



UNIVERSITÉ  
DE MONTPELLIER

*L3 EEA*

# **GRAF CET HAE504E**

virazel@lirmm.fr



# LE GRAFCET

---

## Chapitre 1 *Les Éléments de Base*



## Plan

---

- Histoire
- Les Concepts
- Les Règles de Fonctionnement
- Exemple
- Le Graphisme de la Norme
- Annexes

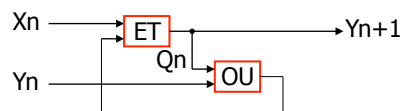
## Histoire

- Le besoin
  - En 1975 un groupe d'Industriels et d'Universitaires Automaticiens se réunit pour chercher un moyen de décrire les Systèmes Séquentiels complexes autrement qu'avec les moyens théoriques et techniques de l'époque:

3

## Histoire

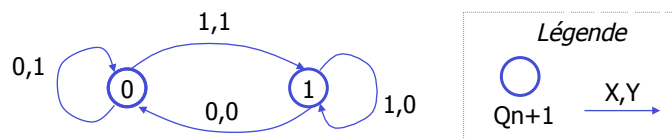
- Équations combinatoires
  - $Q_{n+1} = X_n \cdot (Y_n + Q_n)$
- Logigrammes



4

## Histoire

- Graphe d'états



- Modèles Ad Hoc

- Inconvénients

- Volumineux, Imprécis, Incomplets
- Représentent difficilement le parallélisme et la synchronisation d'événements

5

## Histoire

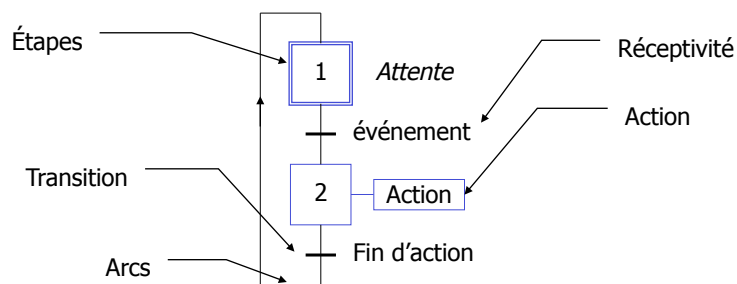
- La solution

- **Le GRAFCET**: Une NORME, consensus, résultant d'un groupe de travail Industrie/ Université
- Norme française en 1982
  - AFNOR C03190
- Norme internationale en 1987
  - IEC 848

6

# Les Concepts

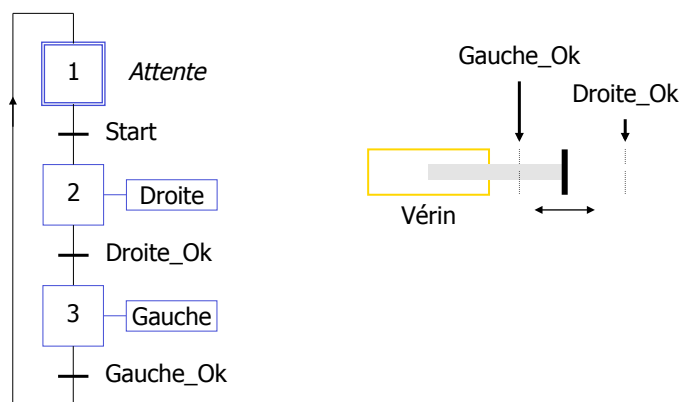
- Les concepts de base sont
  - L'étape, l'action, la transition, la réceptivité, les arcs



7

# Les Concepts

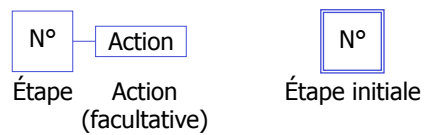
- Exemple



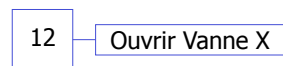
8

## Les Concepts

### ■ L'étape et son action



### ■ Exemple

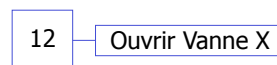


9

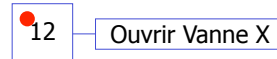
## Les Concepts

### ■ États d'une étape

Inactive → l'action ne s'exécute pas



Active → l'action s'exécute



### ■ Variable

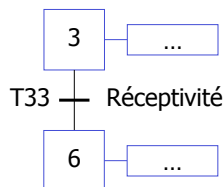
- A chaque étape "n" est associée une variable booléenne  $X_n$ 
  - $X_n$  vaut 0 quand l'étape "n" est inactive
  - $X_n$  vaut 1 quand l'étape "n" est active

10



## Les Concepts

- Les arcs orientés
  - L'activité de l'étape 3 sera suivie par l'activité de l'étape 6



13

## Les Règles de Fonctionnement

- Comment un GRAFCET change-t-il d'état ?
    - Un GRAFCET change d'état par franchissement des transitions
  - Conditions de franchissement
    - Pour qu'une Transition  $T_i$  soit franchissable, il faut que les conditions suivantes soient remplies
      - TOUTES les étapes AMONT doivent être ACTIVES
      - La RECEPTIVITE  $R_i$  associée à la transition doit être VRAIE
- ⇒ *La transition est validée*

14



## Les Règles de Fonctionnement

T22 est franchissable

T22 n'est pas franchissable

15

## Les Règles de Fonctionnement

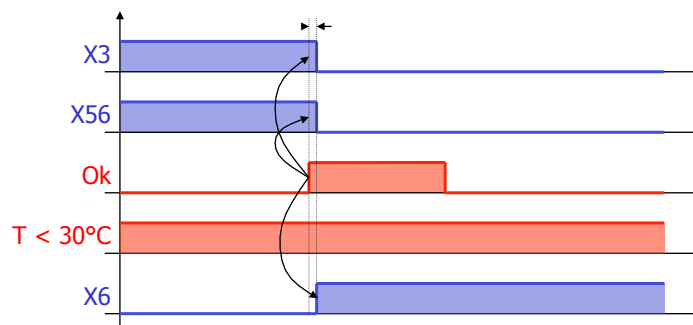
### ■ Effet du franchissement

**Phase 1 :**  
**Désactiver** toutes les étapes **AMONT**

**Phase 2 :**  
**Activer** toutes les étapes **AVANT**

16

## Les Règles de Fonctionnement



17

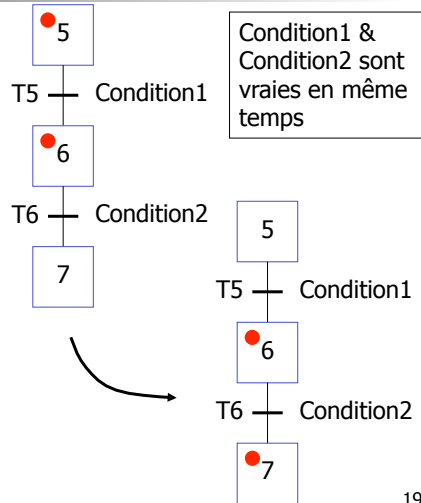
## Les Règles de Fonctionnement

- Que faire quand plusieurs transitions sont franchissables en même temps ?
  - Elles sont toutes franchies

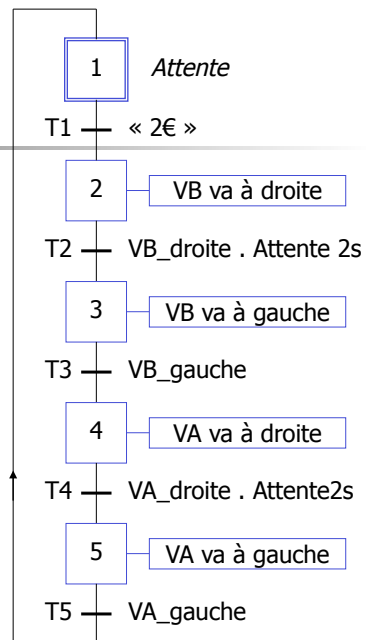
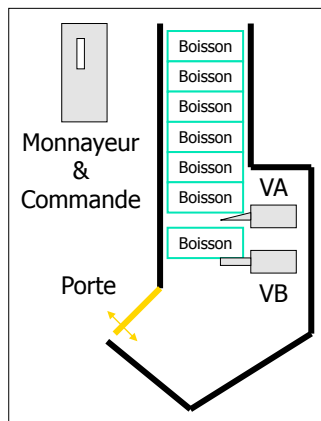
18

# Les Règles de Fonctionnement

- Que faire quand une étape doit être simultanément ACTIVEE et DESACTIVEE ?
  - On donne la priorité à l'activation
  - Il est fortement déconseillé de faire des GRAFCET qui aboutissent à ce fonctionnement



# Exemple



# Le Graphisme de la Norme

## ■ Les Arcs

- Arcs descendant



- Arcs montant

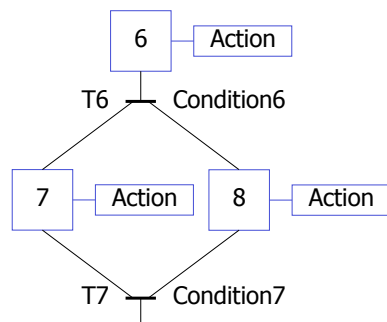


21

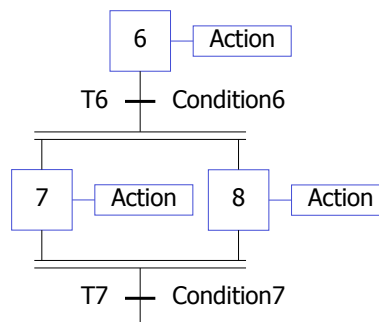
# Le Graphisme de la Norme

## ■ Les transitions

Graphisme intuitif



Graphisme normalisé



22

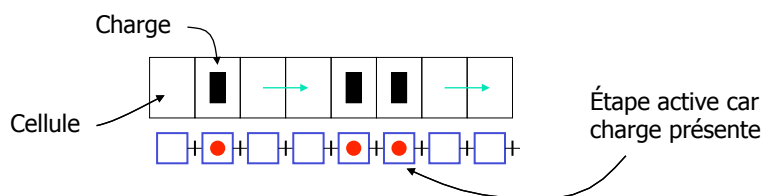
## Annexes n°1

- On peut donner à une étape le sens que l'on veut, pourvu que le sens soit cohérent avec le comportement d'une étape
  - Le plus souvent, une étape représente une action ou une attente
  - Mais parfois une étape peut représenter simplement un état

23

## Annexes n°1

- Exemple : l'état (chargé ou non) de la cellule d'un transporteur
  - Une étape représente une cellule
  - Le déplacement des charges est modélisé par l'activité de l'étape



24



## Annexes n°2

---

- La progression aboutissant à la normalisation
  - 1975 : Le groupe "Systèmes Logiques" de l'AF CET adopte comme objectif de trouver un modèle commode de représentation des systèmes séquentiels complexes  
*AF CET = Association Française de Cybernétique Économique et Technique*
  - 1977 : Édition du premier document de définition du GRAFCET  
*GRAPHE de Coordination Étapes Transition - Graphe AF CET*
  - 1982 : Normalisation Française du GRAFCET  
*Norme AFNOR C03 190*  
*Nom français : GRAFCET*  
*Nom anglais : S.F.C = Sequential Function Chart*

25



## Annexes n°2

---

- 1983 : Publication par le Groupe AF CET d'un document de définition plus précis avec algorithme d'évolution
- 1987 : Normalisation Internationale  
*I.E.C 848 : Function Chart for Control System*  
*IEC: International Electrotechnical Committee*
- 1988 : Définition par le groupe de la MACRO-ETAPE et du FORCAGE
- 1994 : Proposition de normalisation de MACRO-ETAPE et FORCAGE  
*AFNOR C03 191*
- Aujourd'hui les concepts du GRAFCET font partie de la **Norme IEC 1131-3**

26



# LE GRAFCET

---

## Chapitre 2

### *Structures Classiques*



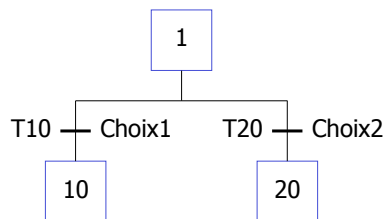
## Plan

---

- Le Choix
- Le Parallélisme
- La Synchronisation
- L'exclusion: Sémaphore
- La Communication
- Quelques Associations
- Ne pas Faire !!!

## Le Choix

- Il y a **choix** quand une étape (1) est suivie de plusieurs transitions (T10 & T20)



- Si "1" est active et :
  - Si Choix1 = 1 et Choix2 = 0 l'étape active suivante sera "10"
  - Si Choix1 = 0 et Choix2 = 1 l'étape active suivante sera "20"
- *Choix1 & Choix2 expriment le choix entre les deux possibilités*

3

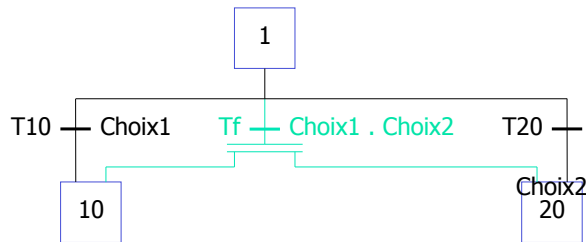
## Le Choix

- Remarques
  - Tant qu'aucun choix n'est exprimé (Choix1 & Choix2 = 0), le système reste en "1"
  - Les réceptivités doivent être EXCLUSIVES
    - Choix1 . Choix2 = 0
    - Sinon si "1" est active et si Choix1 . Choix2 = 1 alors, les deux transitions T10 et T20 sont franchies en même temps, ce qui conduit à la situation finale "10" et "20" qui équivaut à la transition fictive Tf
    - C'est admis en GRAGCET mais fortement déconseillé

4



## Le Choix



- Or comme Tf n'est pas présent sur le graphe, la décision d'activité simultanée (d'activer "10" et "20") n'apparaît pas clairement

5

## Le Choix

- Qu'est-ce qui peut rendre des fonctions booléennes exclusives ?
  - Si les réceptivités ne sont jamais vraies en même temps, à cause du procédé (en effet, l'objet ne peut être à la fois à gauche et à droite)

T10 — Objet à gauche

T20 — Objet à droite

⇒ Sauf quand un des capteurs est en panne

6



## Le Choix

---

- Si les réceptivités sont non corrélées (ne varient pas ensemble), alors l'exclusion est vraie par nature

T10 — V1

T20 — V2

7



## Le Choix

---

- Si les réceptivités sont exclusives par construction, c'est à dire si le ET des deux réceptivités est nul

T10 — GO . Condition

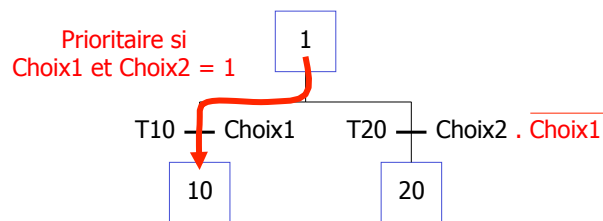
T20 — GO .  $\overline{\text{Condition}}$

$$\Rightarrow (\text{GO} \cdot \text{Condition}) \cdot (\text{GO} \cdot \overline{\text{Condition}}) = 0$$

8

## Le Choix

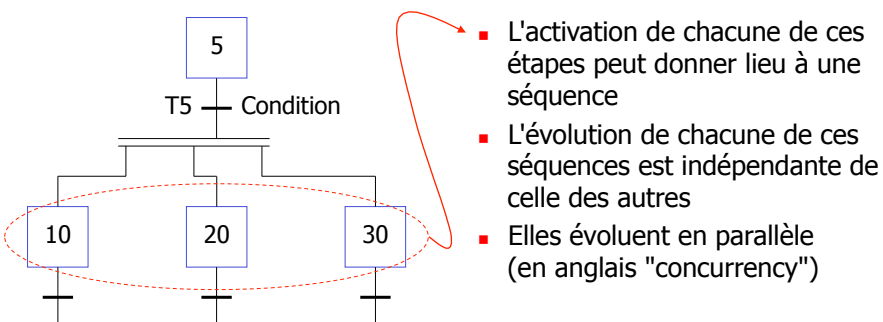
- Dans le doute, il vaut mieux rendre exclusives par construction les réceptivités d'un choix
  - Fonctionnement du GRAFCET indépendant de la technologie
  - Priorité en cas de conflit



9

## Le Parallélisme

- Une transition est suivie par plusieurs étapes

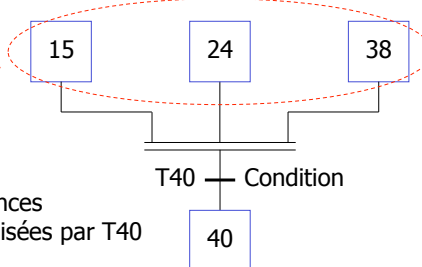


10

## La Synchronisation

- Quand plusieurs étapes sont en AMONT d'une même transition, il faut qu'elles soient toutes actives pour que la transition soit franchissable
- Si chacune d'elles est la dernière étape d'une séquence, il faudra que toutes les séquences soient terminées pour que le GRAFCET puisse franchir la transition

- Dernières étapes des séquences
- Les séquences sont synchronisées par T40

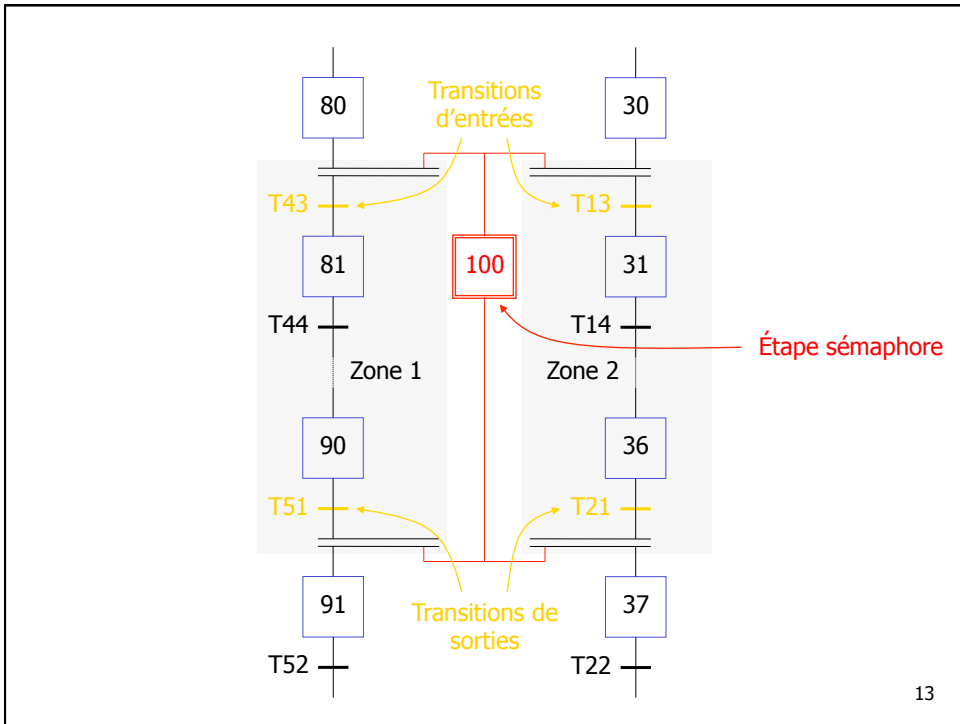


11

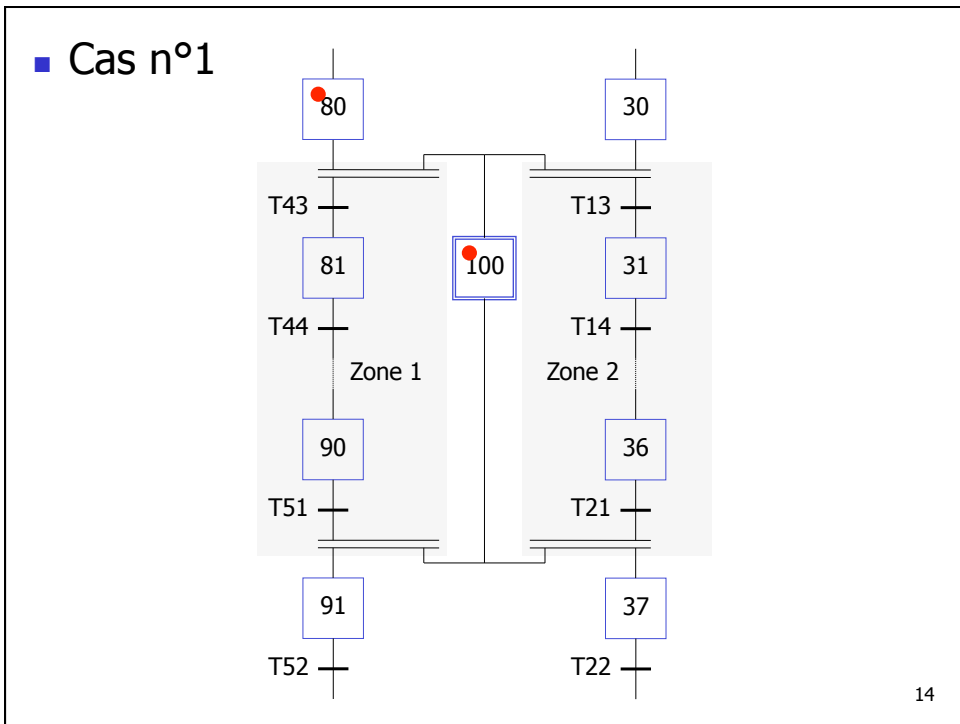
## Le Sémaphore

- Définition
  - Le sémaphore est une structure de GRAFCET qui contrôle l'activité de zones
- Exemple
  - Le sémaphore est constitué de l'étape 100 et des transitions T13, T43, T21, T51

12

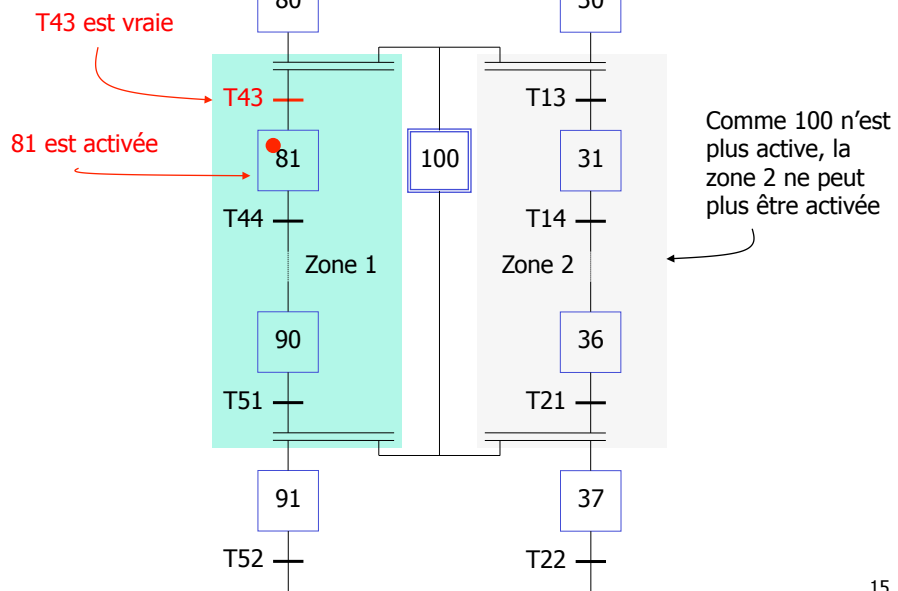


13

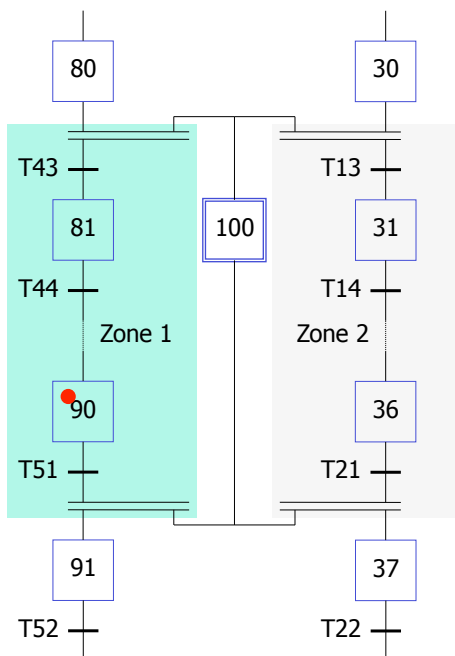


14

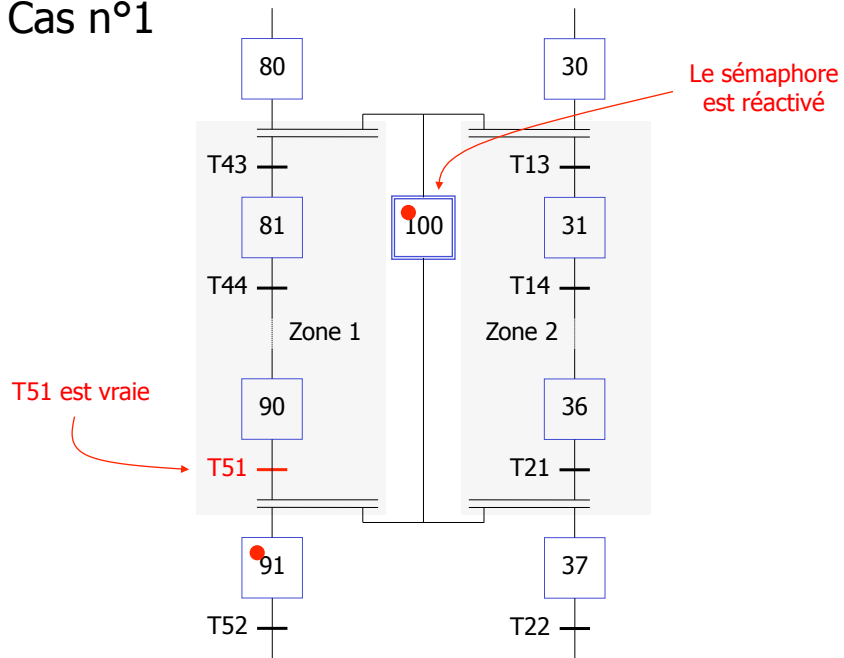
### ■ Cas n°1



### ■ Cas n°1

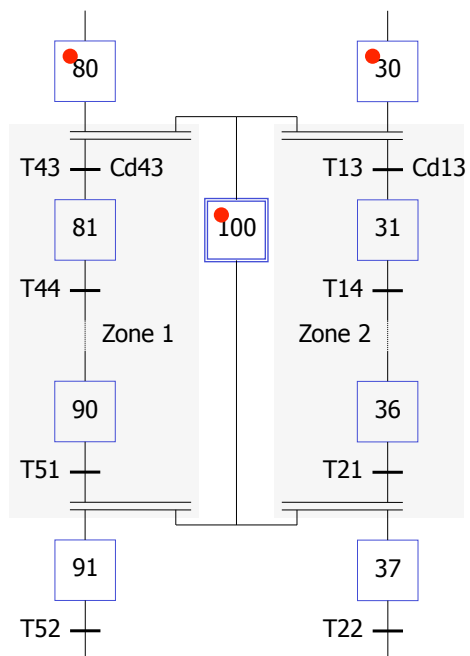


■ Cas n°1



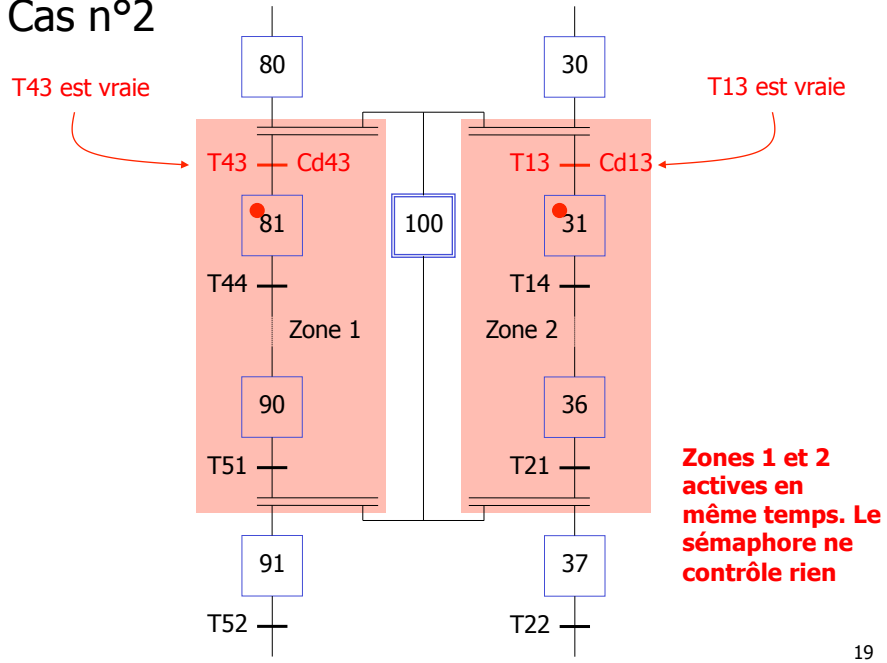
17

■ Cas n°2



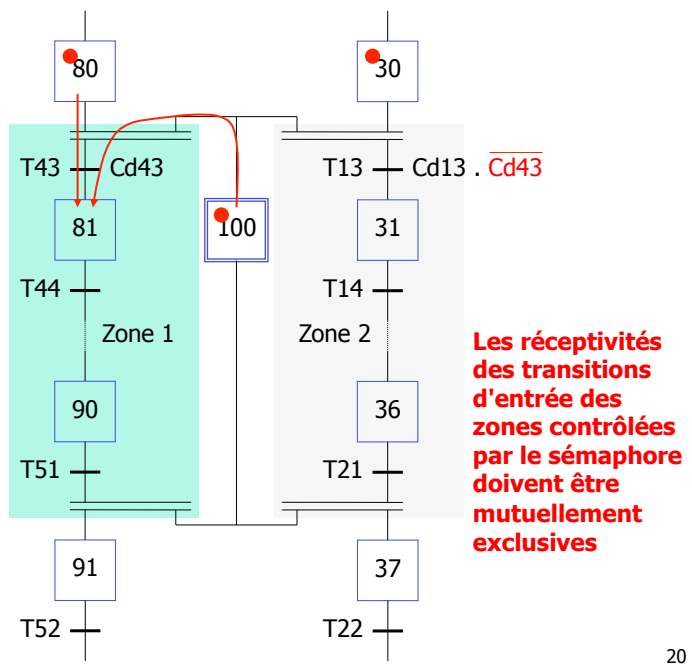
18

■ Cas n°2



19

■ Cas n°2



20



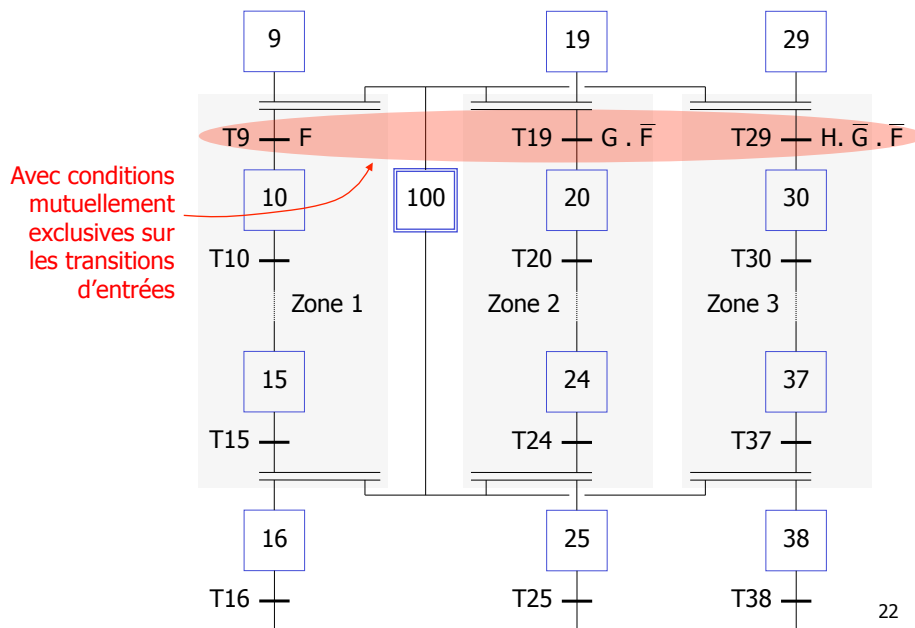
# Le Sémaphore

## ■ Notion de ressource

- La partie physique sur laquelle agissent les zones 1 et 2 s'appelle une "ressource"
- Pourquoi empêcher l'activation simultanée des zones 1 et 2 ?
  - Parce qu'elles agissent toutes les deux sur une même partie physique, ou Partie Opérative, et que celle-ci ne doit pas recevoir deux ordres qui peuvent se contredire

21

## ■ Généralisation

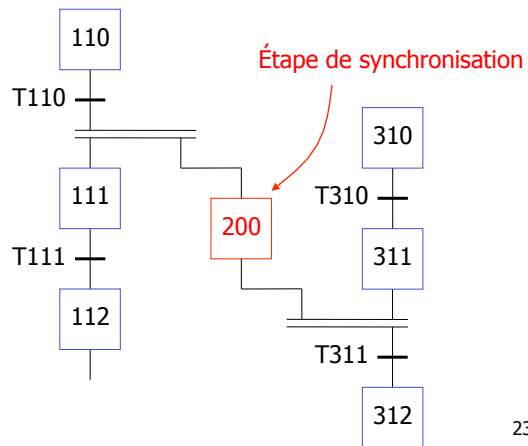


22

# La Communication

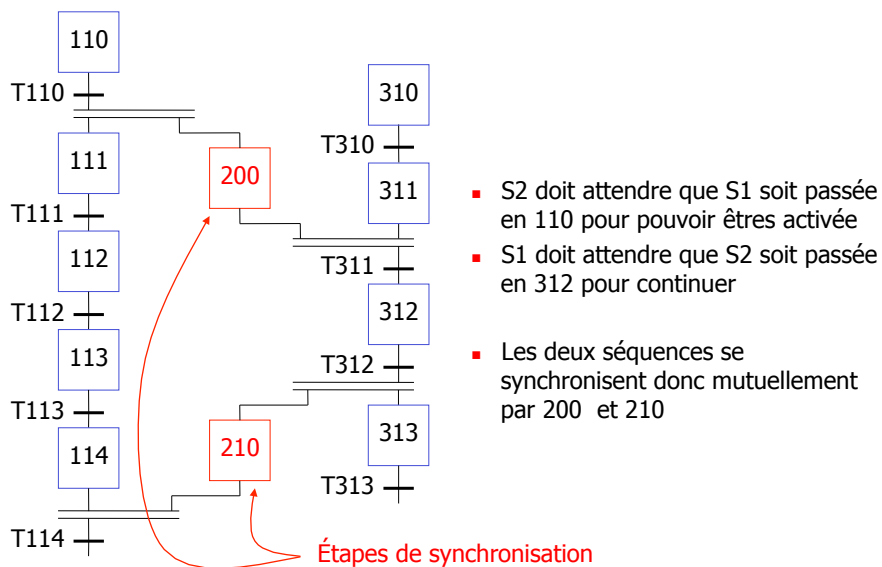
## ■ Synchronisation simple de deux séquences

- S2 doit attendre que S1 soit passée en 110 pour pouvoir continuer en 312
- Les deux séquences se synchronisent par 200



23

## ■ Synchronisation mutuelle de deux séquences

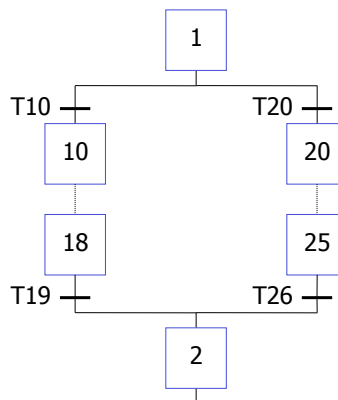


- S2 doit attendre que S1 soit passée en 110 pour pouvoir être activée
- S1 doit attendre que S2 soit passée en 312 pour continuer
- Les deux séquences se synchronisent donc mutuellement par 200 et 210

24

## Quelques Associations

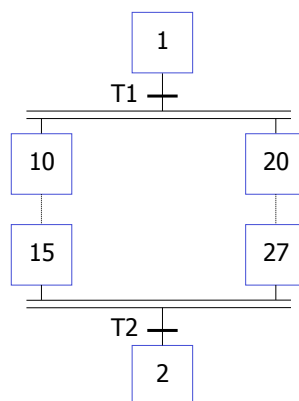
- Associer CHOIX et CONVERGENCE



25

## Quelques Associations

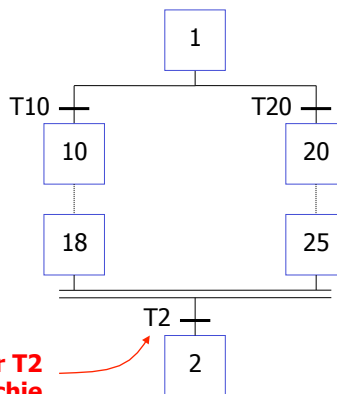
- Associer PARALLELISME et SYNCHRONISATION



26

## Ne pas Faire !!!

- Ne jamais associer CHOIX et SYNCHRONISATION

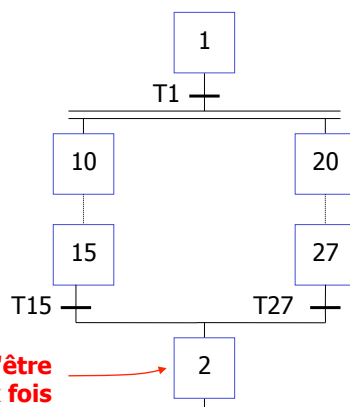


Il y aura blocage car T2 ne sera jamais franchie

27


## Ne pas Faire !!!

- Ne jamais associer PARALLELISME et CONVERGENCE



2 risque d'être activée deux fois


28



# LE GRAFCET

---

Chapitre 3  
*Exemples*

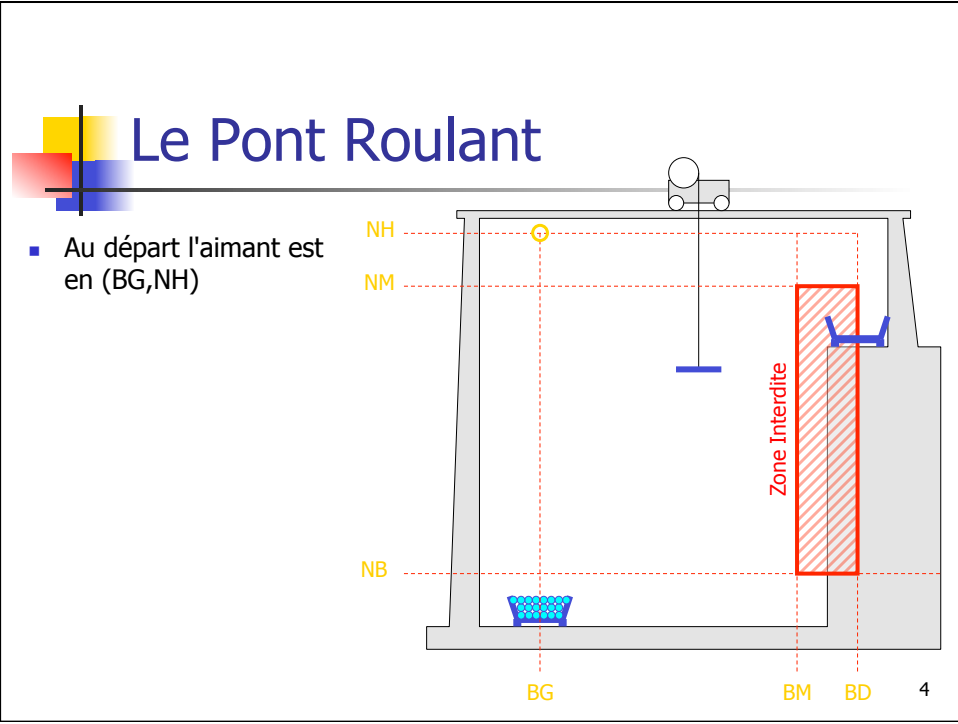
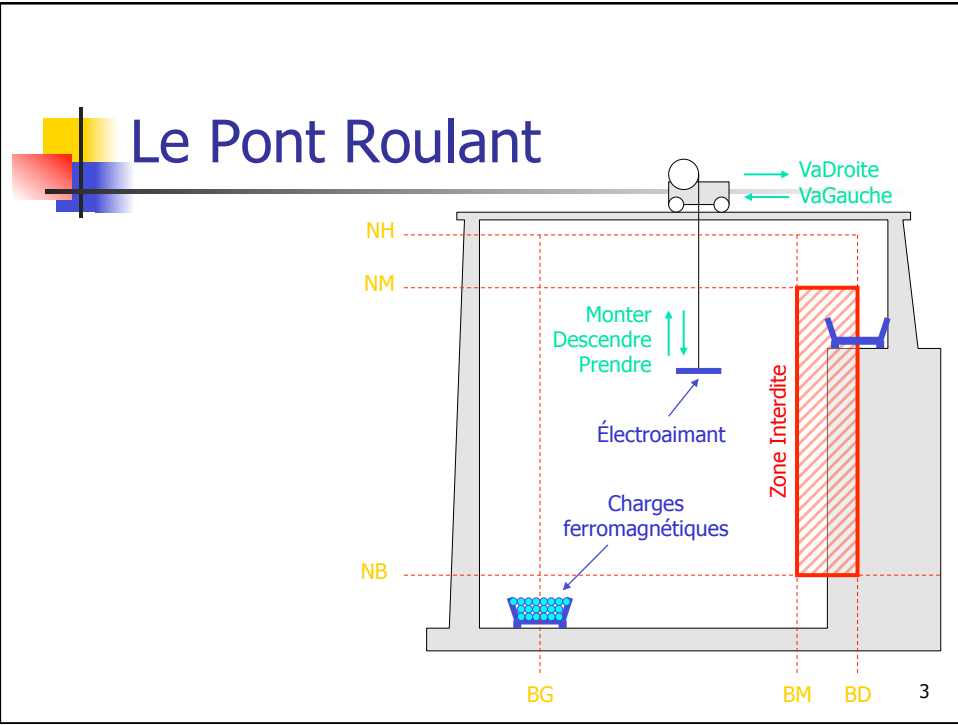


## Plan

---

- Le Pont Roulant
- Le Robot de Distribution

2



## Le Pont Roulant

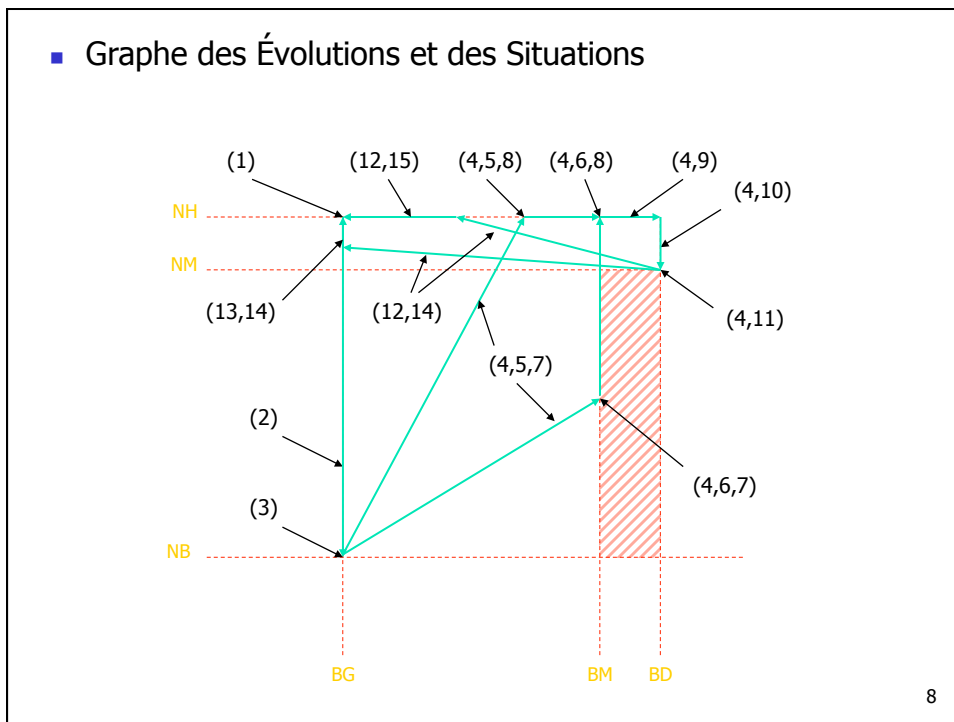
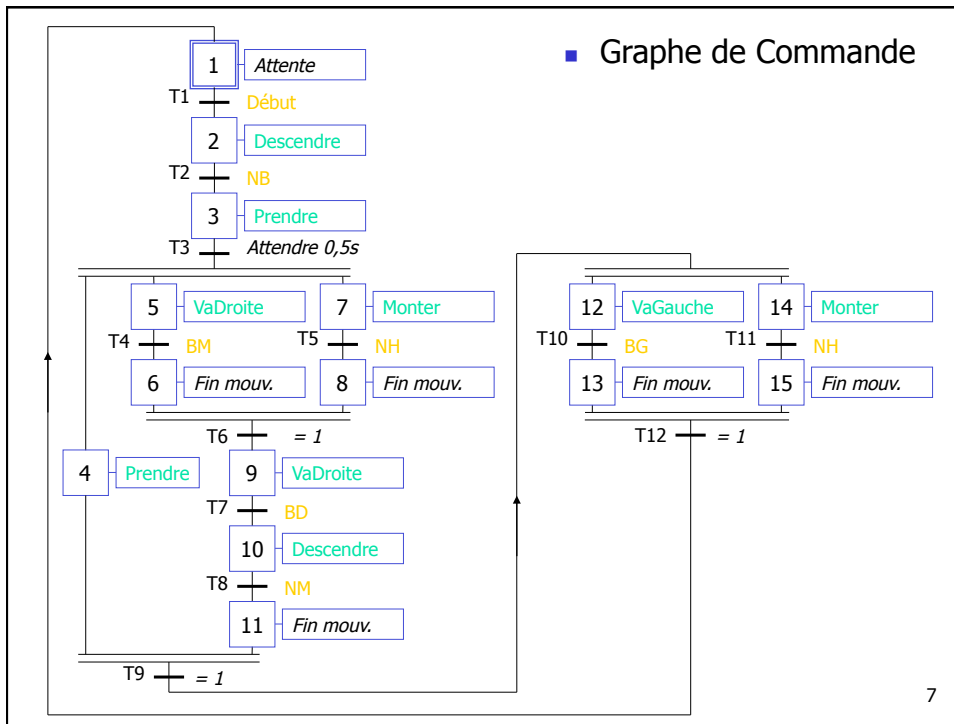
- Au départ l'aimant est en (BG,NH)
- Quand l'ordre "début" est donné, l'aimant va en (BG,NB), prend la charge, puis va en (BD,NM) en passant par le point (BM,NH) pour éviter la zone interdite

5

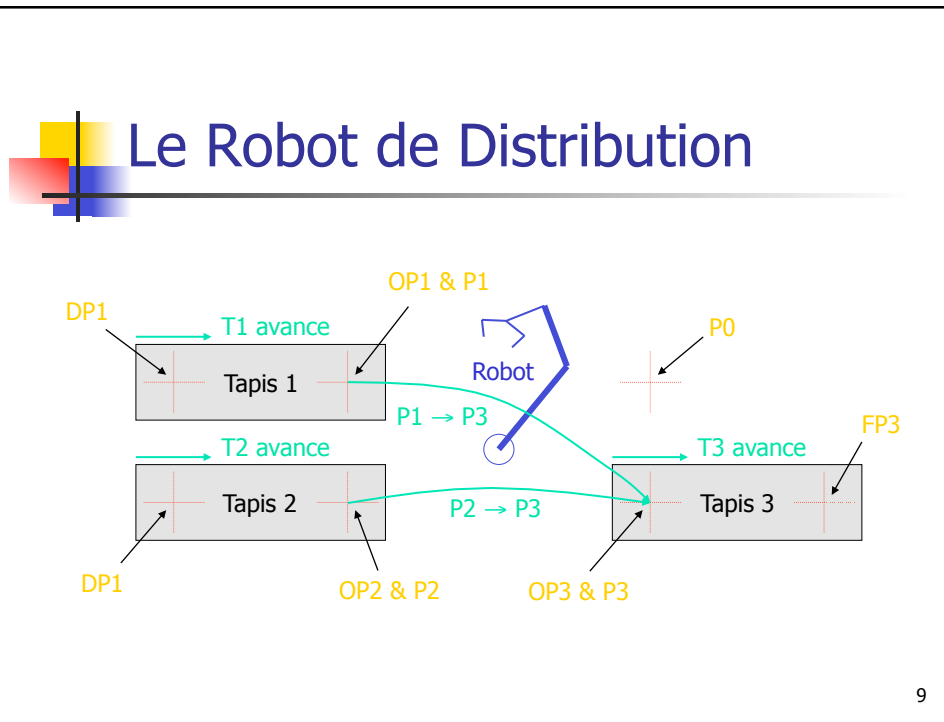
## Le Pont Roulant

- Au départ l'aimant est en (BG,NH)
- Quand l'ordre "début" est donné, l'aimant va en (BG,NB), prend la charge, puis va en (BD,NM) en passant par le point (BM,NH) pour éviter la zone interdite
- Il lâche la charge, puis revient en (BG,NH)

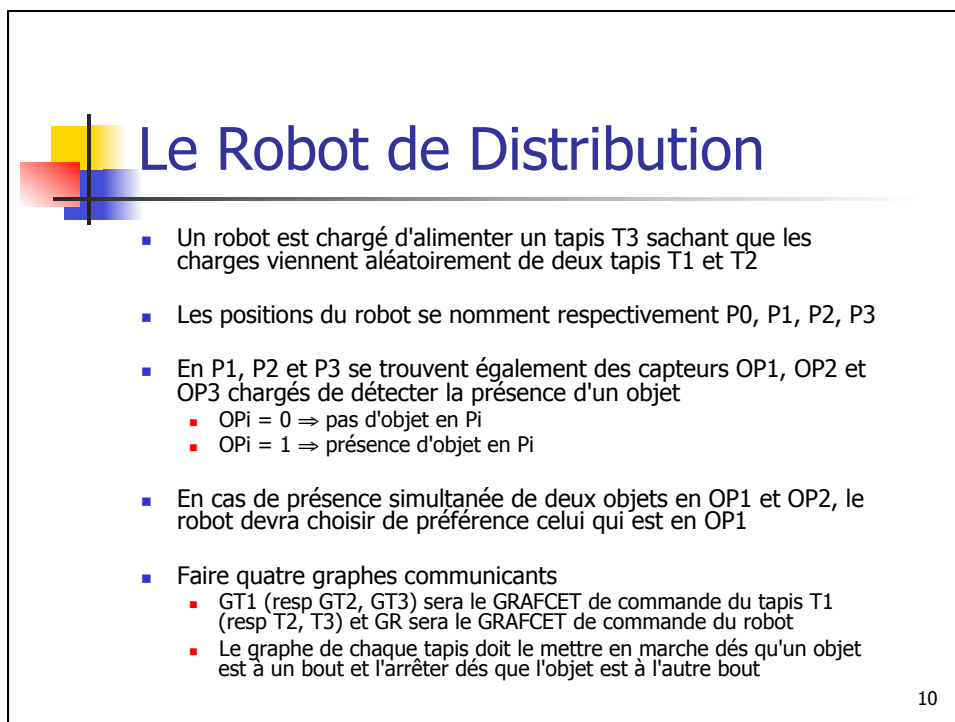
6





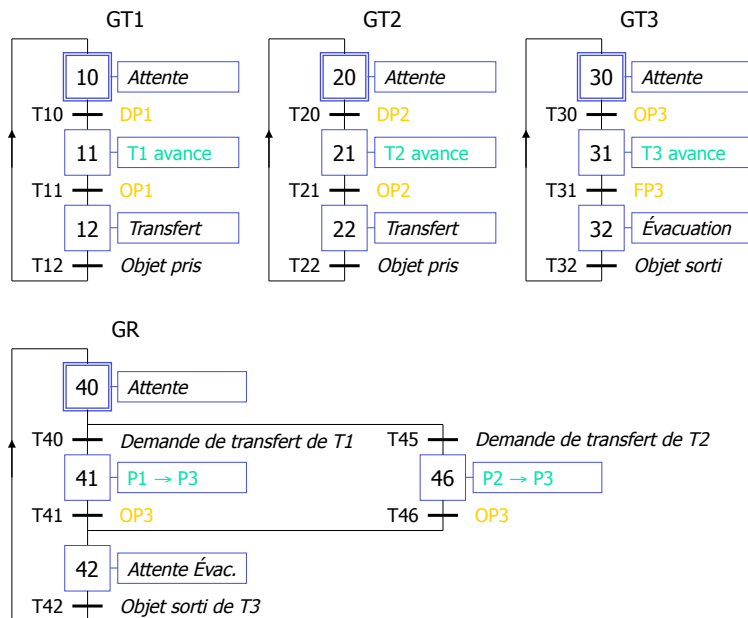


9



10

## ■ Approche Intuitive



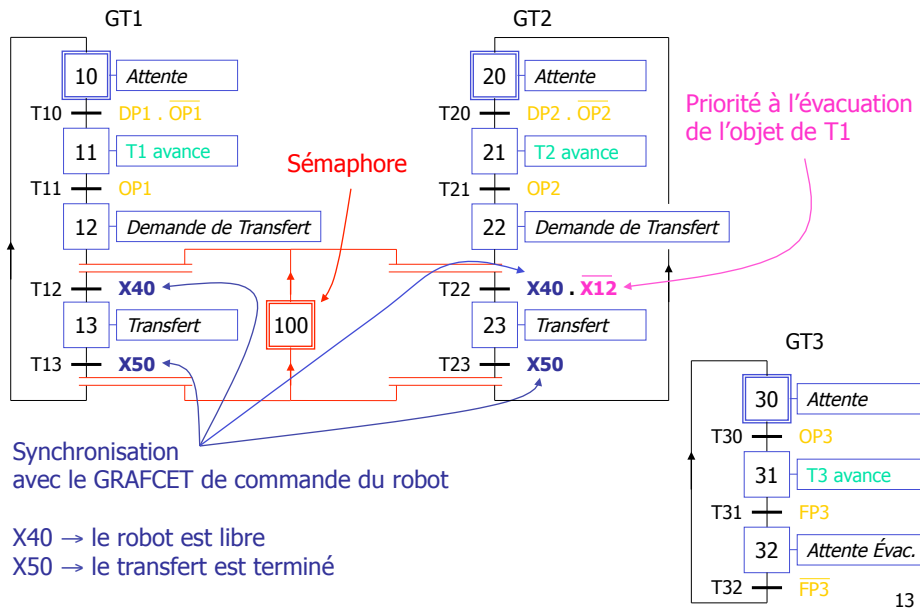
11

## Le Robot de Distribution

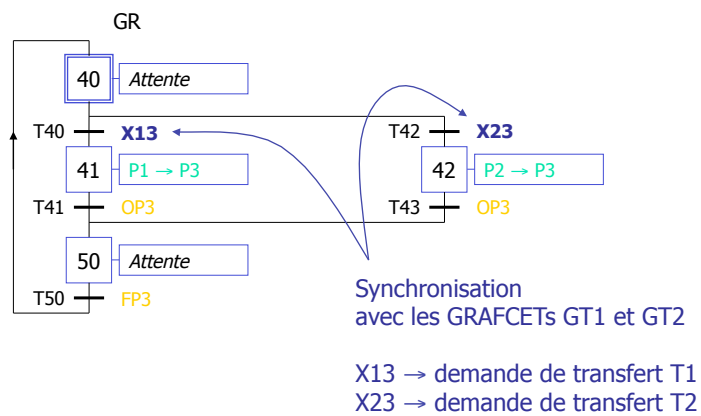
- Attention, le robot ne peut pas transporter deux charges. Il ne peut donc pas répondre à la fois à T1 et à T2 si les demandes de transfert arrivent en même temps
- Le ROBOT est donc une **RESSOURCE**
- Ajoutons la structure de gestion de ressource par **SEMAPHORE**

12

### ■ Approche Définitive



### ■ Approche Définitive





# LE GRAFCET

---

## Chapitre 4 *Les Entrées Sorties*



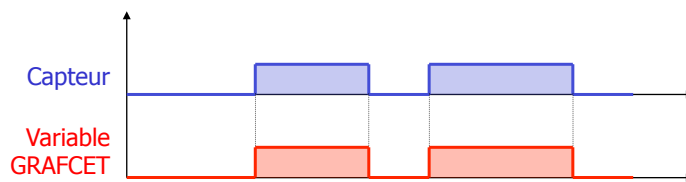
## Plan

---

- Les Entrées
  - Simples
  - à Front
- Les Temporisations
- Les Actions
  - Action ou Ordre Continu
  - Action ou Ordre Conditionnel
  - Action ou Ordre Méorisé
- Exemple

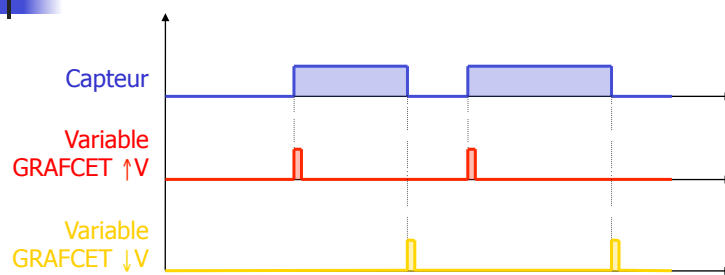
## Les Entrées Simples

- La variable GRAFCET a la même valeur que le capteur



3

## Les Entrées à Front

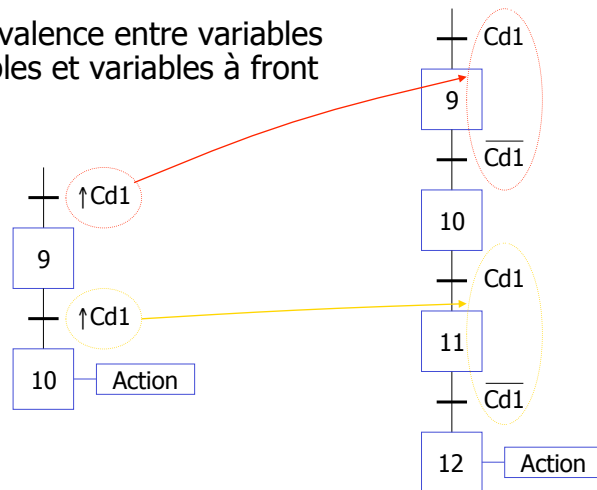


- La variable à front montant vaut 1
  - quand le capteur passe de 0 à 1
  - pendant le temps de changement d'état du GRAFCET
- La variable à front descendant vaut 1
  - quand le capteur passe de 1 à 0
  - pendant le temps de changement d'état du GRAFCET

4

## Les Entrées à Front

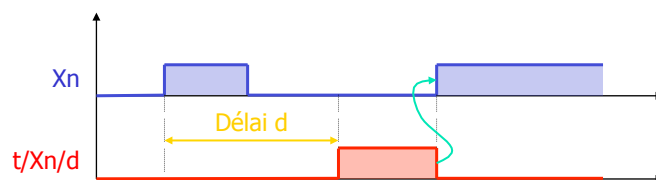
- Équivalence entre variables simples et variables à front



5

## Les Temporisations

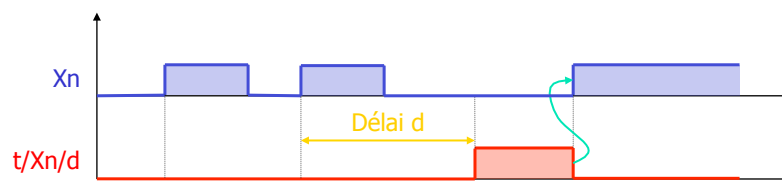
- La variable temporisation se note " $t/Xn/d$ " avec :
  - $t$  identifie une temporisation
  - $Xn$  est l'étape dont l'activation démarre la temporisation
  - $d$  est le délai de temporisation
- Elle vaut :
  - 0 à l'instant initial
  - 0 dès que l'étape  $Xn$  devient active
  - 1 dès que le délai  $d$  est écoulé



6

## Les Temporisations

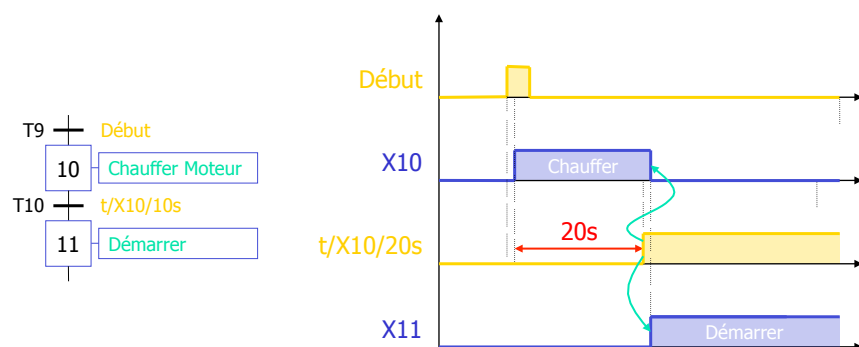
- Si l'étape est **réactivée** avant la durée de temporisation, le comptage du temps **recommence** à partir de la **nouvelle** réactivation



7

## Les Temporisations

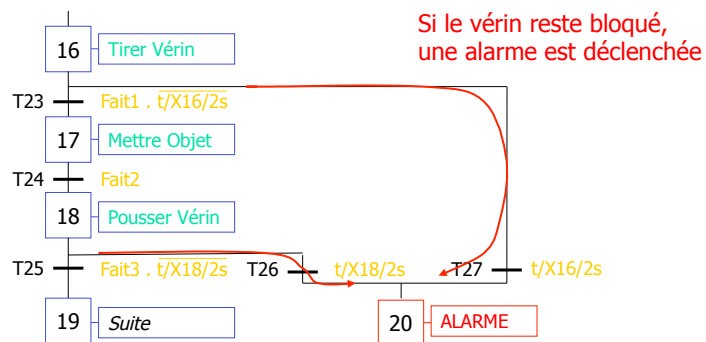
- Exemple n°1 : l'attente



8

# Les Temporisations

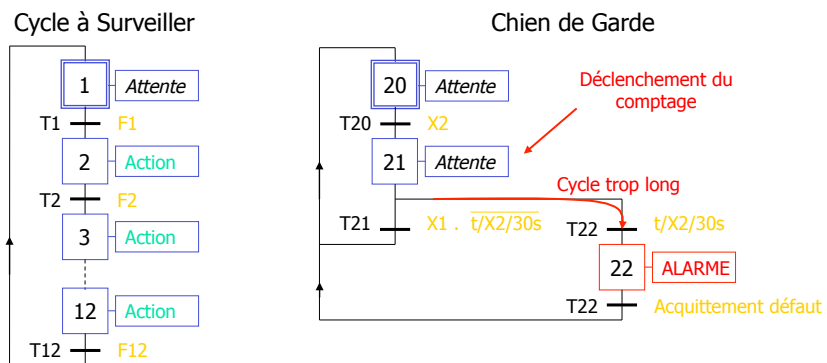
- Exemple n°2 : le chien de garde simple



9

# Les Temporisations

- Exemple n°3 : le chien de garde d'un cycle global

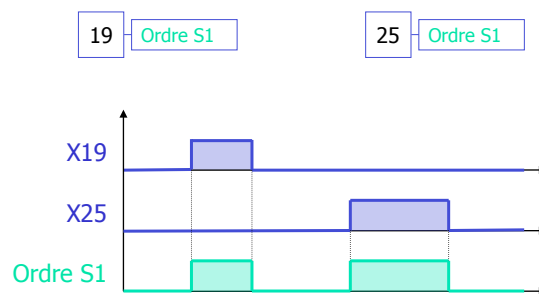


10



## Les Actions

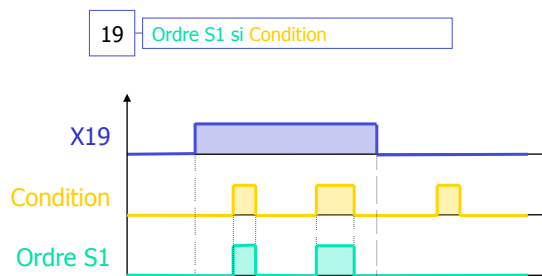
- Actions ou ordre continu
  - L'action continue est une sortie dont la valeur vaut 1 chaque fois que  $X_n$  vaut 1



11

## Les Actions

- Actions ou ordre conditionnel
  - Une action conditionnelle est une action qui contient une condition. Pour que la sortie soit à 1, il faut que l'étape soit active **ET** que la condition soit vraie

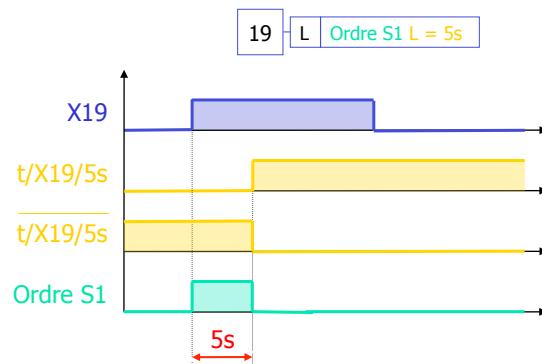


12

## Les Actions

### ■ Ordre limité

- C'est un ordre conditionnel dont la durée est limitée dans le temps par une condition

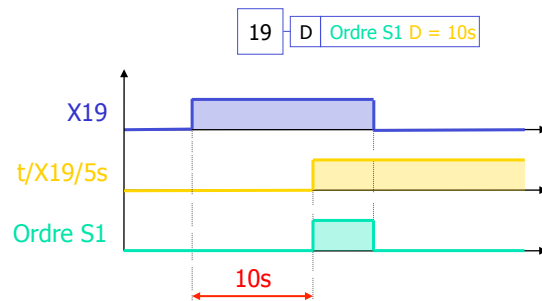


13

## Les Actions

### ■ Ordre retardé

- C'est un ordre conditionnel dont la durée est retardé dans le temps par une condition

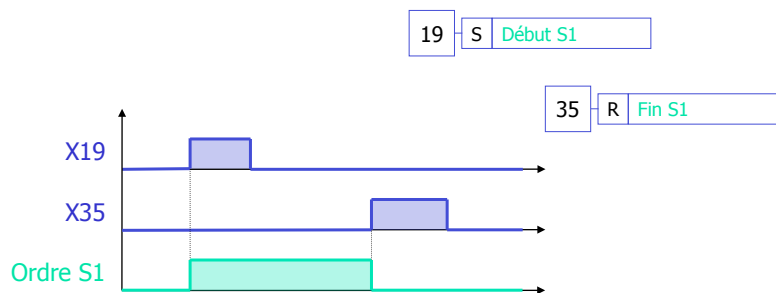


14

## Les Actions

### ■ Action ou ordre mémorisé

- Les actions mémorisées sont des sorties dont l'état est défini par deux types d'ordres : "Mise à 1" (**S**et) et "Mise à 0" (**R**eset).
- Ces actions sont faites quand l'étape à laquelle elles ont associées est active
- Entre ces deux ordres la sortie reste à la valeur acquise. Elle est mémorisée

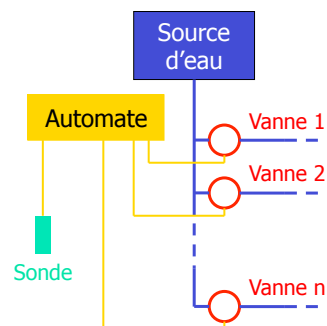


15

## Exemple n°1

### ■ On veut construire un arroseur automatique

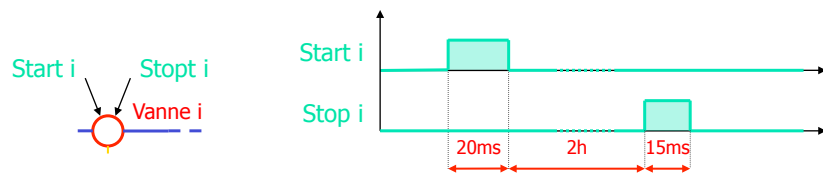
- Un capteur d'humidité le déclenche dès que le sol dépasse un certain seuil de sécheresse. Sinon, au bout de 3 jours, on arrose.
- Le réseau est constitué de n rampes, chacune étant commandée par une électrovanne.



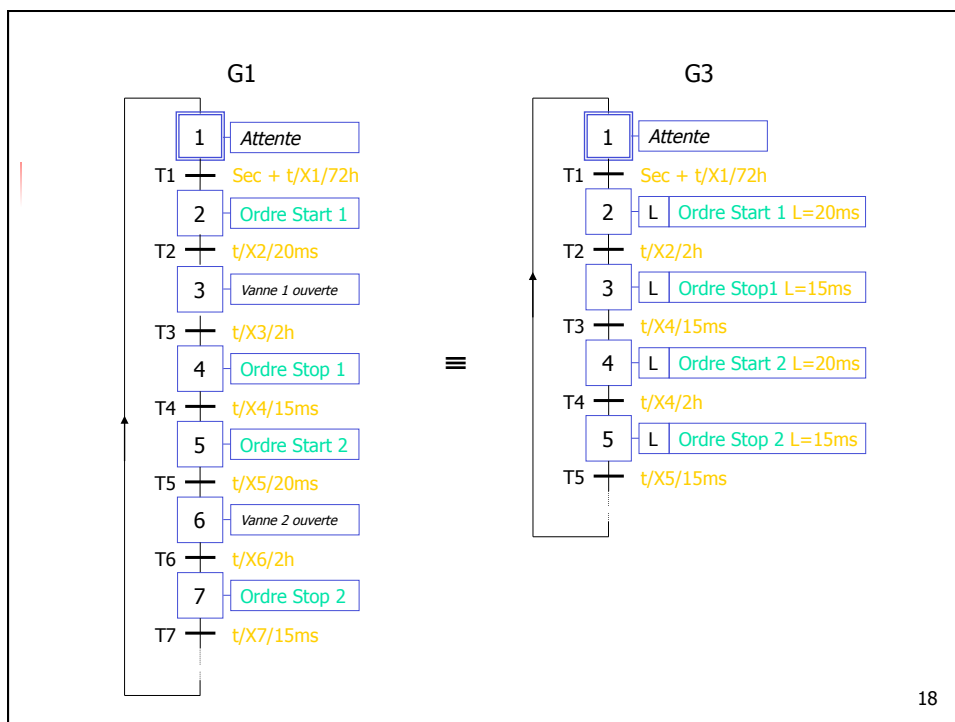
16

## Exemple n°1

- Les rampes sont déclenchées l'une après l'autre à cause de la limitation du débit d'eau. Sur chaque rampe l'arrosage doit durer 2 heures.
- Chaque électrovanne a deux signaux de commande
  - "Start" est une impulsion d'ouverture. Elle doit durer 20 ms.
  - "Stop" est l'impulsion de fermeture. Elle doit durer 15 ms



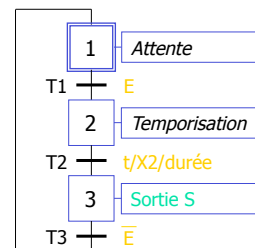
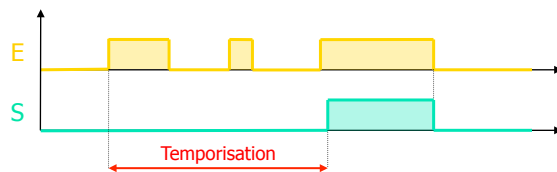
17




18

## Exemple n°2

- On veut construire une temporisation T1 dépendant d'un signal d'entrée E
  - Un signal de sortie S passe de 0 à 1 après le premier front montant de E
  - Le comptage n'est pas réinitialisée si on réactive le signal d'entrée
  - S revient à 0 quand E repasse de 1 à 0




19



# LE GRAFCET

---

Chapitre 5  
*Implantations*



## Plan

---

- Introduction
- Algorithme d'évolution
- Implantation informatique
- Équations équivalents du Grafcet

2

# Introduction

```

    graph TD
      F1((F1  
Règles  
d'évolutions)) <--> F2((F2  
Algorithme  
d'évolution))
      F1 --> F3((F3  
Équations  
Booléennes  
équivalentes))
      F2 --> F3
  
```

- F1 était un modèle "comportemental"
- F2 et F3 vont permettre d'implanter le Grafcet sur toute machine de traitement de l'information

3

# Algorithme d'évolution

```

    graph TD
      subgraph Initialisation
        I1[Lecture des entrées] --> I2[Initialisation des étapes]
        I2 --> I3[Mise à jour des sorties]
      end
      subgraph Itérations
        I4[Lecture des entrées] --> I5[Détermination des transitions franchissables  
Calcul de la situation suivante]
        I5 --> I6[Mise à jour des sorties]
        I6 --> I4
      end
  
```

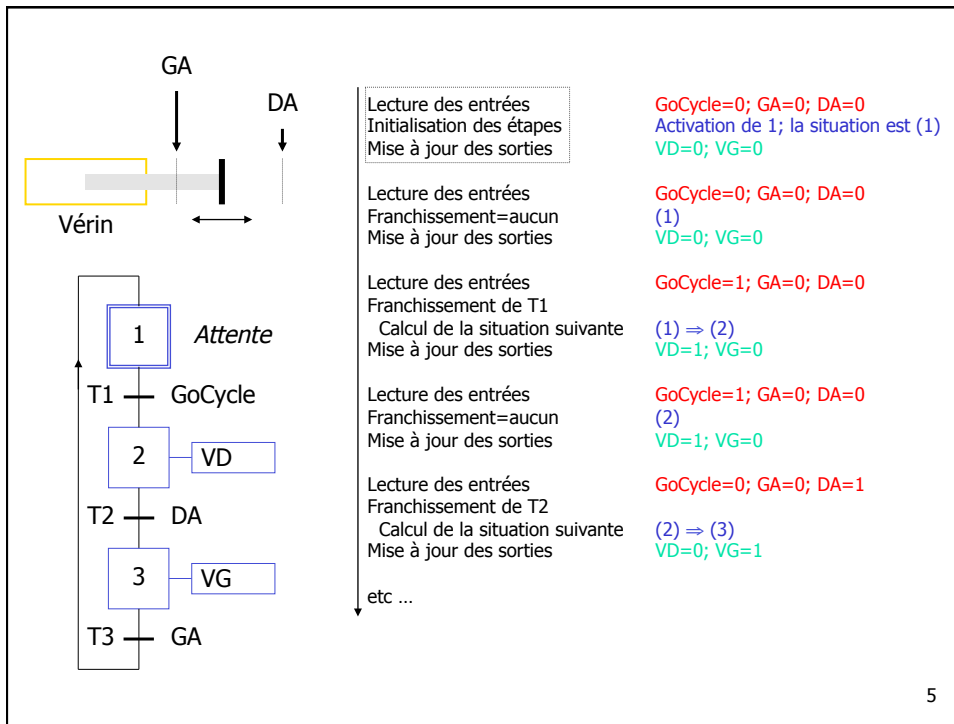
GRAFCET  
de  
Commande

Sorties ↓

↑ Entrées

Partie  
Opérative

4



## Implantation informatique

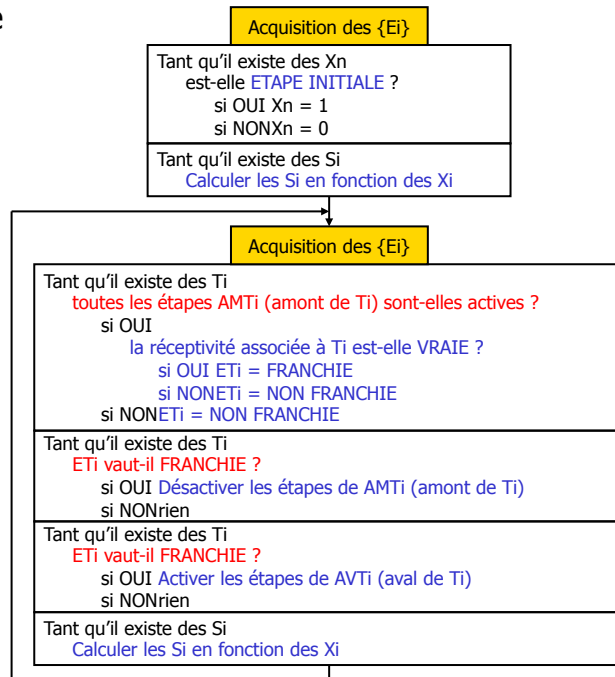
- Les données

Objets	Paramètre	Paramètre	Paramètre	Paramètre	Paramètre
Entrées	Nom	Valeur	N° connexion	1 = vert 0 = rouge	
Sorties	Nom	Valeur	N° connexion	1 = vert 0 = rouge	
Étape	Nom	État	Initiale ?	Liste transitions amonts	Liste transitions avals
Transition	Nom	Franchissable ?	Nom réceptivité	Liste étapes amonts	Liste étapes avals
Réceptivité	Nom	Valeur	Fonction		

6



■ L'algorithme



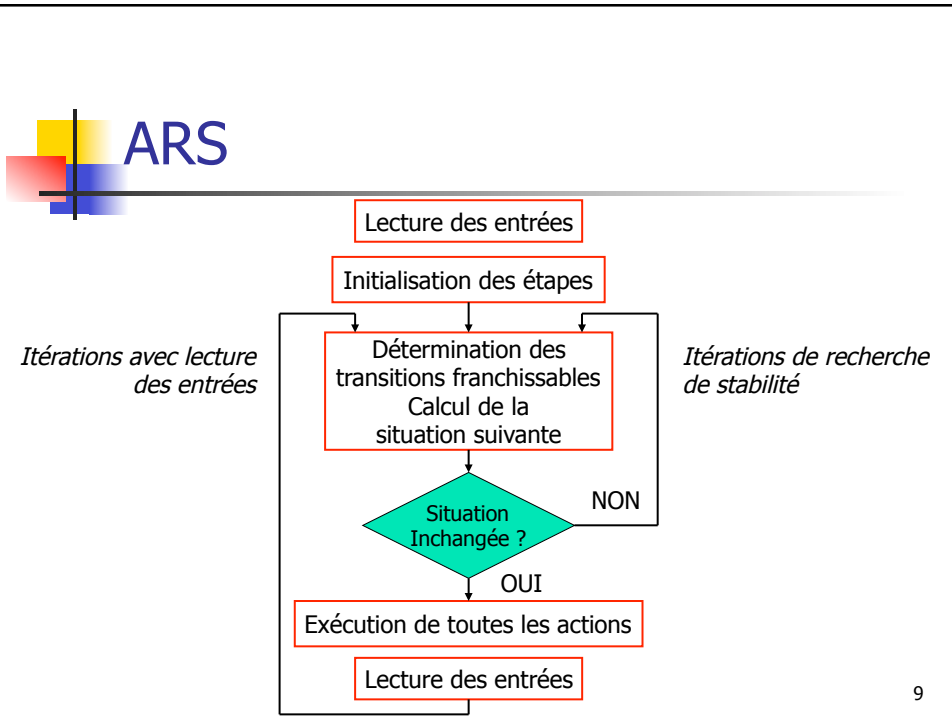
7



## Variantes de l'algorithme

- Algorithme sans recherche de stabilité (SRS)
  - C'est celui que nous venons de voir
  
- Algorithme avec recherche de stabilité (ARS)
  - Dans cet algorithme, on ne relit les entrées au début du cycle que quand le Grafcet a atteint un état stable, c'est à dire quand la situation est inchangée d'un cycle à l'autre. Tant que ce n'est pas le cas, les entrées ne sont pas lues, et les situations évoluent parce que de nouvelles étapes actives rendent de nouvelles transitions franchissables.

8



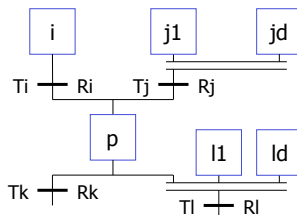
## Équations équivalentes

- Principe
  - On considère une étape  $X_p$  et son environnement
  - $X_p$  vaut 1
    - si elle est **activée** par l'amont
    - ou si elle valait déjà 1 et n'est pas **désactivée** par l'aval

$$X_p(t_{n+1}) = \text{Init}(X_p) + \text{ConditionActivation} + X_p(t_n) \cdot \text{ConditionDésactivation}$$

*Init(Xp) vaut 1 à l'instant t0 si Xp est une étape initiale*

# Équations équivalentes



Les termes d'activation de  $X_p$

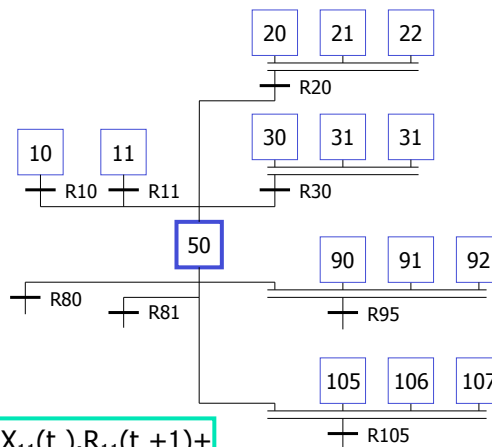
$$X_p(t_{n+1}) = \sum_i \{ \sum_j (X_i \cdot R_i) + \sum_j [\prod_{ju} (X_{j1} \dots X_{jd} \cdot R_j)] \} + \text{Init}(X_p)$$

Les termes de désactivation de  $X_p$

$$+ X_p(t_n) \cdot \sum_k \{ \sum_l (R_k) + \sum_l [\prod_{ld} (X_{l1} \dots X_{ld} \cdot R_l)] \}$$

11

## Exemple 1

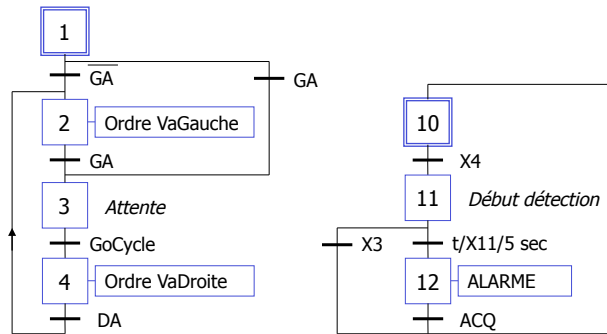


$$X_{50}(t_{n+1}) = \{ X_{10}(t_n) \cdot R_{10}(t_n+1) + X_{11}(t_n) \cdot R_{11}(t_n+1) + X_{20}(t_n) \cdot X_{21}(t_n) \cdot X_{22}(t_n) \cdot R_{20}(t_n+1) + X_{30}(t_n) \cdot X_{31}(t_n) \cdot X_{32}(t_n) \cdot R_{30}(t_n+1) \}$$

$$+ X_{50}(t_n) \cdot \{ R_{80}(t_n+1) + R_{81}(t_n+1) + X_{90}(t_n) \cdot X_{91}(t_n) \cdot X_{92}(t_n) \cdot R_{95}(t_n+1) + X_{105}(t_n) \cdot X_{106}(t_n) \cdot X_{107}(t_n) \cdot R_{105}(t_n+1) \}$$

12

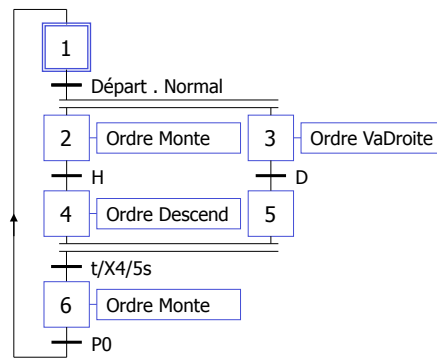
■ Exemple 2



$$\begin{aligned}
 X_1(t_n+1) &= \text{Init}(X_1) + X_1(t_n) \cdot / [GA(t_n+1) + GA(t_n+1)] \\
 X_2(t_n+1) &= [X_1(t_n) \cdot /GA(t_n+1) + X_4(t_n) \cdot DA(t_n+1)] + X_2(t_n) \cdot /GA(t_n+1) \\
 X_3(t_n+1) &= [X_2(t_n) \cdot GA(t_n+1) + X_1(t_n) \cdot GA(t_n+1)] + X_3(t_n) \cdot /GoCycle(t_n+1) \\
 X_4(t_n+1) &= X_3(t_n) \cdot GoCycle(t_n+1) + X_4(t_n) \cdot /DA(t_n+1) \\
 X_{10}(t_n+1) &= \text{Init}(X_{10}) + [X_3(t_n) \cdot X_{11}(t_n) + X_{12}(t_n) \cdot ACQ(t_n+1)] + X_{10}(t_n) \cdot /X_4(t_n) \\
 X_{11}(t_n+1) &= X_{10}(t_n) \cdot X_4(t_n) + X_{11}(t_n) \cdot / [X_3(t_n) + t/X_{11}/5\text{sec}] \\
 X_{12}(t_n+1) &= X_{11}(t_n) \cdot t/X_{11}/5\text{sec} + X_{12}(t_n) \cdot /ACQ(t_n+1)
 \end{aligned}$$

VaGauche =  $X_2(t_n+1)$       VaDroite =  $X_4(t_n+1)$       ALARME =  $X_{12}(t_n+1)$       13

■ Exemple 3



$$\begin{aligned}
 X_1(t_n+1) &= \text{Init}(X_1) + X_6(t_n) \cdot P0(t_n+1) + X_1(t_n) \cdot / [Départ(t_n+1) \cdot Normal(t_n+1)] \\
 X_2(t_n+1) &= X_1(t_n) \cdot Départ(t_n+1) \cdot Normal(t_n+1) + X_2(t_n) \cdot /H(t_n+1) \\
 X_3(t_n+1) &= X_1(t_n) \cdot Départ(t_n+1) \cdot Normal(t_n+1) + X_3(t_n) \cdot /D(t_n+1) \\
 X_4(t_n+1) &= X_2(t_n) \cdot H(t_n+1) + X_4(t_n) \cdot / [t/X_4/5s \cdot X_5(t_n+1)] \\
 X_5(t_n+1) &= X_3(t_n) \cdot D(t_n+1) + X_5(t_n) \cdot / [t/X_4/5s \cdot X_4(t_n+1)] \\
 X_6(t_n+1) &= X_4(t_n) \cdot X_5(t_n) \cdot t/X_4/5s + X_6(t_n) \cdot /P0(t_n+1)
 \end{aligned}$$

Monte =  $X_2(t_n+1) + X_6(t_n+1)$       VaDroite =  $X_3(t_n+1)$       Descend =  $X_4(t_n+1)$       14