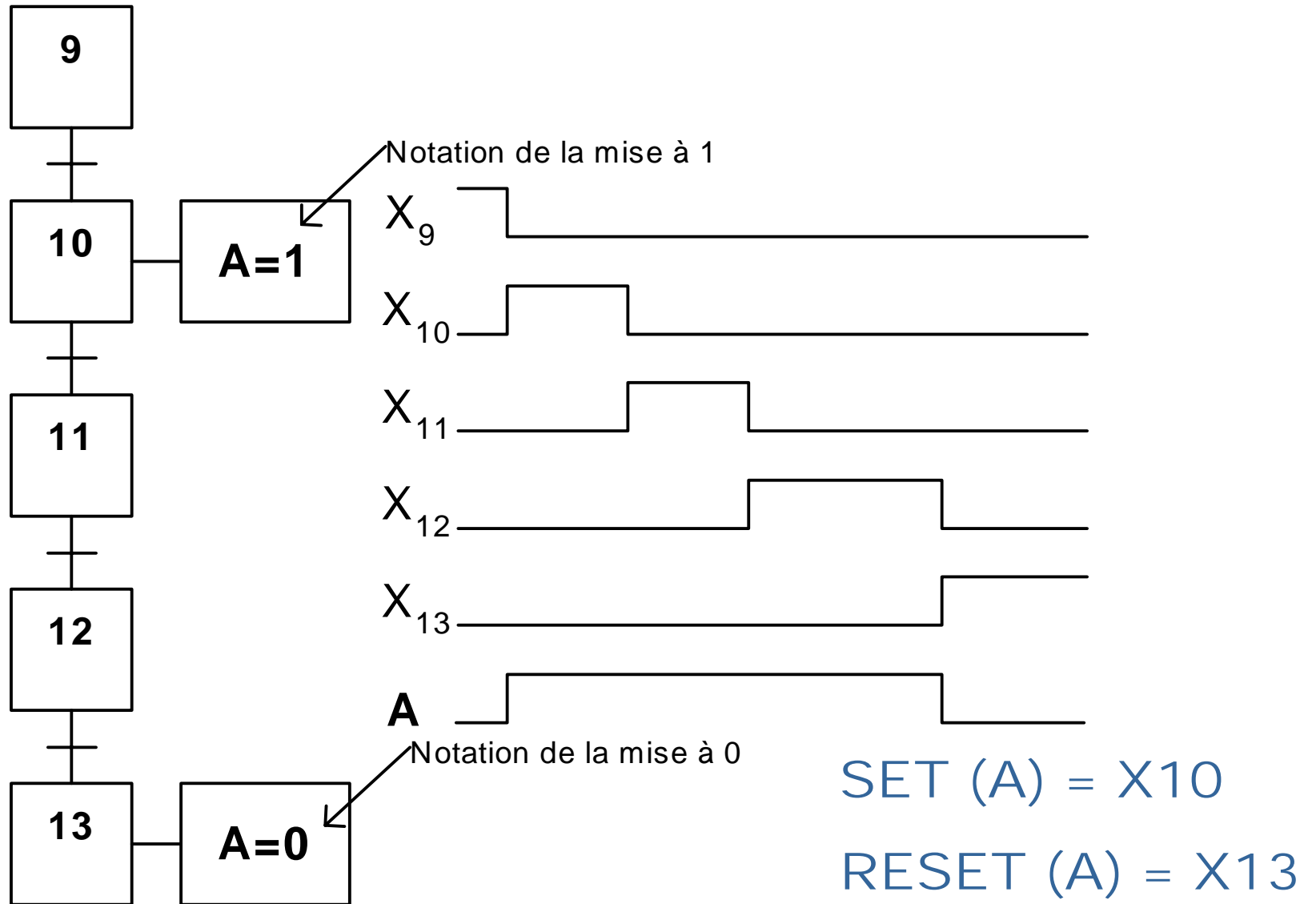


Action de temporisation

Action maintenance

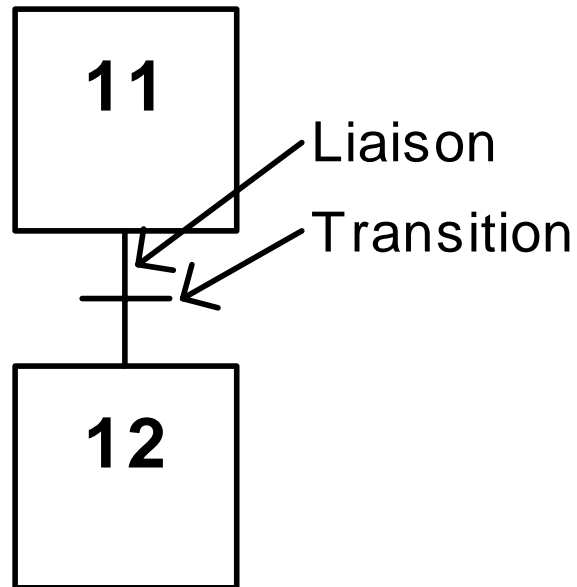


Action maintenue mémorisée



Les liaisons

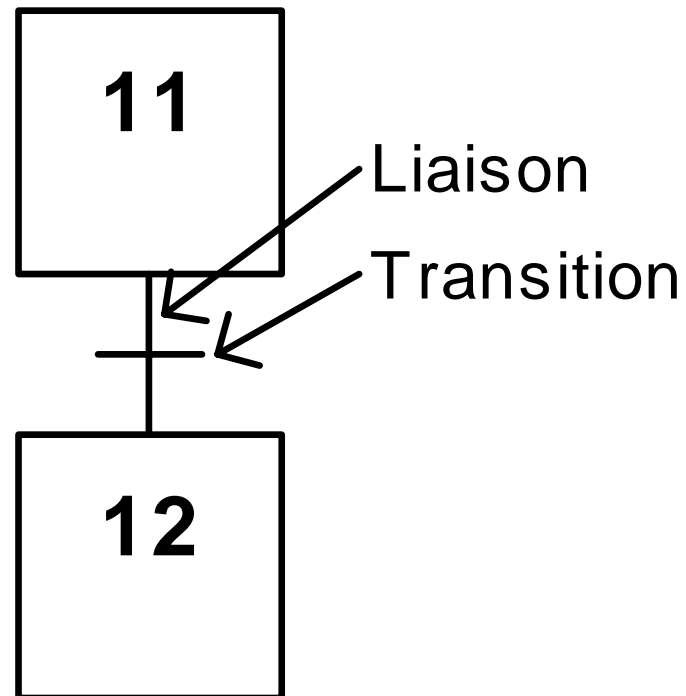
- ❖ Relient les étapes entre-elles.



- ❖ Toujours de haut en bas
 - ⊗ Sinon, mettre une flèche...

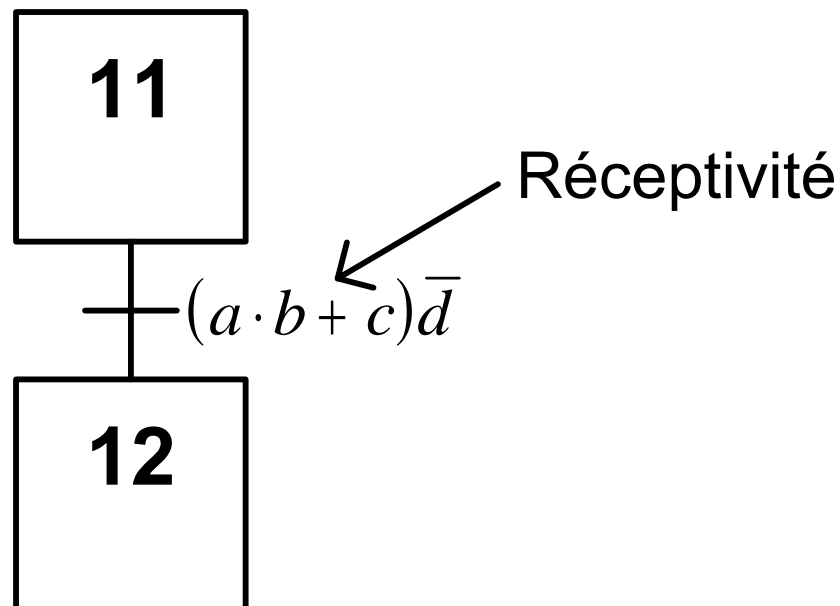
Les transitions

- ❖ Ce sont des barrières entre les étapes qui peuvent être franchies selon certaines conditions.
- ❖ Trait horizontal.



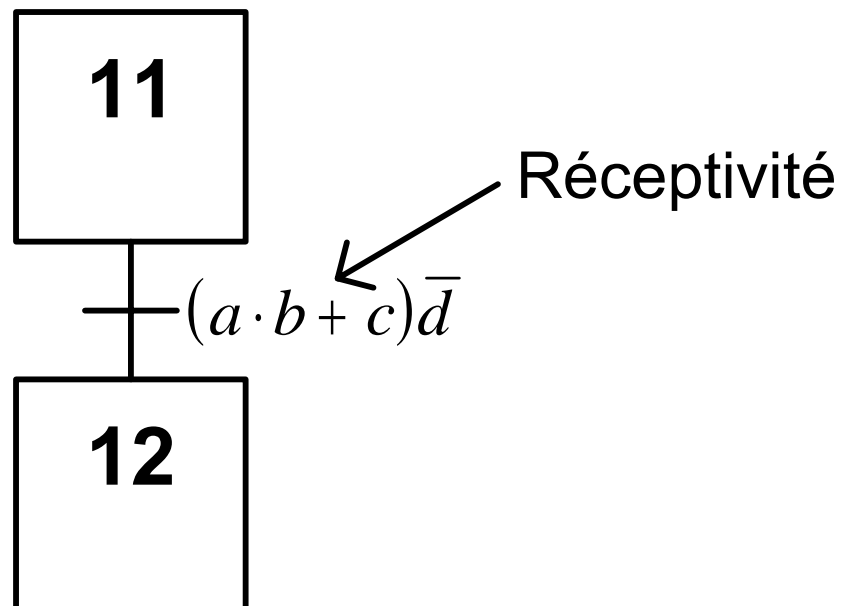
Les réceptivités

- ❖ Ce sont les conditions qui doivent être remplies pour franchir la transition.
- ❖ La réceptivité est inscrite à la droite de la transition.



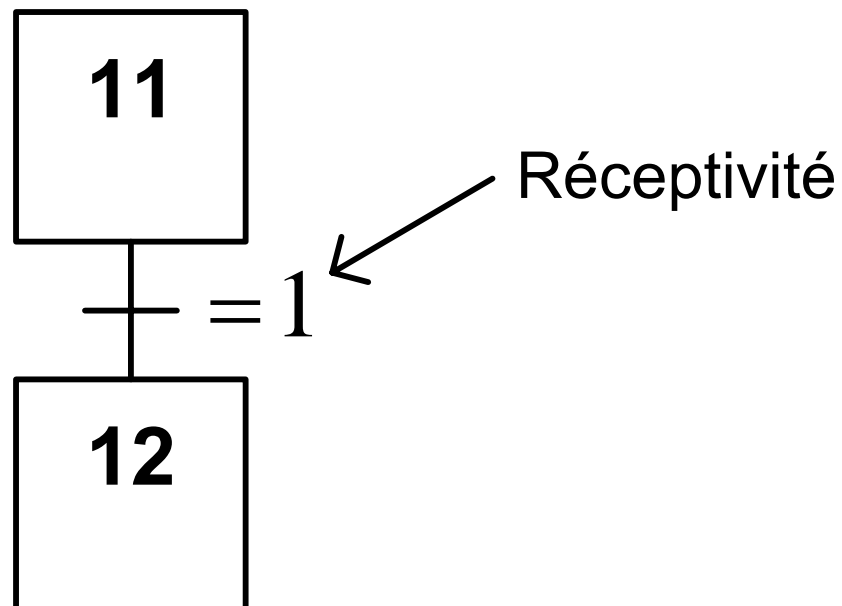
Les réceptivités à niveau

- ❖ Réceptivité faisant intervenir une condition logique



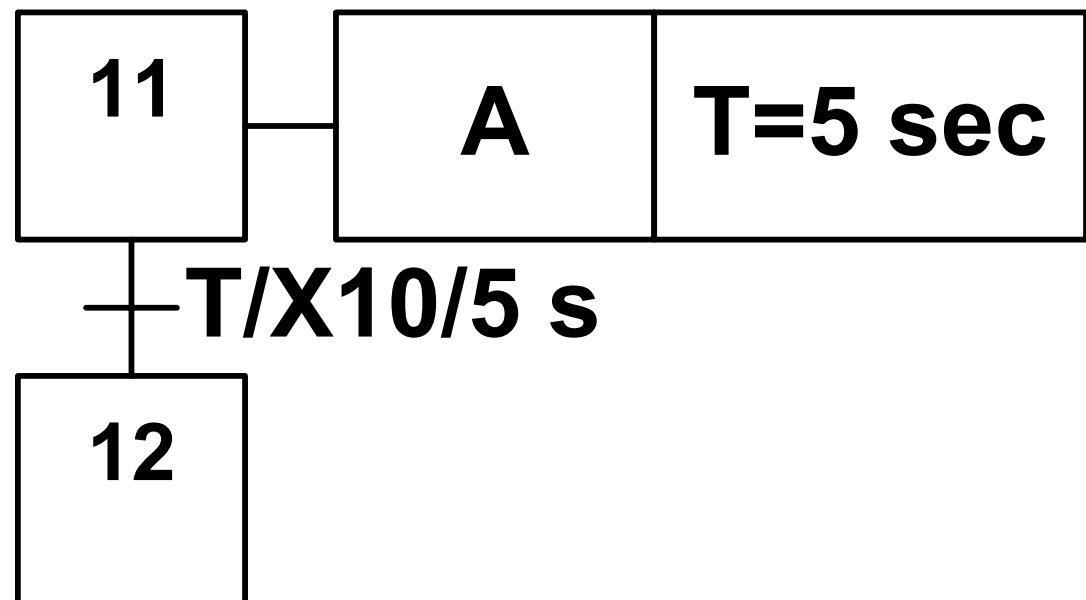
Les réceptivités toujours vraies

- ❖ Réceptivité dont la valeur logique est toujours 1



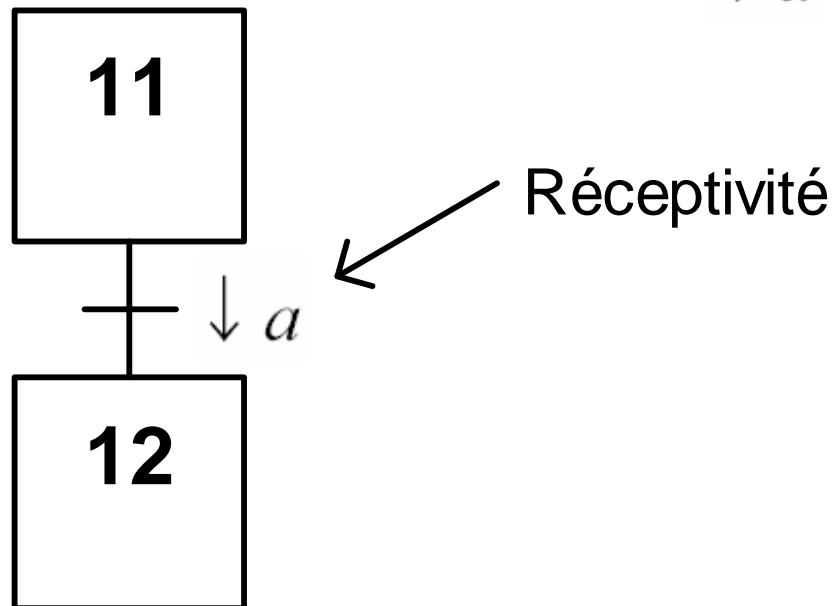
Les réceptivités temporisées

- ❖ Réceptivité faisant intervenir le temps comme condition



Les réceptivités impulsionnelles

- ❖ Réceptivité faisant intervenir soit un front montant ou un front descendant.
- ❖ La notation d'un front montant est : $\uparrow a$
- ❖ et celle d'un front descendant est : $\downarrow a$



Remarques

- ❖ Une réceptivité est une proposition logique qui peut renfermer diverses variables booléennes qui peuvent être:
 - ⊗ des informations extérieures (capteurs, directives);
 - ⊗ des variables auxiliaires (compteurs, temporisations, ...)
 - ⊗ l'état d'autres étapes (attentes, interdictions);
 - ⊗ changement d'état d'autres variables (fronts montants ou descendants)

Les 5 règles d'évolution

- ❖ Pour comprendre comment un GRAFCET fonctionne, il faut connaître les règles suivantes:
 - ⊗ Règle #1 - L'initialisation
 - ⊗ Règle #2 - La validation
 - ⊗ Règle #3 - Le franchissement
 - ⊗ Règle #4 - Le franchissement (2)
 - ⊗ Règle #5 - La cohérence

Règle #1 - L'initialisation

- ❖ Il existe toujours au moins une étape active lors du lancement de l'automatisme. Ces étapes activées lors du lancement sont nommées "ÉTAPES INITIALES"

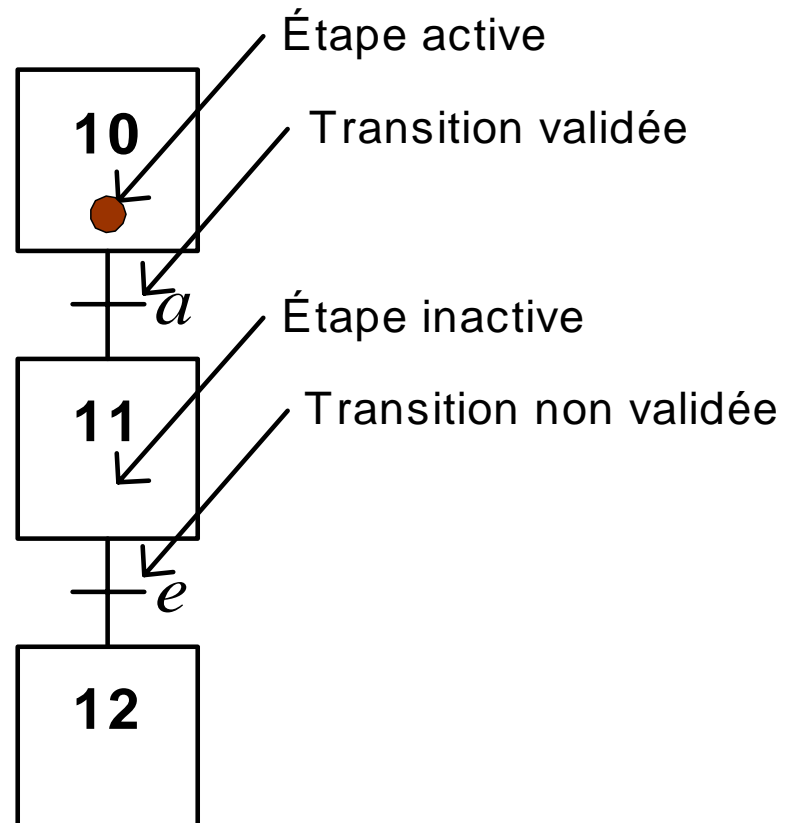


Règle #2 - La validation

- ❖ Une transition est soit validée ou non validée.
- ❖ Elle est valide lorsque TOUTES les étapes immédiatement précédentes sont actives.
- ❖ Elle ne pourra être franchie que lorsqu'elle est validée ET que la réceptivité associée est vraie.

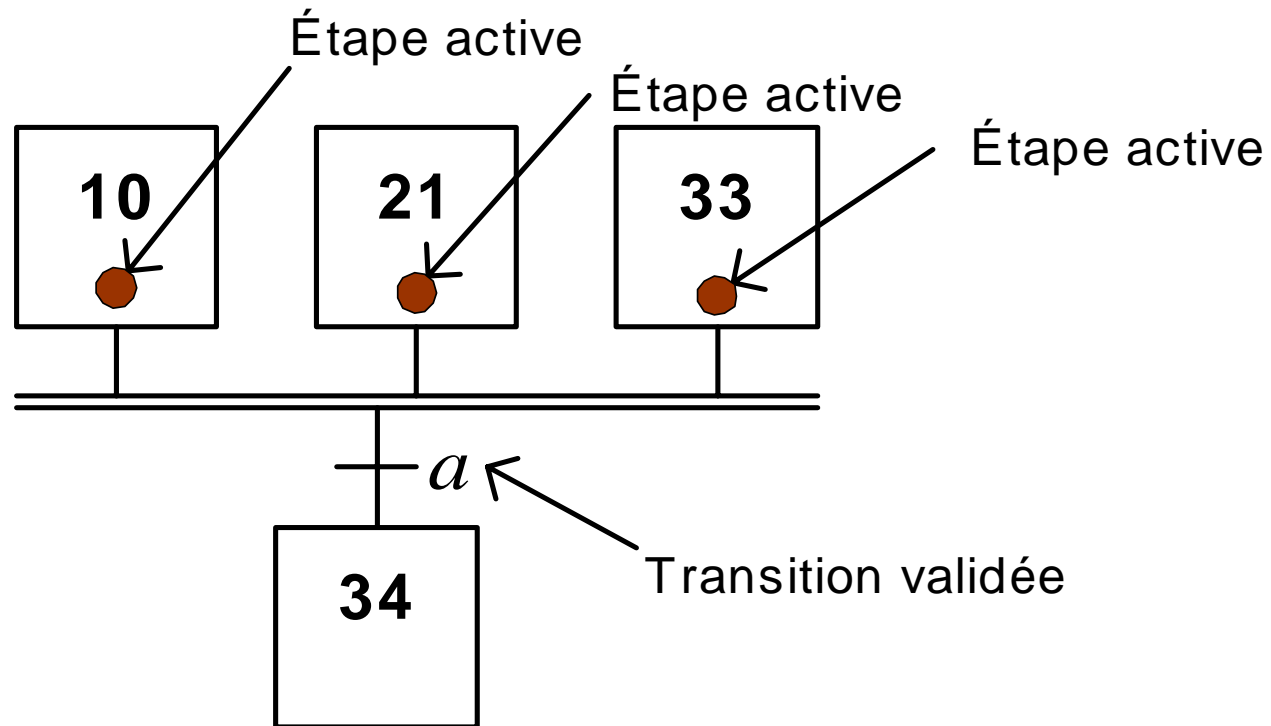
Règle #2 - La validation

❖ GRAFCET #1:



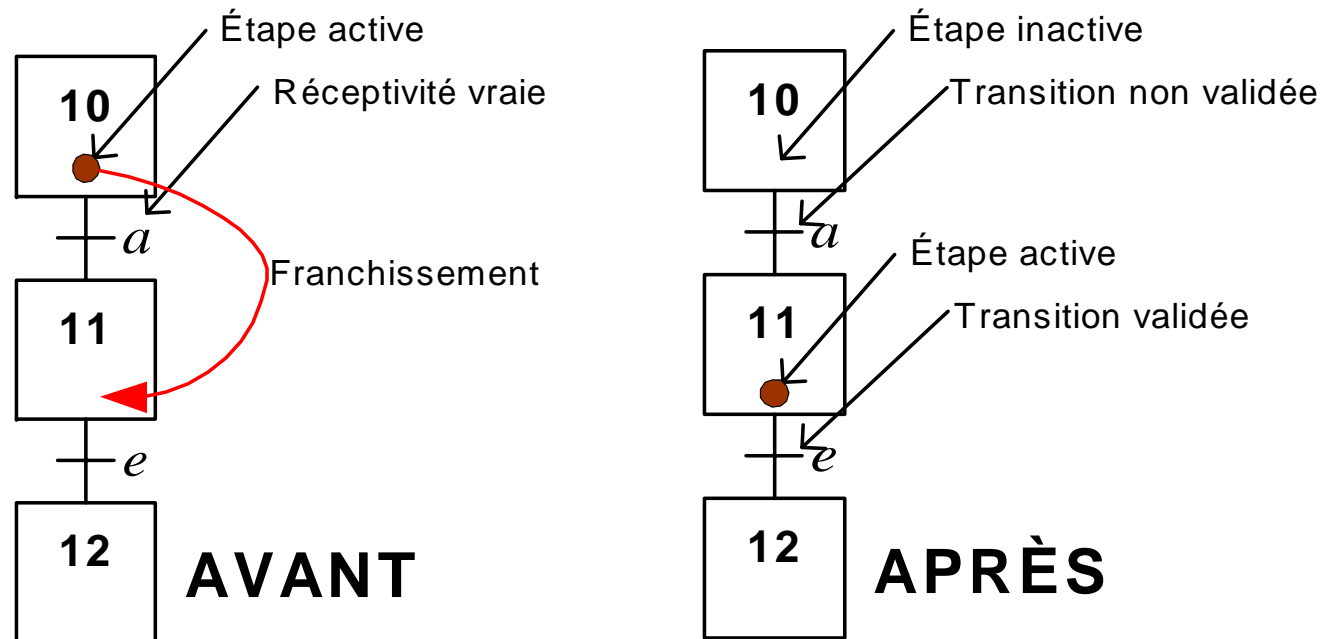
Règle #2 - La validation

❖ GRAFCET #2:

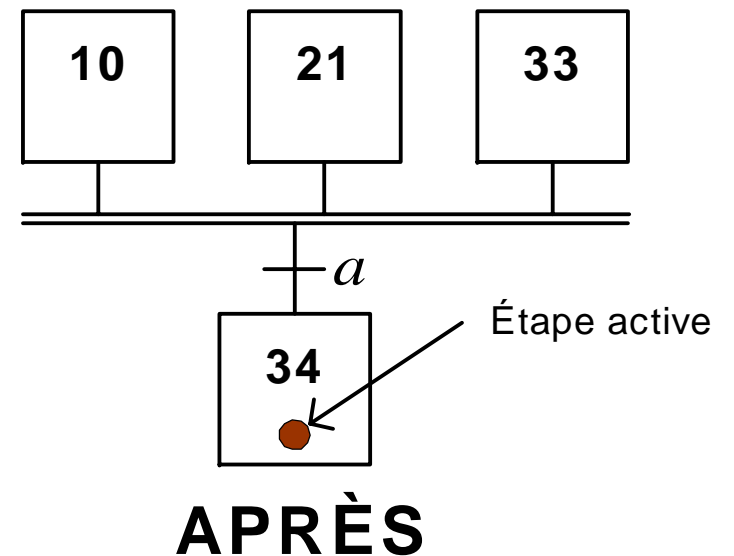
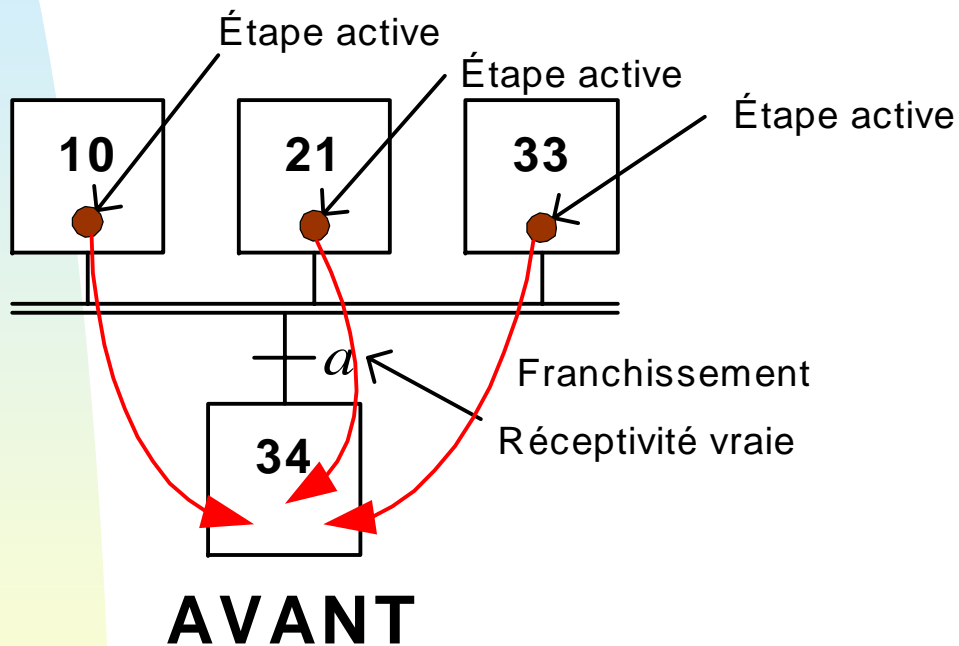


Règle #3 - Le franchissement

- ❖ Le franchissement d'une transition entraîne l'activation de TOUTES les étapes immédiatement suivantes, et la désactivation de TOUTES les étapes précédentes.



Règle #3 - Le franchissement



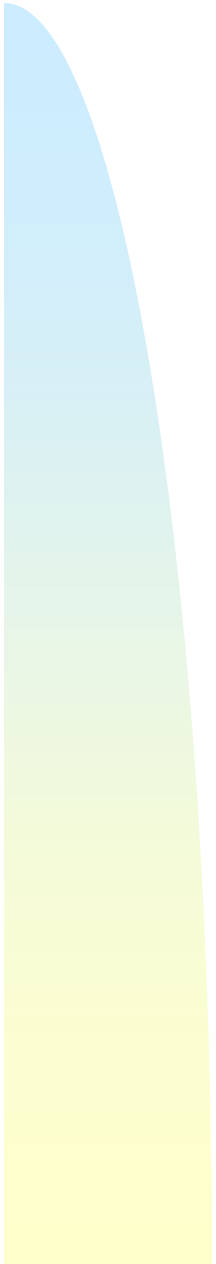
Règle #4 - Le franchissement

- ❖ Plusieurs transitions simultanément franchissables sont franchies simultanément

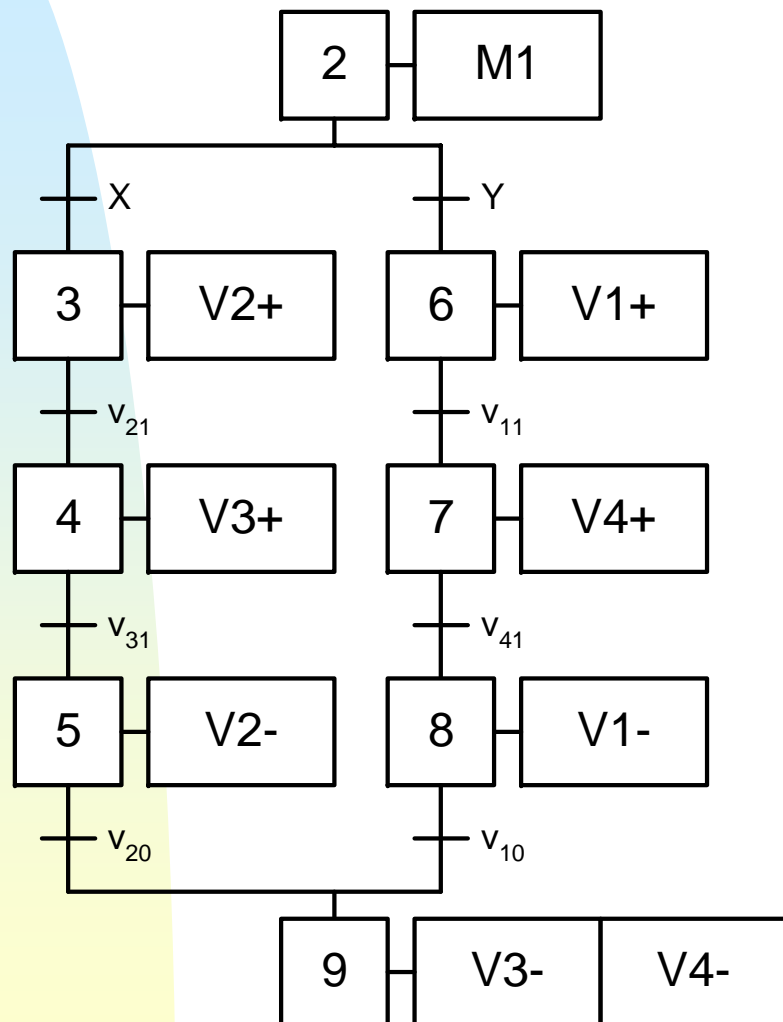
Règle #5

- ❖ Si au cours du fonctionnement une même étape doit être désactivée ou activée simultanément, elle reste activée.
- ❖ Cohérence théorique interne au GRAFCET.

GRAFCET - Les branchements



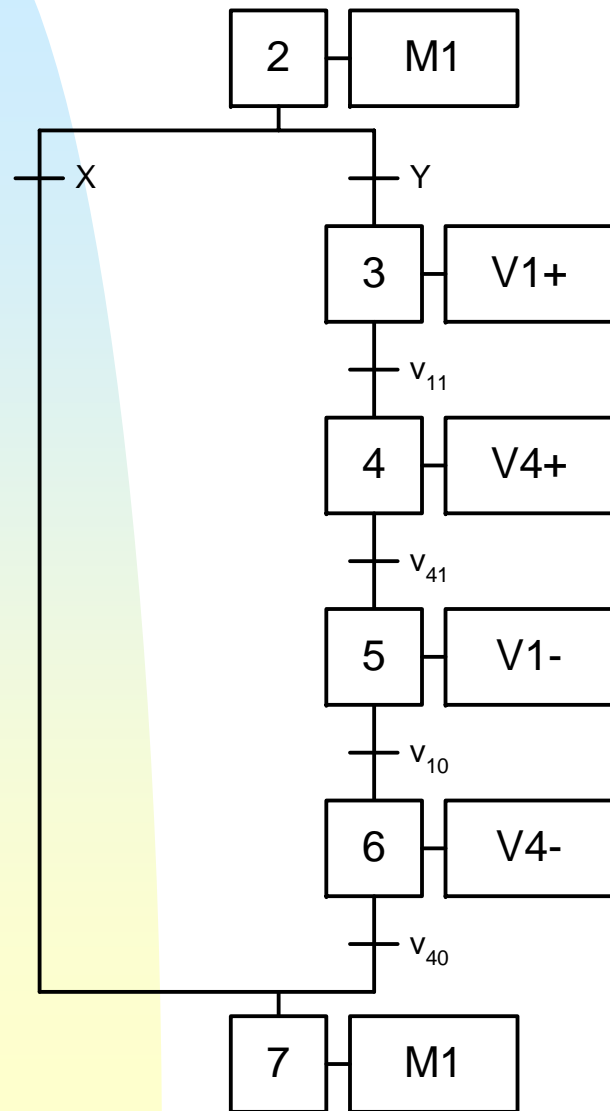
Les séquences exclusives



❖ Appelés aussi « aiguillages »

❖ X et Y doivent être mutuellement exclusives !!!

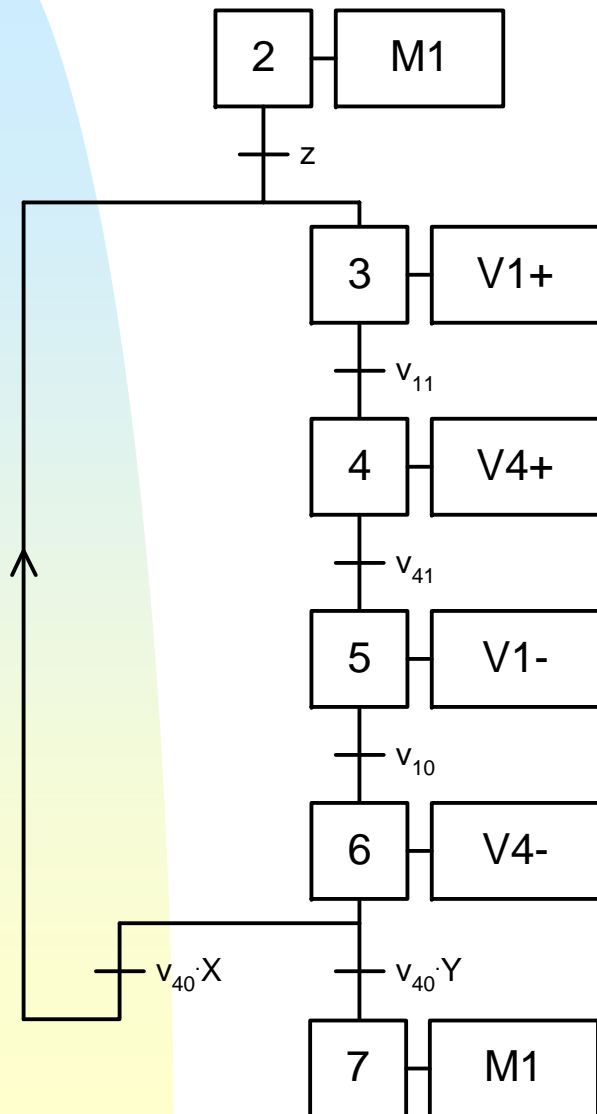
Le saut d'étapes



❖ Variante d'un « aiguillage »

❖ X et Y doivent être mutuellement exclusives !!!

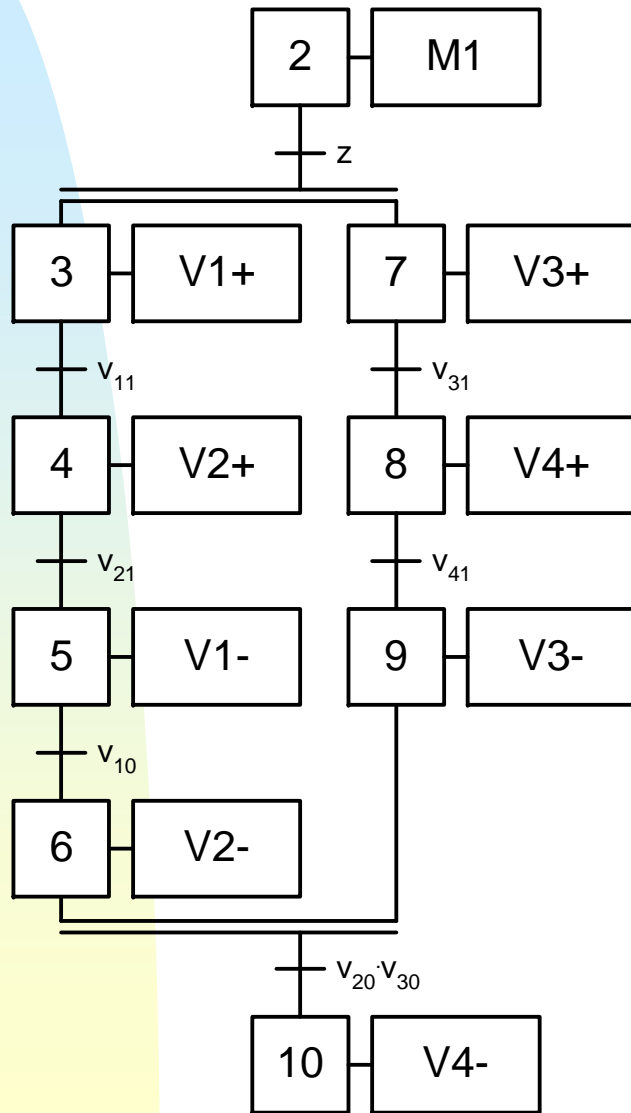
La reprise de séquence



❖ Variante d'un « aiguillage »

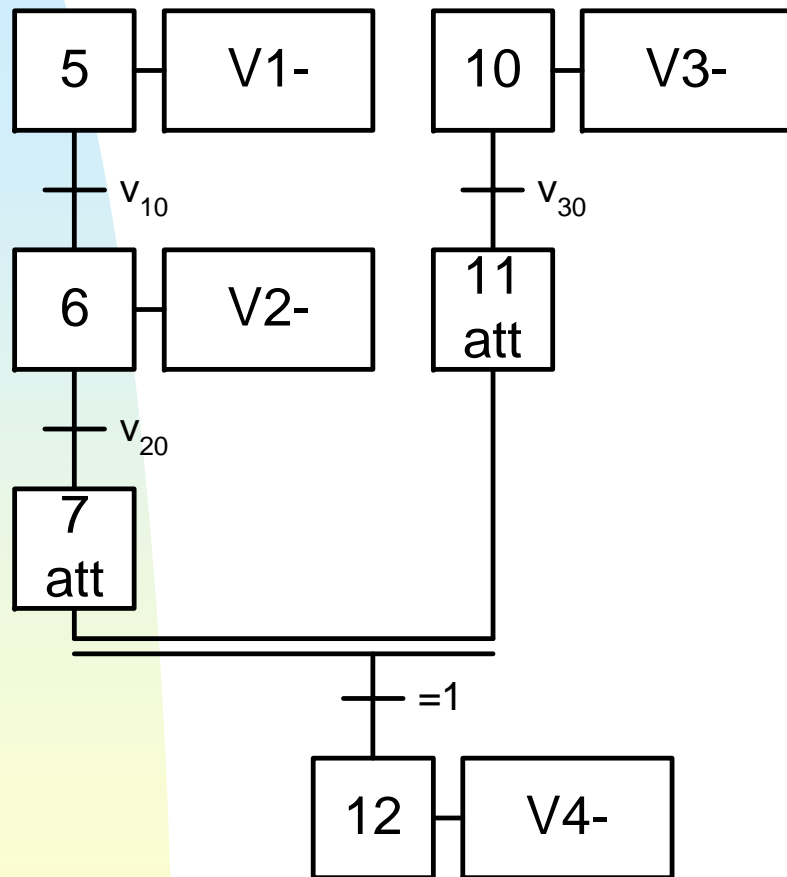
❖ X et Y doivent être mutuellement exclusives !!!

Les séquences simultanées



❖ Une seule condition de démarrage.

Les séquences simultanées



❖ Cas avec actionneurs électriques

❖ Ajout d'étapes d'attente

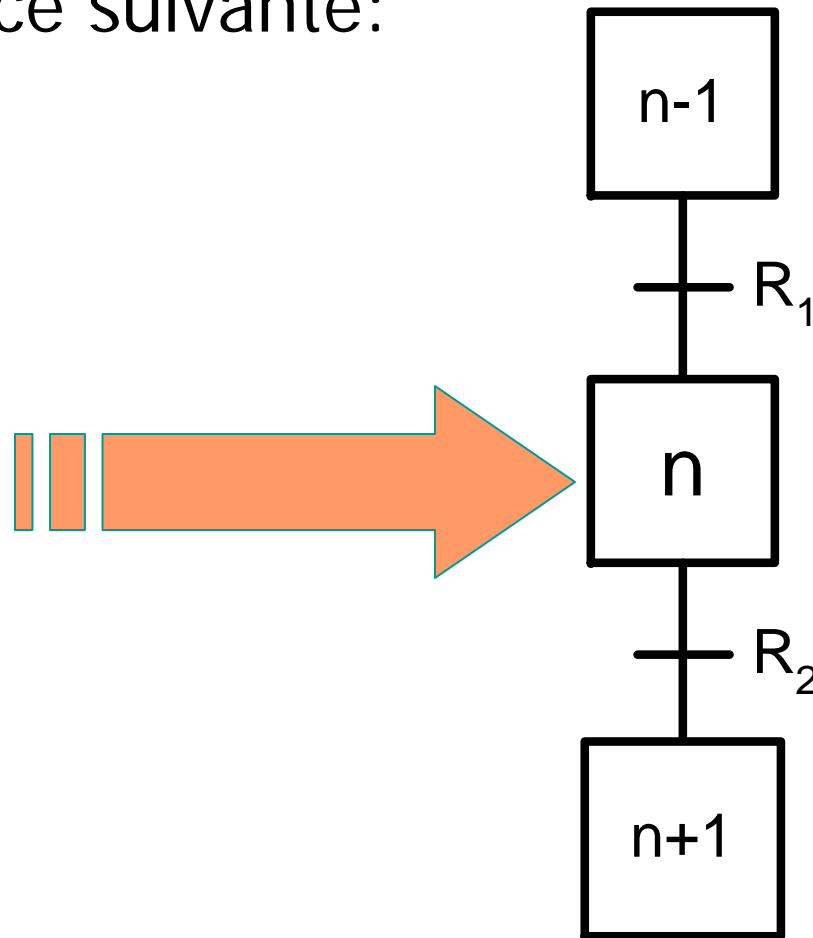
❖ Transition toujours vraie

Conversion du GRAFCET au LADDER

- ❖ La majorité des automates se programment en LADDER.
 - ⊗ Les électriciens connaissent très bien ce langage.
- ❖ Rares sont les automates se programmant en GRAFCET.
 - ⊗ Automates européens.
 - ⊗ Norme IEC 1131.3

Conversion du GRAFCET au LADDER

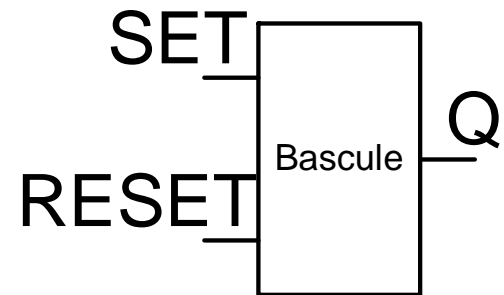
- ❖ La mise en équation sera introduite avec la séquence suivante:



Conversion du GRAFCET au LADDER

❖ La bascule (set/reset)

- ❖ Si « SET » = 1, $Q = 1$
- ❖ Si « RESET » = 1, $Q = 0$



- ❖ Si les deux = 1, $Q = ?$
- ❖ Priorité à l'activation -> $Q = 1$
- ❖ Priorité à la désactivation -> $Q = 0$

Bascule avec priorité à la désactivation

- ❖ Chaque étape du GRAFCET peut être représenté par l'équation suivante:

$$X_n = (X_{n-1} R_1 + X_n) \overline{X_{n+1}}$$

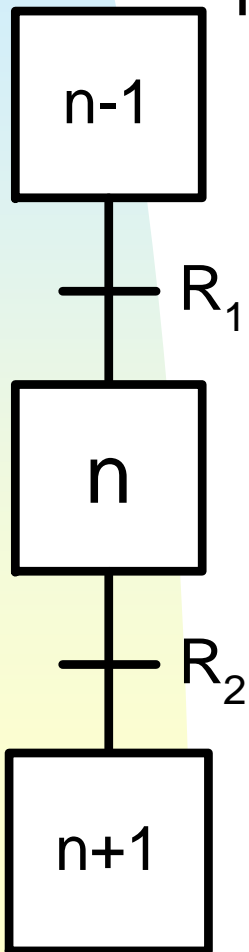
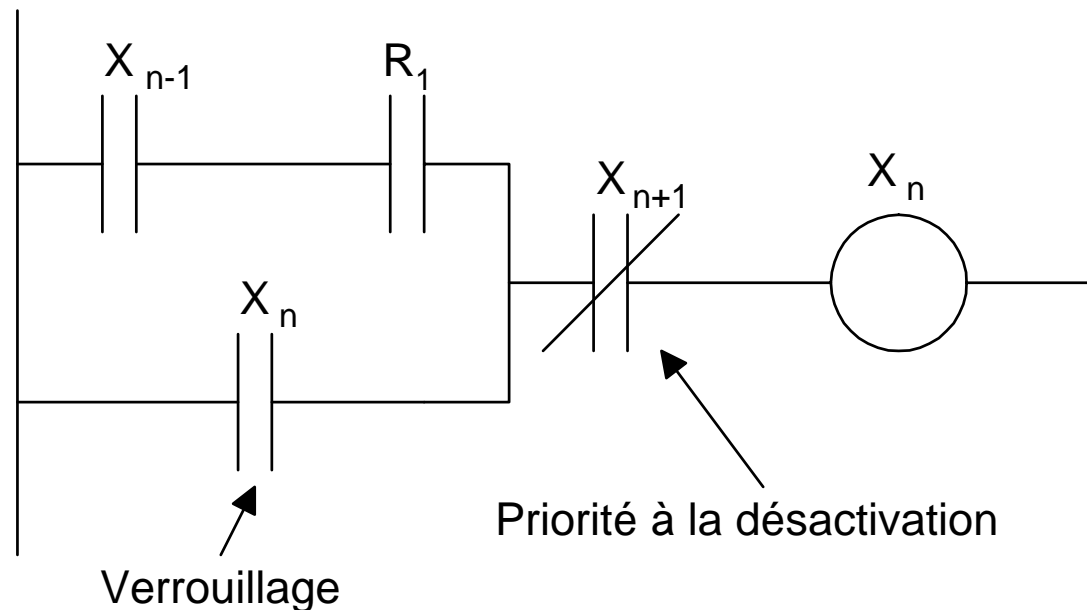


Diagramme en échelle (Ladder)

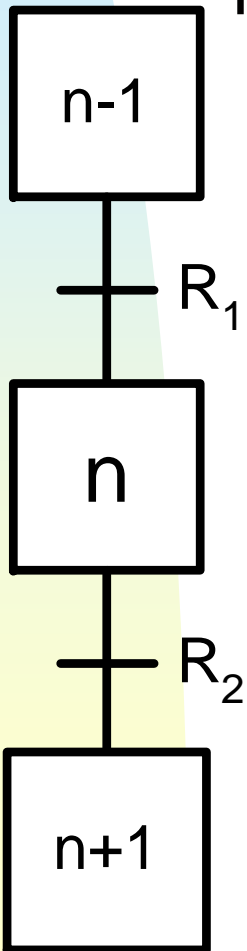


Bascule avec priorité à la désactivation

❖ Chaque étape du GRAFCET peut être représenté par l'équation suivante:

$$X_n = (X_{n-1} R_1 + X_n) \overline{X_{n+1}}$$

- viole la règle 5 du GRAFCET !!!
- « Si au cours du fonctionnement une même étape doit être désactivée ou activée simultanément, elle reste activée »

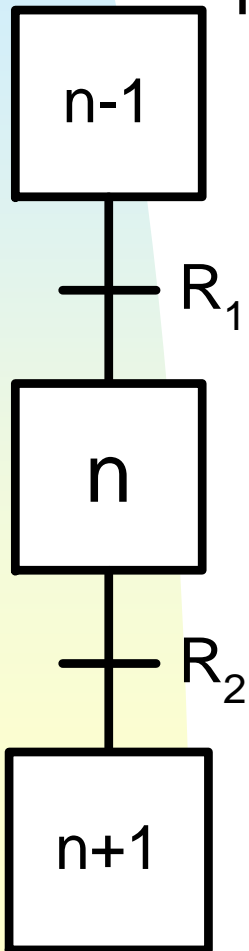
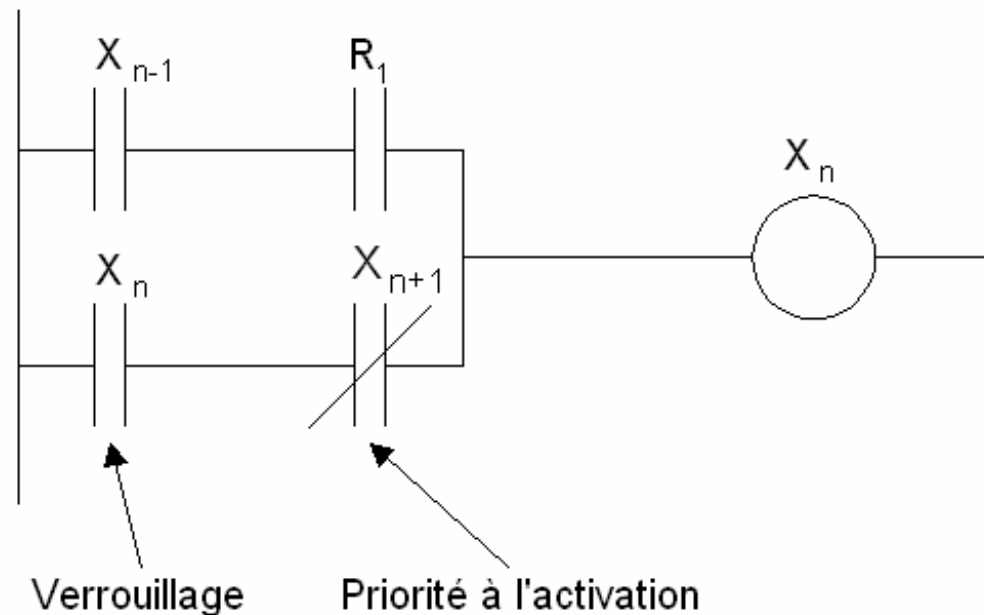


Bascule avec priorité à l'activation

- ❖ Chaque étape du GRAFCET peut être représenté par l'équation suivante:

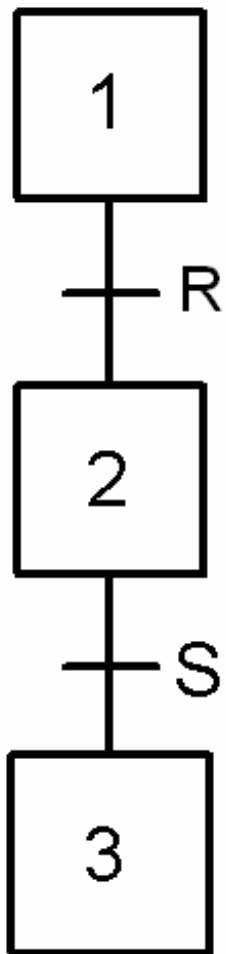
$$X_n = X_{n-1} R_1 + X_n \overline{X_{n+1}}$$

Diagramme en échelle (Ladder)



Bascule avec priorité à l'activation

❖ Bug majeur de cette approche



$$X_n = X_{n-1} R_1 + X_n \overline{X_{n+1}}$$

$$X_2 = X_1 * R + X_2 * \overline{X_3}$$

$$X_3 = X_2 * S + X_3 * \overline{X_4}$$

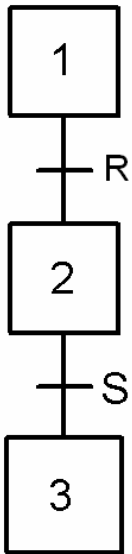
Bascule avec priorité à l'activation

- ❖ Bug majeur de ces approches
- ❖ Un automate est une machine séquentielle.

$$X2 = X1 * R + X2 * \overline{X3} = 0$$

$$X3 = X2 * S + X3 * \overline{X4} = 1$$

DEUX ÉTAPES SUCCESSIVES À 1
EN MÊME TEMPS !!!



Solution très simple

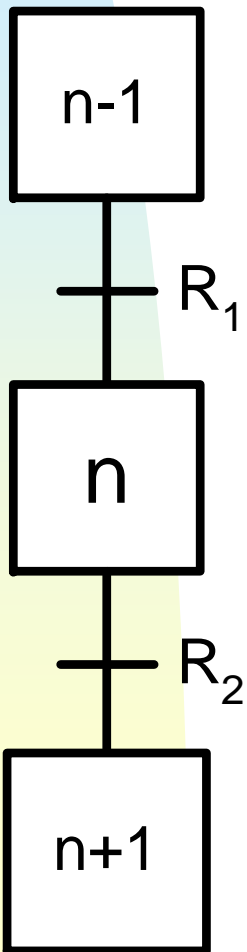
❖ Programmation des transitions séparément

- ✧ L'équation logique du franchissement de la transition Y_{n-1}

$$Y_{n-1} = X_{n-1} \cdot R_1$$

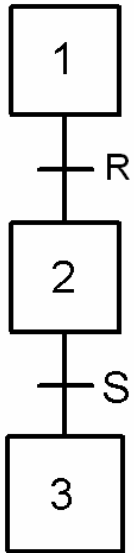
- ✧ L'équation logique de l'étape X_n

$$X_n = Y_{n-1} + X_n \cdot \overline{Y_n}$$



Solution très simple

❖ Programmation des transitions séparément



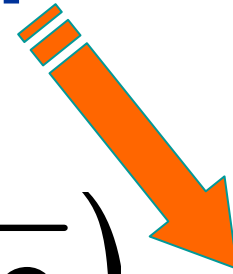
$$Y1 = X1 * R$$

$$Y2 = X2 * S = 1$$

...

$$X2 = \left(Y1 + X2 * \overline{Y2} \right) = 0$$

$$X3 = \left(Y2 + X3 * \overline{Y3} \right) = 1$$



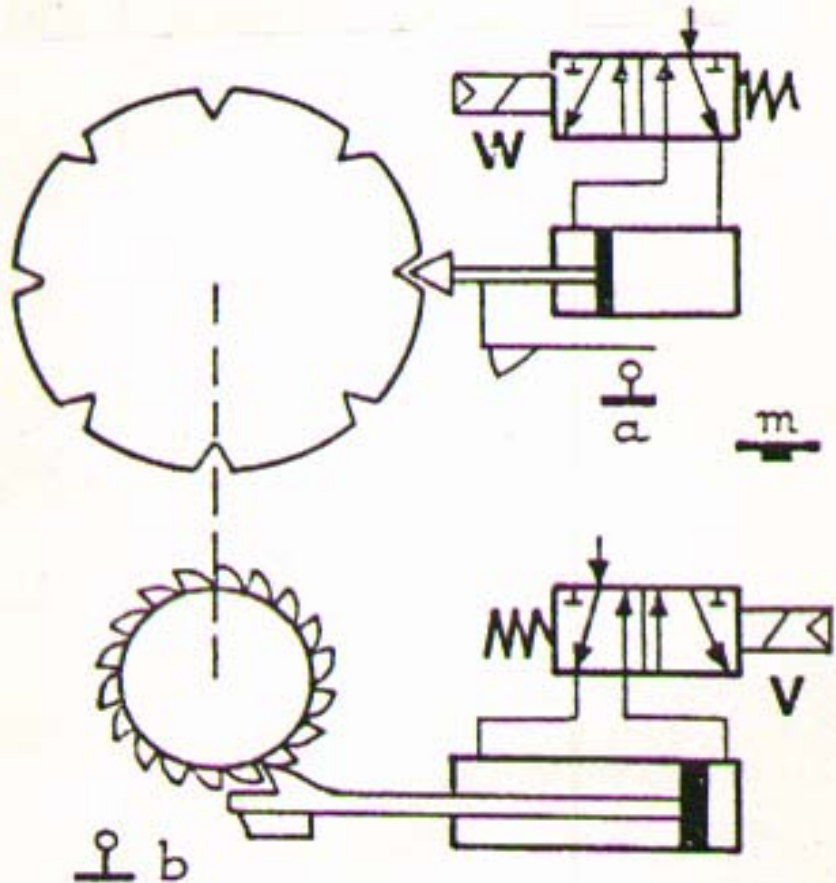
Exemple d'applications du GRAFCET



Plateau tournant

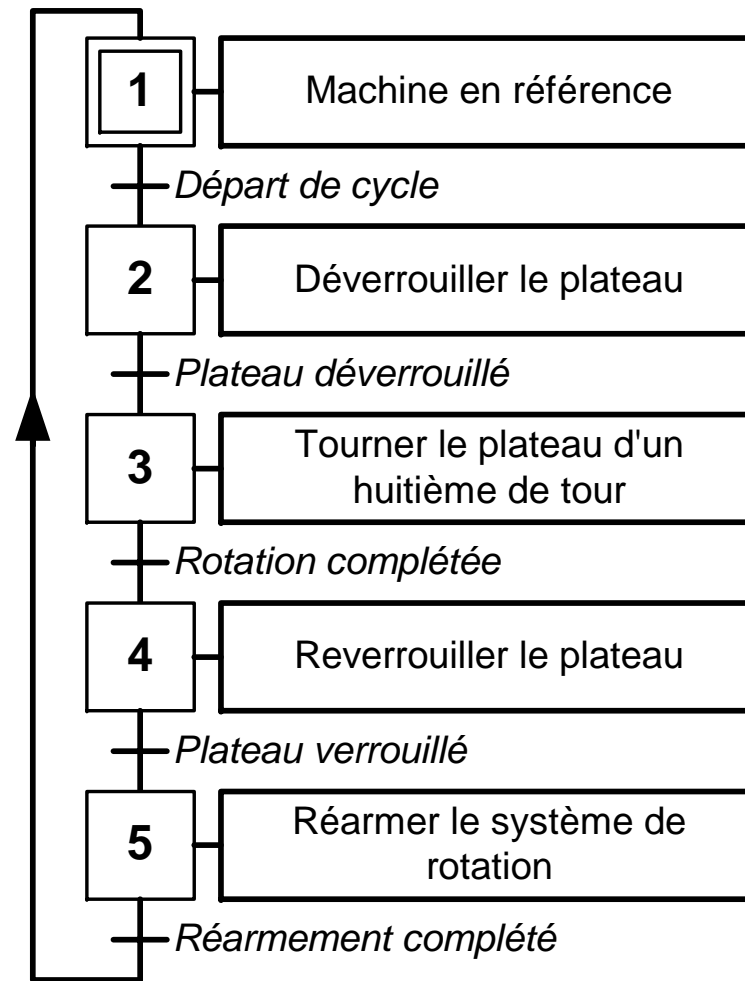
❖ Fonctionnement souhaité:

- ❖ poussée sur bouton **m**;
- ❖ déverrouillage de **W**;
- ❖ avance du vérin **V**, avec rotation du plateau;
- ❖ verrouillage de **W**;
- ❖ retrait de **V**, le plateau restant immobile.



Plateau tournant

❖ GRAFCET de niveau #1 :



Plateau tournant

❖ Choix technologiques :

⊗ Capteurs:

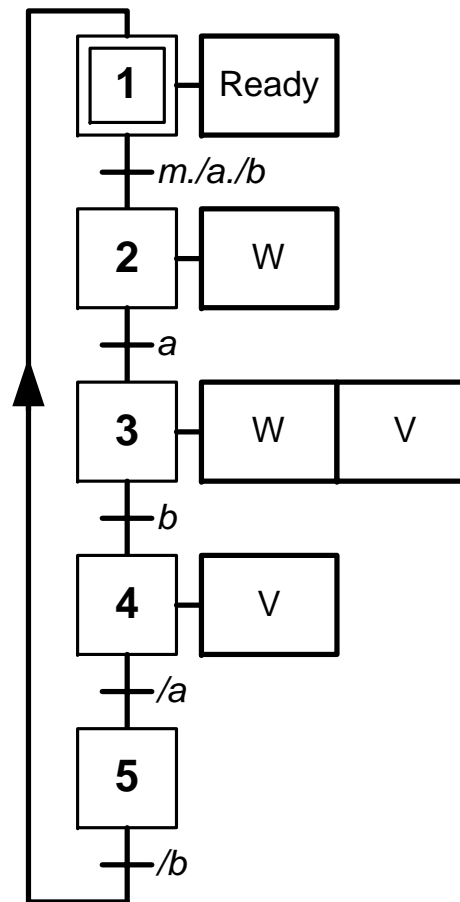
- Bouton départ : m ;
- Détecteur déverrouillage : a ;
- Détecteur rotation complétée : b ;

⊗ Actionneurs:

- Vérin déverrouillage : W ;
- Vérin de rotation : V ;
- Voyant machine prête : Ready.

Plateau tournant

❖ GRAFCET niveau #2 :



Plateau tournant

❖ Transitions:

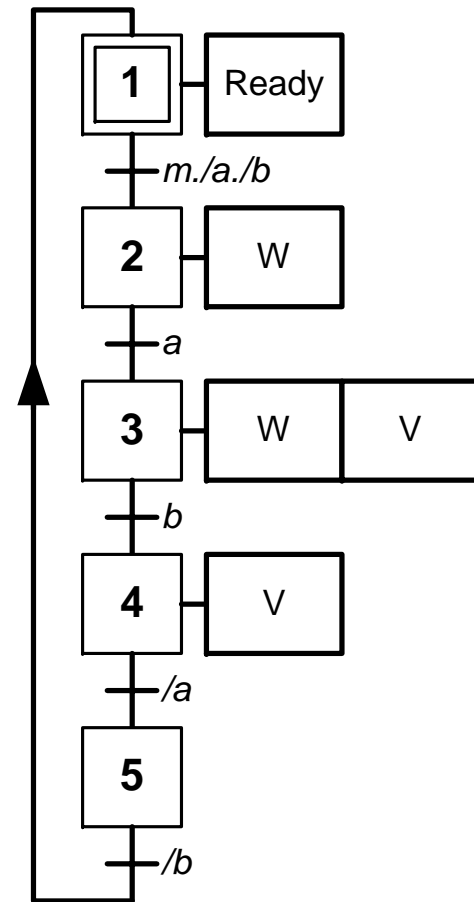
$$Y1 = X1 \cdot m \cdot \bar{a} \cdot \bar{b}$$

$$Y2 = X2 \cdot a$$

$$Y3 = X3 \cdot b$$

$$Y4 = X4 \cdot \bar{a}$$

$$Y5 = X5 \cdot \bar{b}$$



Plateau tournant

❖ Étapes:

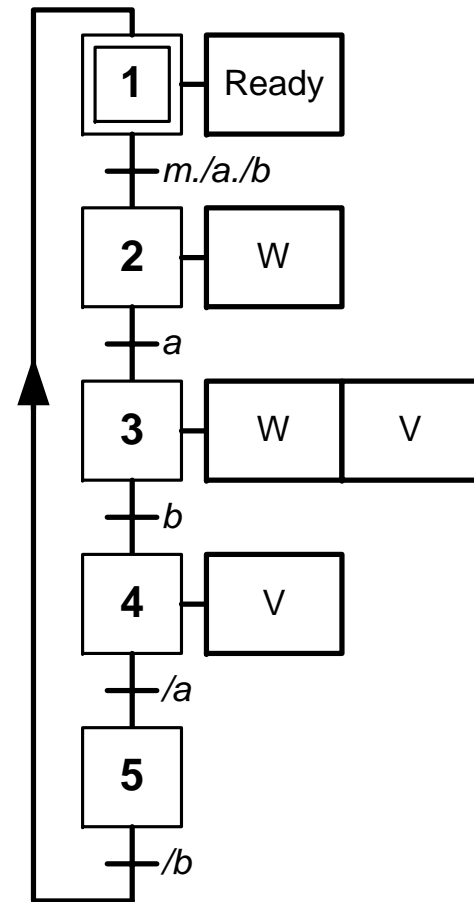
$$X1 = Y5 + X1 * \overline{Y1} + \textit{Init}$$

$$X2 = Y1 + X2 * \overline{Y2}$$

$$X3 = Y2 + X3 * \overline{Y3}$$

$$X4 = Y3 + X4 * \overline{Y4}$$

$$X5 = Y4 + X5 * \overline{Y5}$$



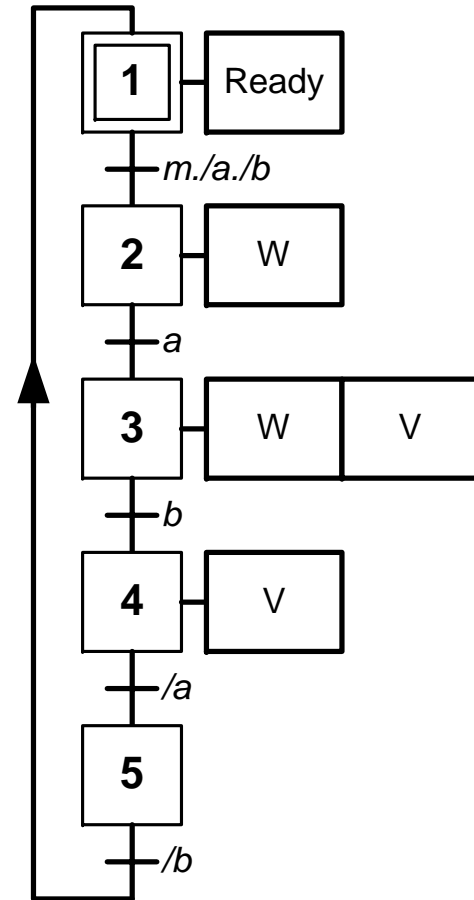
Plateau tournant

❖ Actions:

$$\text{Ready} = X1$$

$$W = X2 + X3$$

$$V = X3 + X4$$



Plateau tournant

Transitions

$$Y1 = X1 \cdot m \cdot \bar{a} \cdot \bar{b}$$

$$Y2 = X2 \cdot a$$

$$Y3 = X3 \cdot b$$

$$Y4 = X4 \cdot \bar{a}$$

$$Y5 = X5 \cdot \bar{b}$$

Étapes

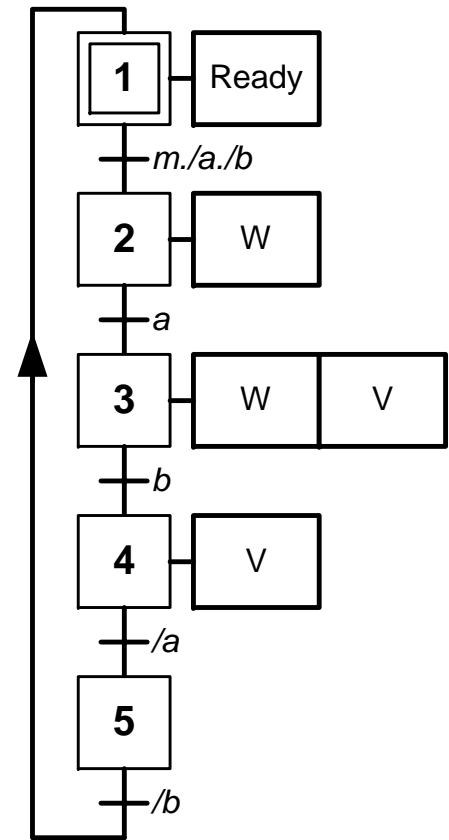
$$X1 = Y5 + X1 * \bar{Y1} + Init$$

$$X2 = Y1 + X2 * \bar{Y2}$$

$$X3 = Y2 + X3 * \bar{Y3}$$

$$X4 = Y3 + X4 * \bar{Y4}$$

$$X5 = Y4 + X5 * \bar{Y5}$$



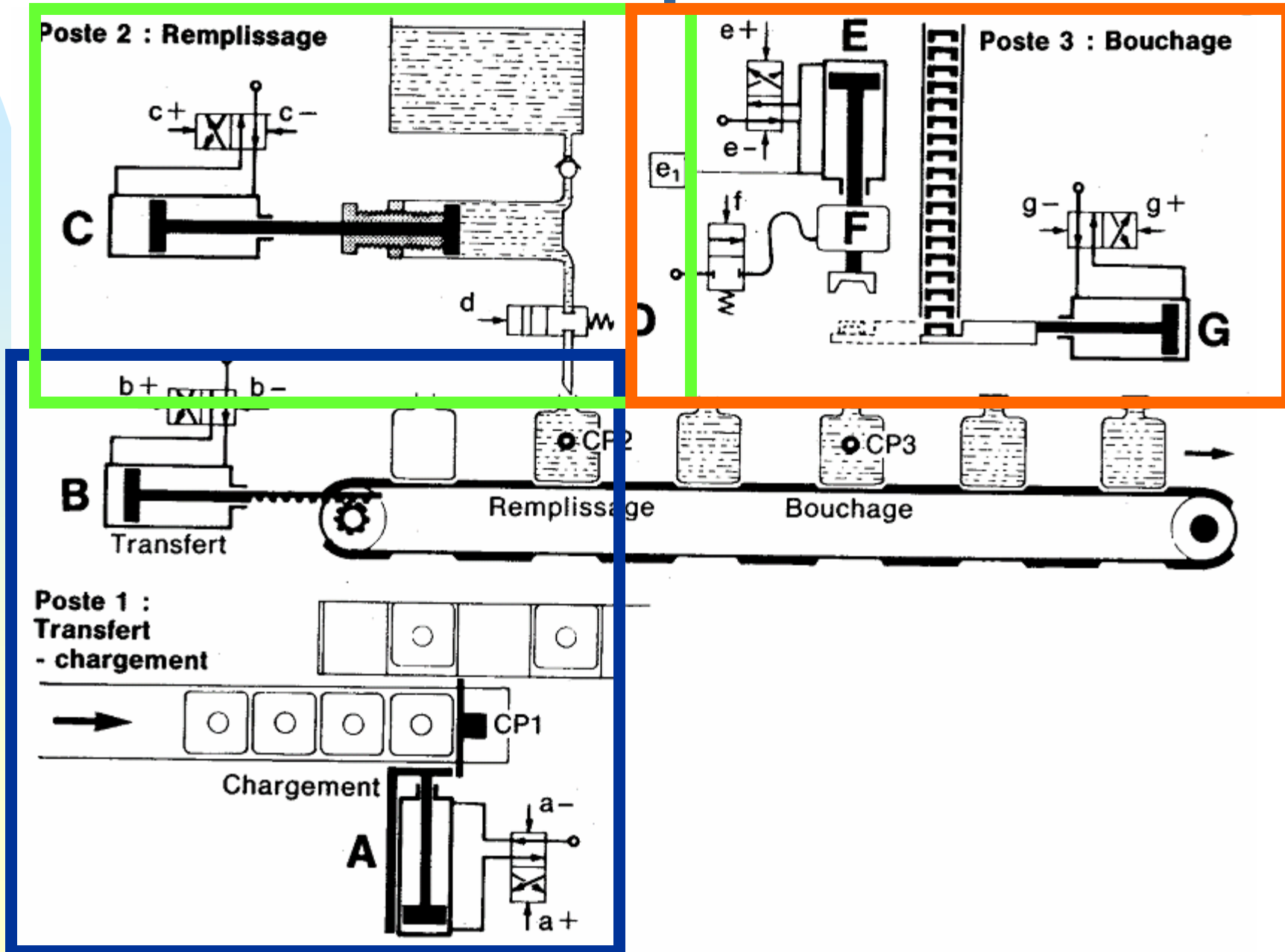
Actions

$$Ready = X1$$

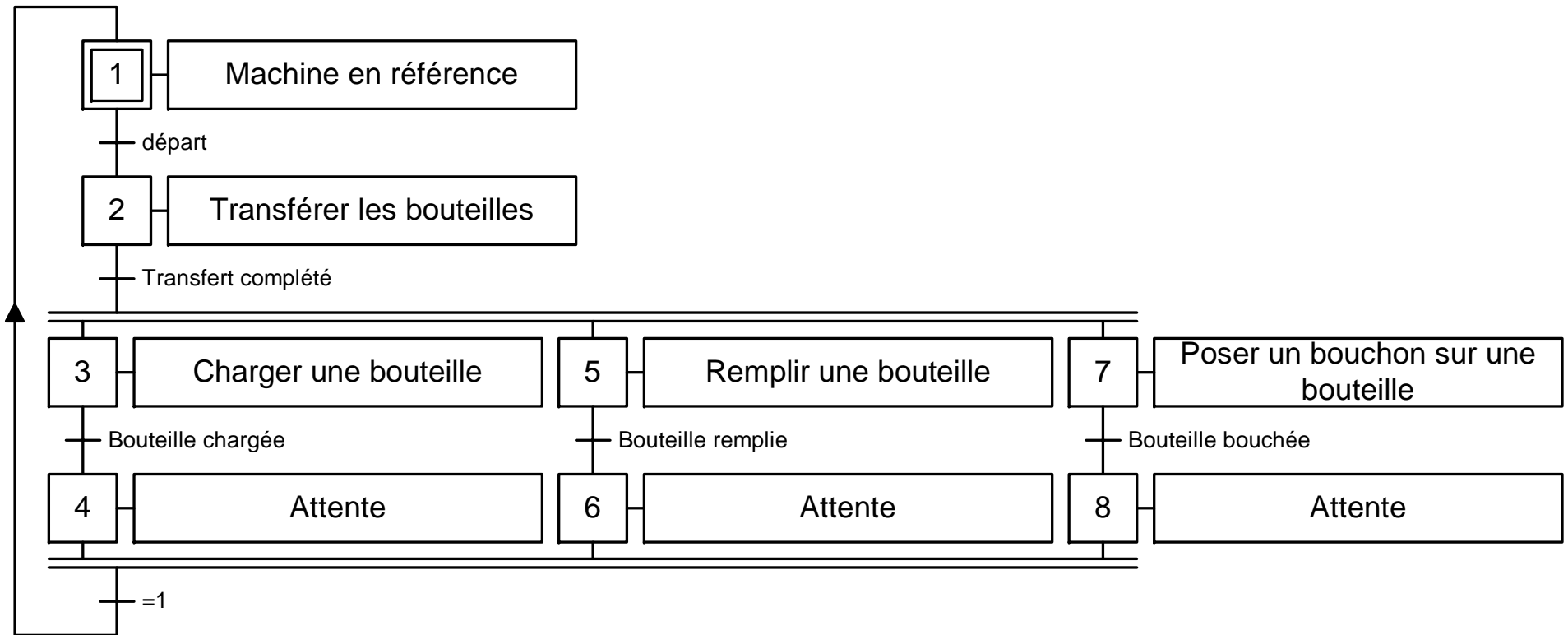
$$W = X2 + X3$$

$$V = X3 + X4$$

Machine à remplir et à boucher

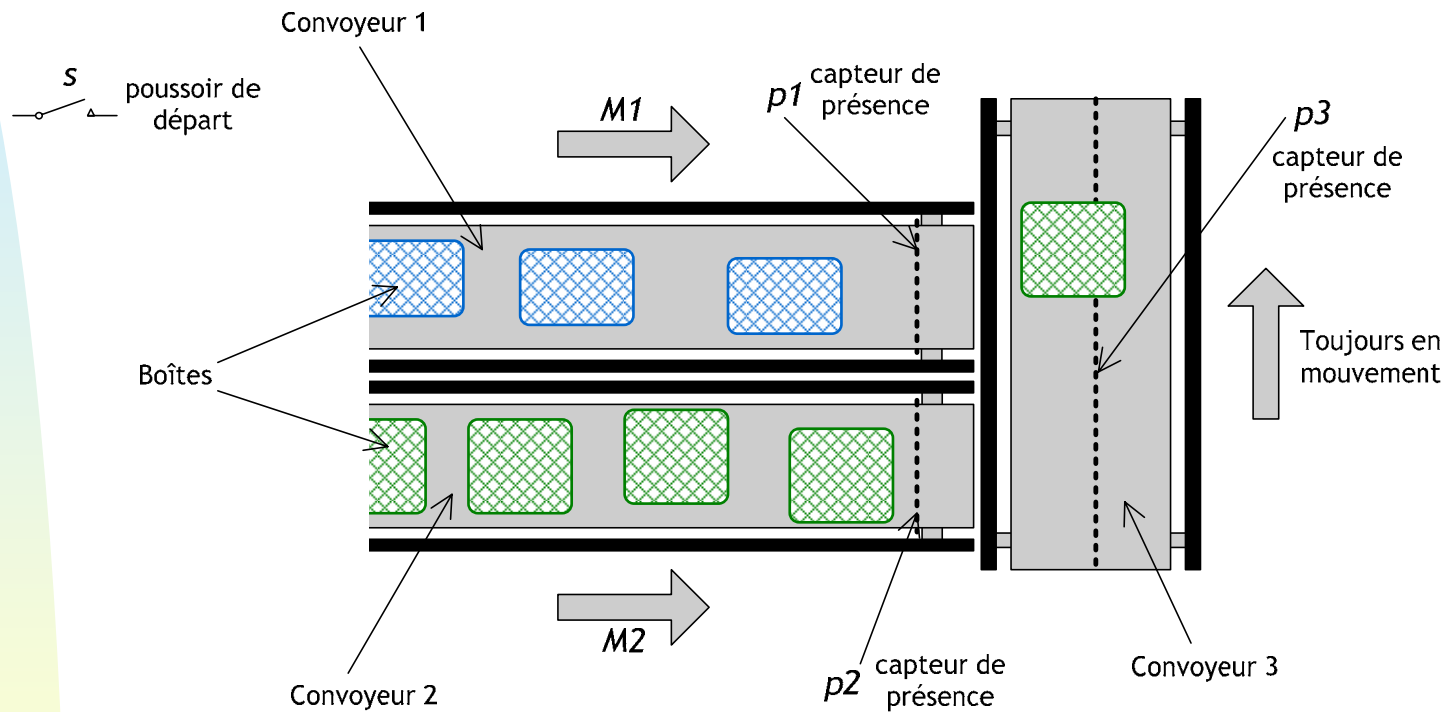


GRAFSET de niveau 1

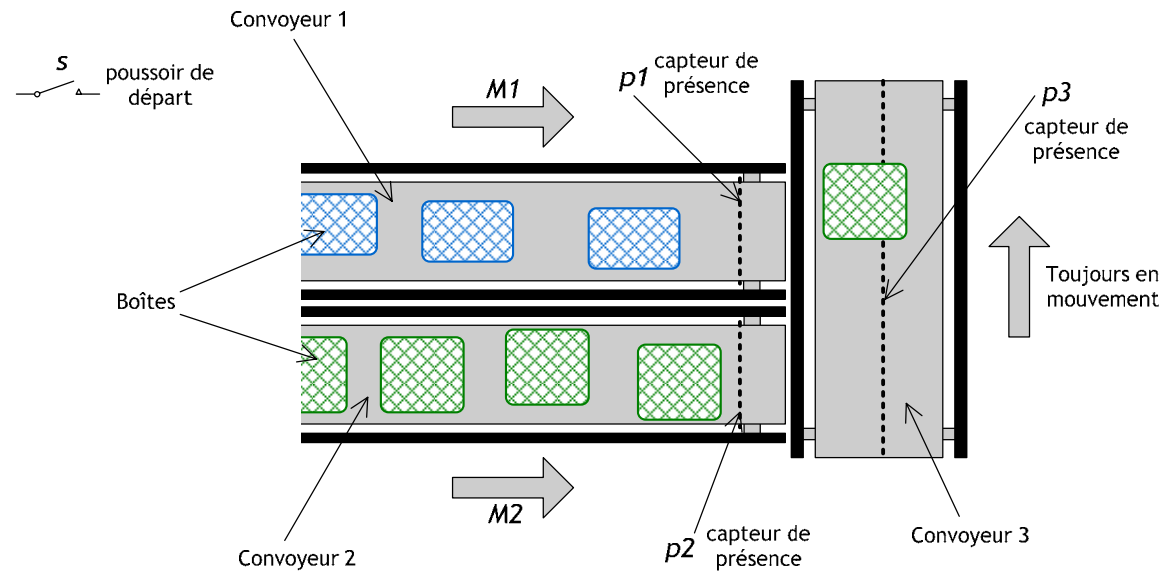
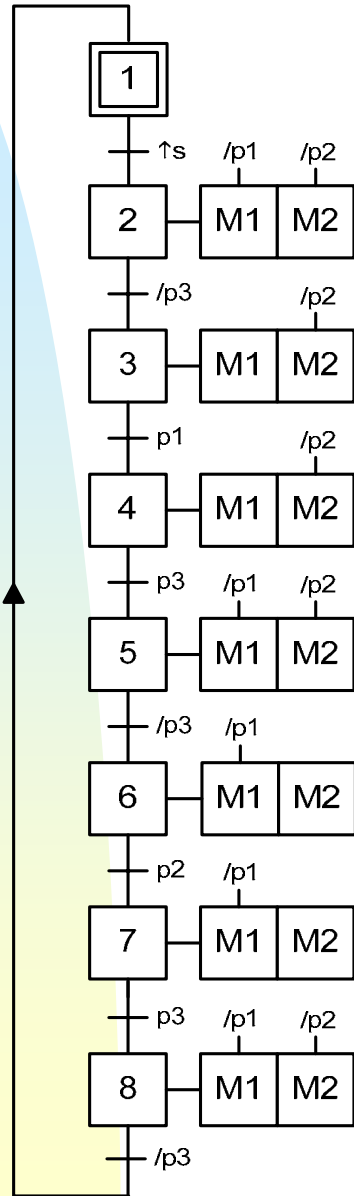


Chaque poste travaille en parallèle avec les autres

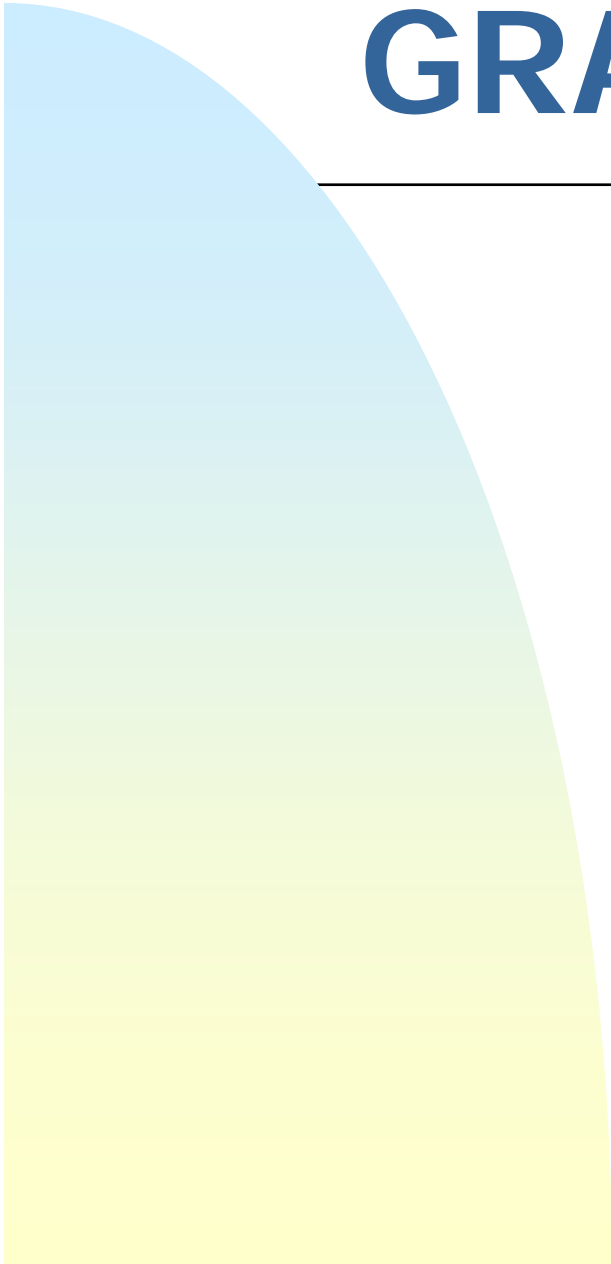
Trois Convoyeurs



GRAFSET - Solution

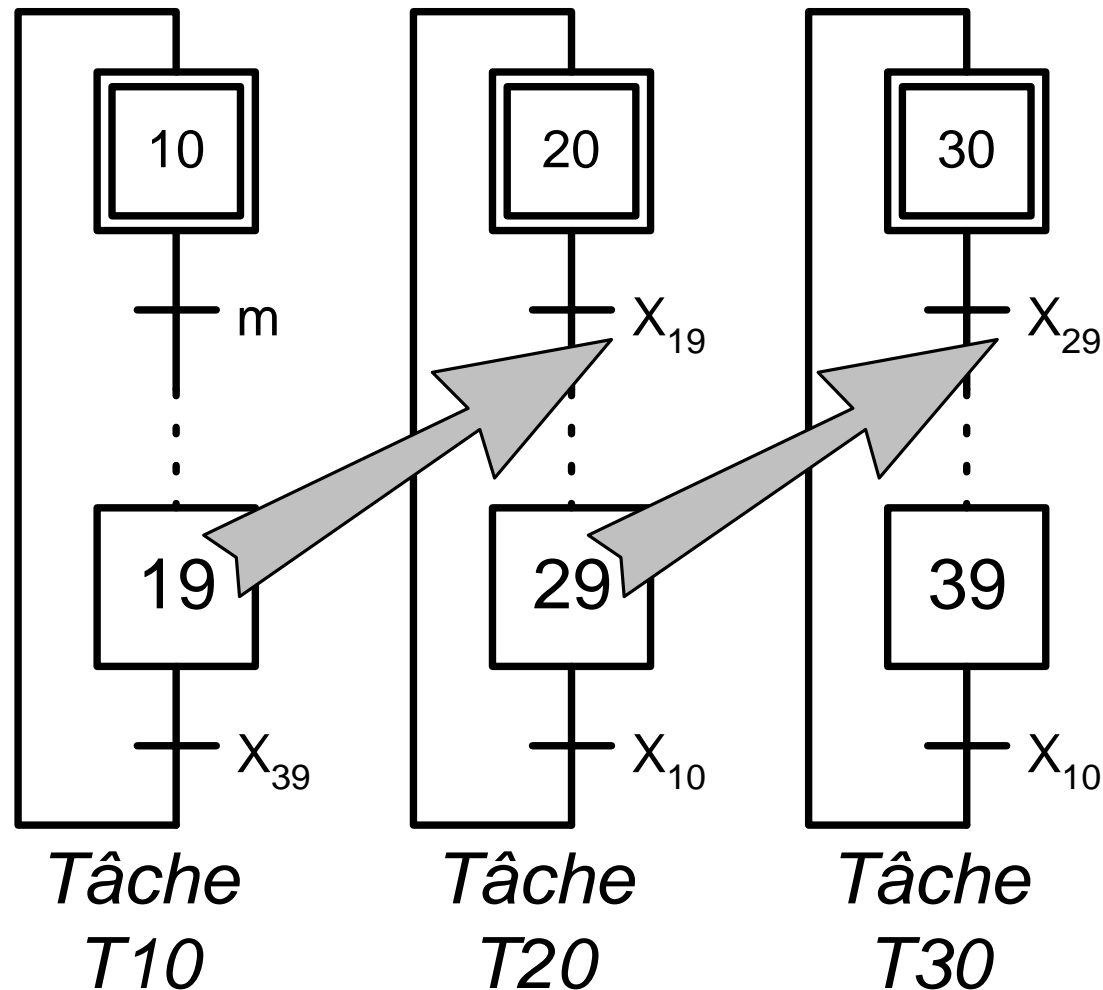


Extension du GRAFCET



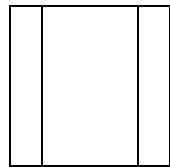
Coordination horizontale

❖ Une seule tâche à la fois

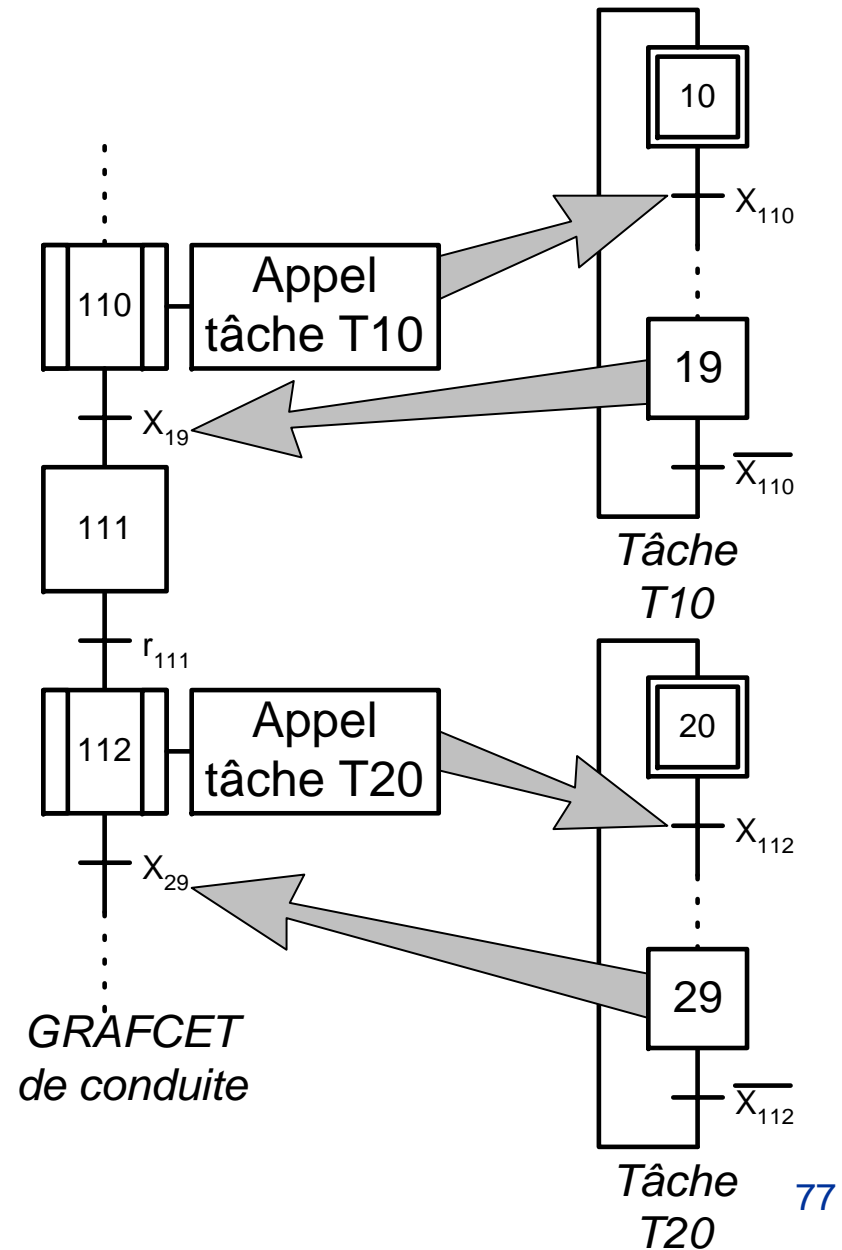


Coordination verticale

- ❖ GRAFCET de conduite
- ❖ GRAFCET esclaves

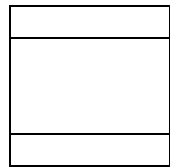


Appel de tâche

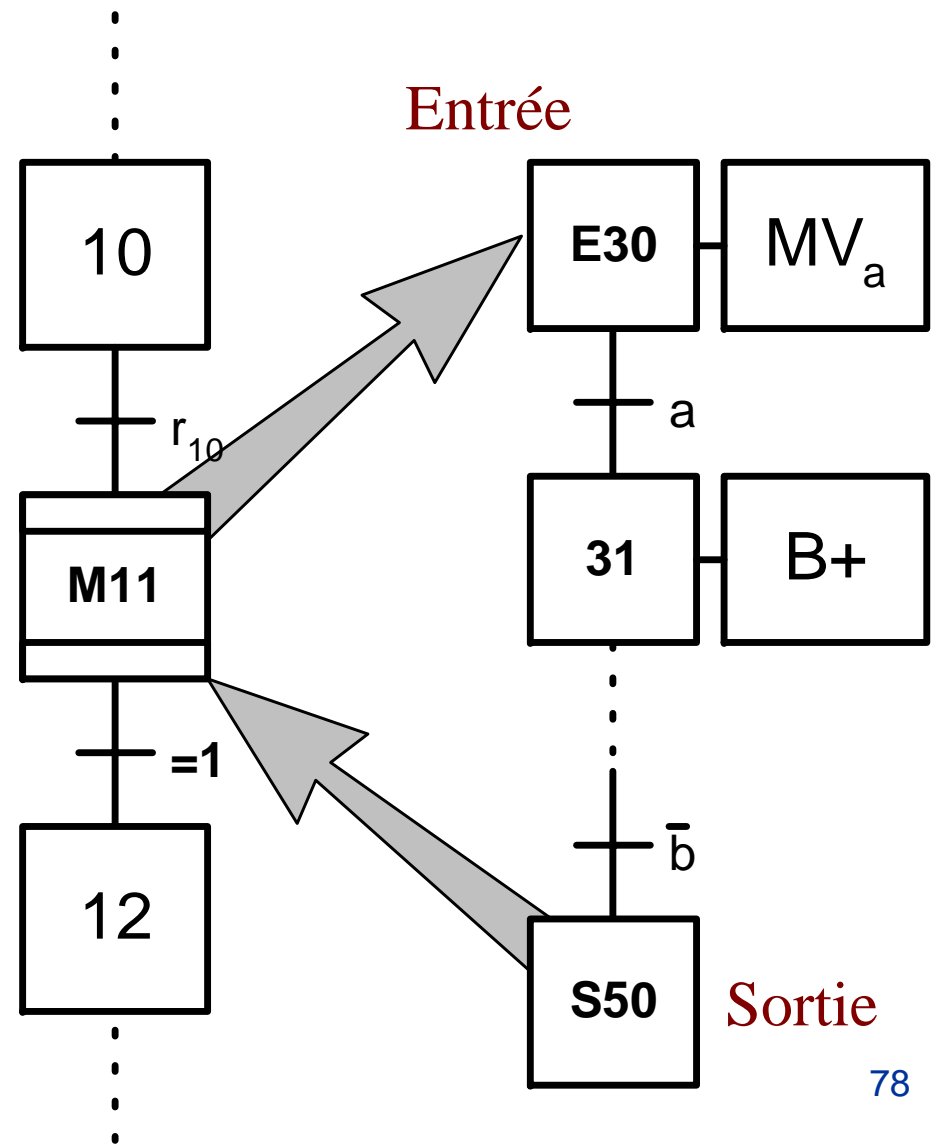


Les macro-étapes

❖ Expansion d'étape



Macro-étape



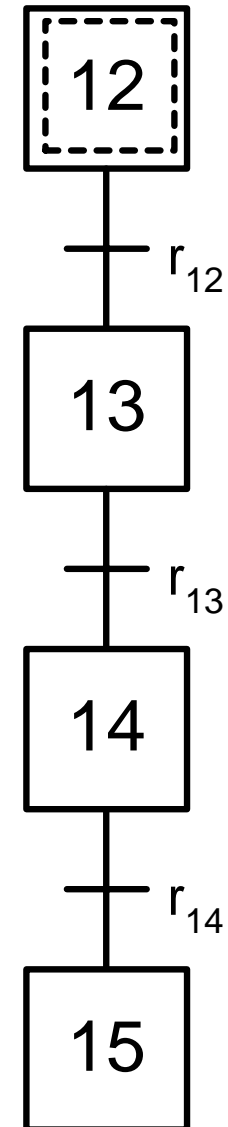
Étape source / Étape puit

- ❖ Étape source

- ⊗ Exige un forçage pour être activé.

- ❖ Étape puit:

- ⊗ Exige un forçage pour être désactivé.



Transition source / Transition puit

❖ Transition source
⊗ Toujours validée.

❖ Transition puit:
⊗ Lorsque franchie, désactive l'étape précédente.

