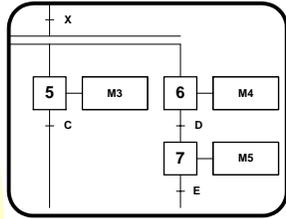


# Le GRAFCET

Cours #5: GPA-140  
Hiver 2006



GRAFCET

## Introduction au GRAFCET

- ❖ Inventé en 1977 en France par l'AFCEC:
  - Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique
- ❖ Acronyme de **GRA**phe **F**onctionnel de **C**ommande, **É**tapes, **T**ransitions

2

## 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

3

## 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.



4

## 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.

5

## 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.

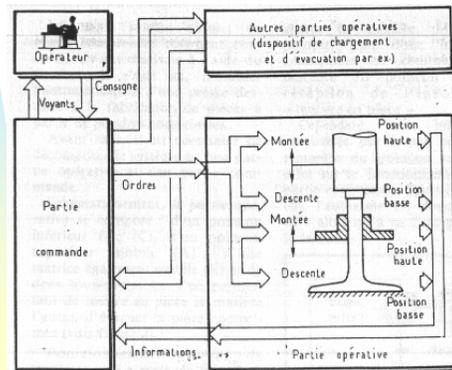
6

## 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 **systèmes automatisés**.

7

## Synoptique d'un système à automatiser



8

## Les niveaux de représentation

- ❖ Le GRAFCET est représenté selon deux niveaux de représentation:
  - Niveau #1 : Spécifications fonctionnelles
  - Niveau #2 : Spécifications technologiques

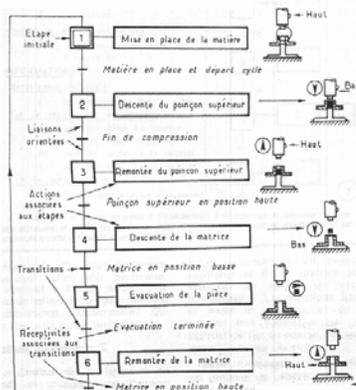
9

## 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.

10

## GRAFCET de niveau 1



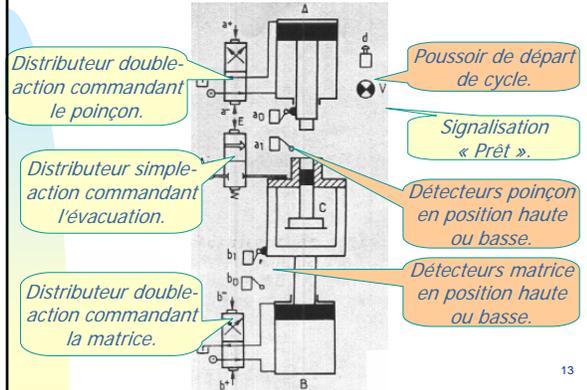
11

## 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.

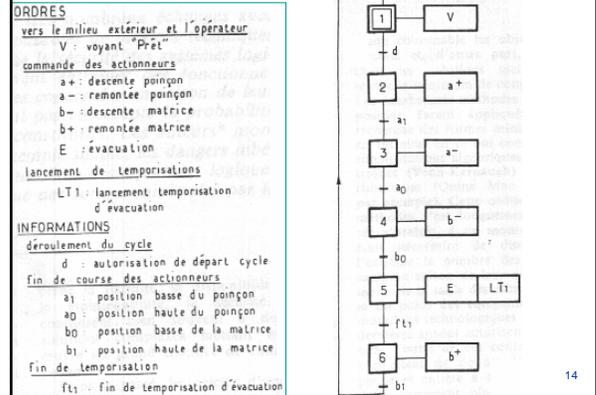
12

## Les choix technologiques



13

## GRAFSET de niveau 2



14

## 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.

15

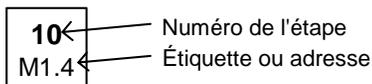
## Les éléments de base

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

16

## 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



17

## L'étape

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



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



18

## 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

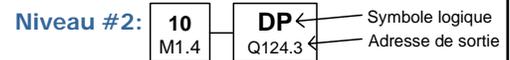


19

## L'action

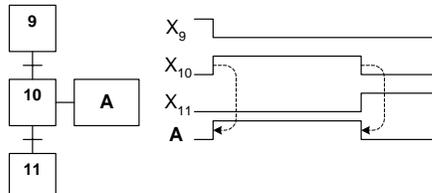
- ❖ Définition:

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



20

## Action continue



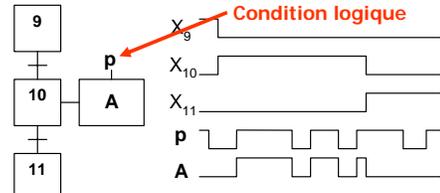
- ❖ Définition:

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

- $A = X_{10}$

21

## Action conditionnelle



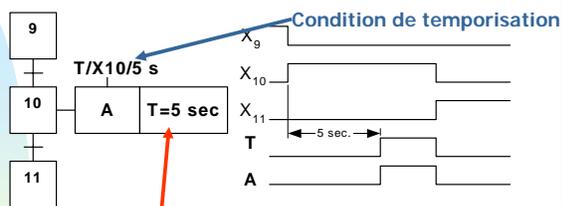
- ❖ Définition:

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

- $A = P * X_{10}$

22

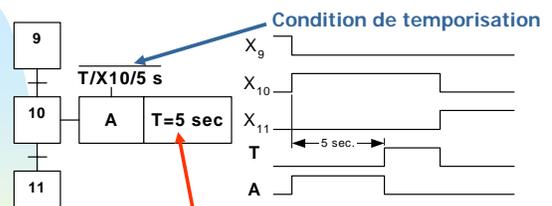
## Action temporisée



Action de temporisation

23

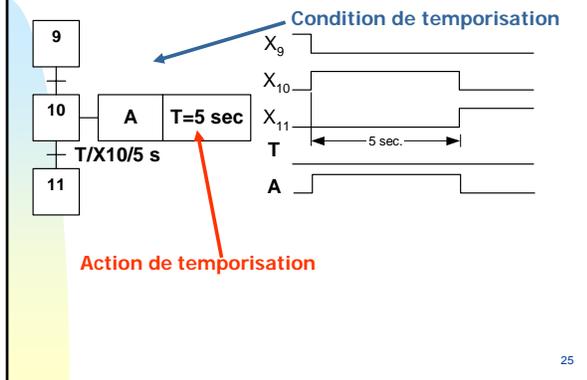
## Action impulsionnelle



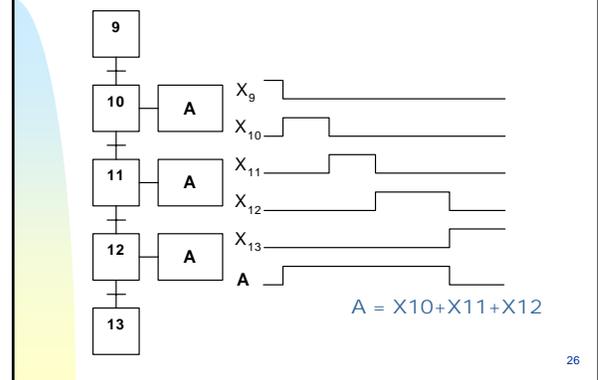
Action de temporisation

24

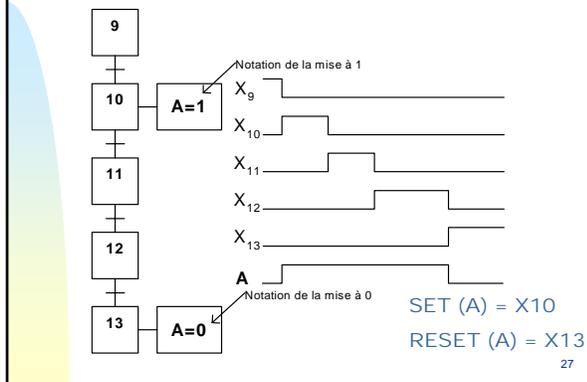
## Action impulsionnelle "obligatoire"



## Action maintenue

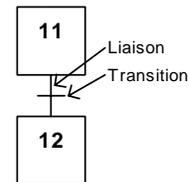


## Action maintenue mémorisée



## Les liaisons

❖ Relient les étapes entre-elles.



❖ Toujours de haut en bas

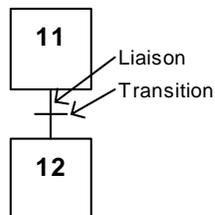
▣ Sinon, mettre une flèche...

28

## Les transitions

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

❖ Trait horizontal.

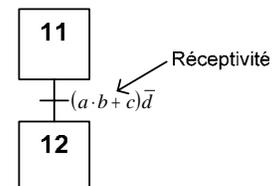


29

## Les réceptivités

❖ Ce sont les conditions qui doivent être remplies pour franchir la transition.

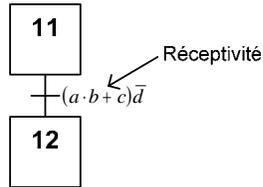
❖ La réceptivité est inscrite à la droite de la transition.



30

## Les réceptivités à niveau

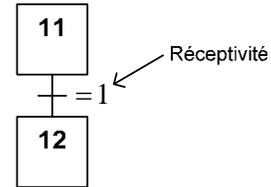
- ❖ Réceptivité faisant intervenir une condition logique



31

## Les réceptivités toujours vraies

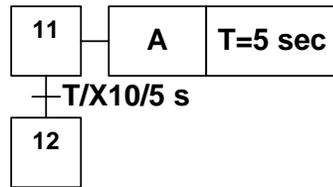
- ❖ Réceptivité dont la valeur logique est toujours 1



32

## Les réceptivités temporisées

- ❖ Réceptivité faisant intervenir le temps comme condition



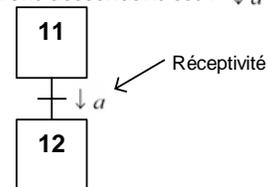
33

## 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 :  $\downarrow a$



34

## 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)

35

## 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

36

## 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"



37

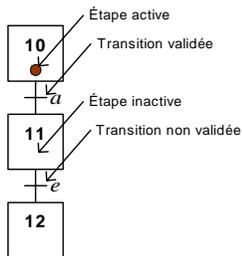
## Règle #2 - La validation

- ❖ 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.

38

## Règle #2 - La validation

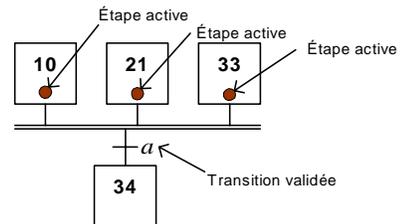
- ❖ GRAFCET #1:



39

## Règle #2 - La validation

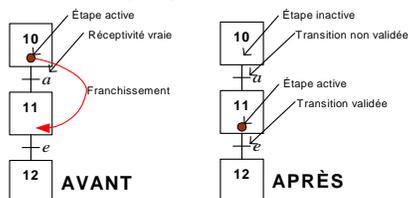
- ❖ GRAFCET #2:



40

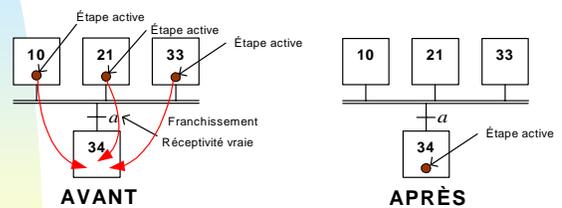
## Règle #3 - Le franchissement

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



41

## Règle #3 - Le franchissement



42

## Règle #4 - Le franchissement

- ❖ Plusieurs transitions simultanément franchissables sont franchies simultanément

43

## Règle #5

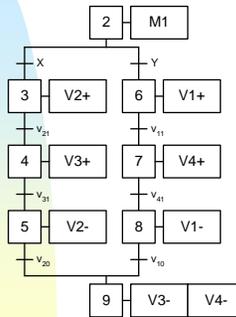
- ❖ Si au cours du fonctionnement une même étape doit être désactivée ou activée simultanément, elle reste activée.
- ❖ Cohérence théorique interne au GRAFCET.

44

## GRAFCET - Les branchements

45

## Les séquences exclusives

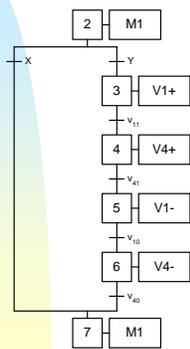


- ❖ Appelés aussi « aiguillages »

- ❖ X et Y sont mutuellement exclusifs.

46

## Le saut d'étapes

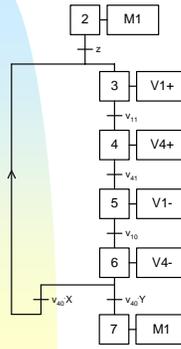


- ❖ Variante d'un « aiguillage »

- ❖ X et Y sont mutuellement exclusifs.

47

## La reprise de séquence

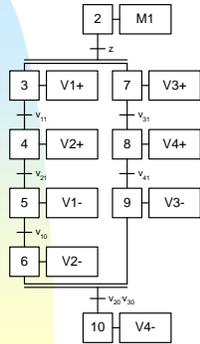


- ❖ Variante d'un « aiguillage »

- ❖  $V_{40}\text{-}X$  et  $V_{40}\text{-}Y$  sont mutuellement exclusifs.

48

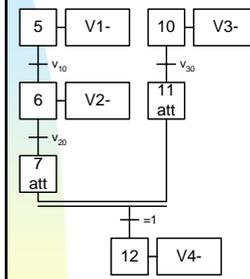
## Les séquences simultanées



- ❖ Une seule condition de démarrage.

49

## Les séquences simultanées



- ❖ Cas avec actionneurs électriques
- ❖ Ajout d'étapes d'attente
- ❖ Transition toujours vraie

50

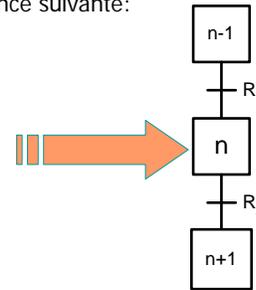
## Conversion du GRAFCET au LADDER

- ❖ 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

51

## Conversion du GRAFCET au LADDER

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



52

## 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



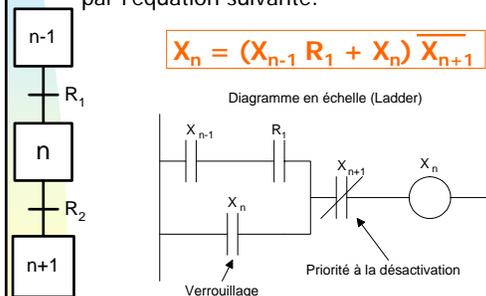
53

## Bascule avec priorité à la désactivation

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

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

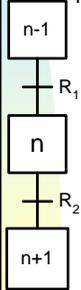
Diagramme en échelle (Ladder)



54

### Bascule avec priorité à la désactivation

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



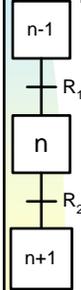
$$X_n = (X_{n-1} R_1 + X_n) \overline{X_{n+1}}$$

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

55

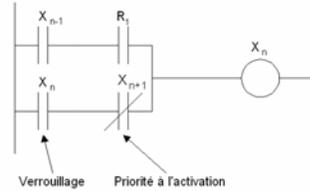
### Bascule avec priorité à l'activation

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



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

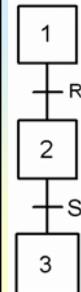
Diagramme en échelle (Ladder)



56

### Bascule avec priorité à l'activation

❖ Bug majeur de cette approche



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

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

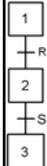
$$X_3 = X_2 * S + X_3 * \overline{X_4}$$

57

### Bascule avec priorité à l'activation

❖ Bug majeur de ces approches

❖ Un automate est une machine séquentielle.



$$X_2 = X_1 * R + X_2 * \overline{X_3} = 0$$

$$X_3 = X_2 * S + X_3 * \overline{X_4} = 1$$

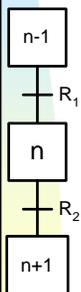
DEUX ÉTAPES SUCCESSIVES À 1 EN MÊME TEMPS !!!

58

### 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  $X_n$

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

59

### Solution très simple

❖ Programmation des transitions séparément



$$Y_1 = X_1 * R$$

$$Y_2 = X_2 * S = 1$$

...

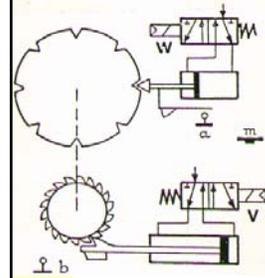
$$X_2 = (Y_1 + X_2 * \overline{Y_2}) = 0$$

$$X_3 = (Y_2 + X_3 * \overline{Y_3}) = 1$$

60

## Exemple d'applications du GRAFCET

### Plateau tournant



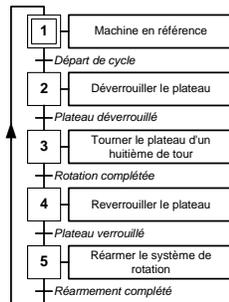
❖ Fonctionnement souhaité:

- ❑ 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.

62

### Plateau tournant

❖ GRAFCET de niveau #1 :



63

### Plateau tournant

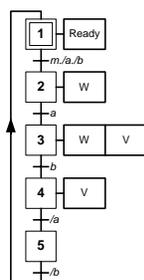
❖ Choix technologiques :

- ❑ Capteurs:
  - Bouton départ : m ;
  - Détecteur déverrouillage : a ;
  - Détecteur rotation complétée : b ;
- ❑ Actionneurs:
  - Vérin déverrouillage : W ;
  - Vérin de rotation : V ;
  - Voyant machine prête : Ready.

64

### Plateau tournant

❖ GRAFCET niveau #2 :



65

### Plateau tournant

❖ Transitions:

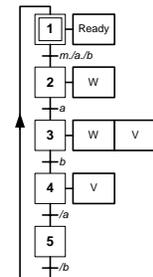
$$Y1 = X1 \cdot m \cdot \bar{a} \cdot \bar{b}$$

$$Y2 = X2 \cdot a$$

$$Y3 = X3 \cdot b$$

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

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



66

## Plateau tournant

❖ Étapes:

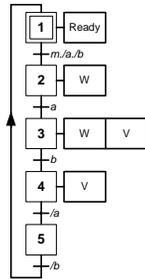
$$X1 = Y5 + X1 * \overline{Y1} + Init$$

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

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

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

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



67

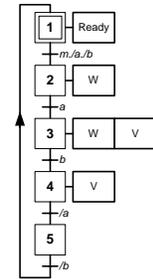
## Plateau tournant

❖ Actions:

$$Ready = X1$$

$$W = X2 + X3$$

$$V = X3 + X4$$



68

## Plateau tournant

Transitions

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

$$Y2 = X2 \cdot a$$

$$Y3 = X3 \cdot b$$

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

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

Étapes

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

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

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

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

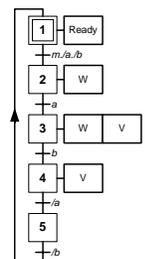
$$X5 = Y4 + X5 * \overline{Y5}$$

Actions

$$Ready = X1$$

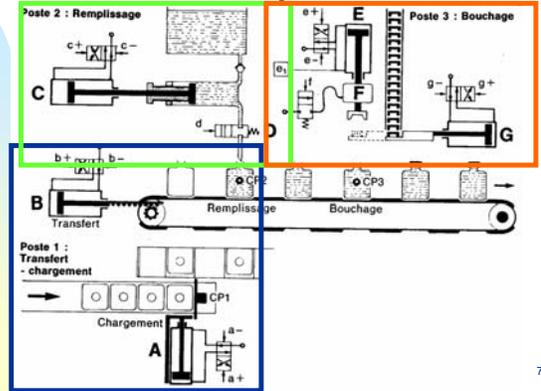
$$W = X2 + X3$$

$$V = X3 + X4$$



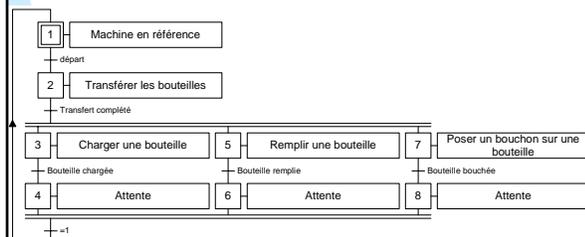
69

## Machine à remplir et à boucher



70

## GRAF CET de niveau 1



Chaque poste travaille en parallèle avec les autres

71

## Extension du GRAFCET

