

Logique Séquentielle – SAP et Grafcet

Description de la commande séquentielle des SAP

🎯 Objectifs du cours

- Comprendre les **Systèmes Automatisés de Production** (SAP)
- Maîtriser l'outil **GRAFCET** pour la modélisation
- Savoir implémenter sur **Automates Programmables** (API)
- Appréhender la gestion des **modes de fonctionnement** (GEMMA)

Programme du Cours

📚 Contenu Théorique

- Comprendre les systèmes automatisés de production (SAP)
- Maîtriser l'outil GRAFCET pour modéliser la commande
- Savoir implémenter sur automates programmables (API)
- Appréhender la gestion des modes de fonctionnement (GEMMA)

🛠️ Applications Pratiques

- **Feux de circulation**: logique séquentielle simple
- **Ascenseurs**: gestion multi-étages avec priorités
- **Système de tri**: séquences conditionnelles
- **Ligne d'assemblage** : coordination de multiples postes
- **Train**: coordination de multiples postes

Exemples que vous connaissez déjà

Dans votre quotidien

- Feux de circulation 🚦
  - Logique séquentielle simple
  - Temporisations programmées
  - Gestion des priorités
- Ascenseurs
  - Multi-étages avec priorités
  - Sécurités intégrées
  - Optimisation des trajets
- Distributeurs automatiques ☕
  - Séquences conditionnelles
  - Gestion stock et monnaie
  - Interface utilisateur

🛠️ Dans l'industrie

- Chaînes automobile
  - Coordination multi-postes
  - Contrôle qualité intégré
  - Traçabilité complète
- Centres logistiques
  - Tri automatisé (Amazon, DHL)
  - Optimisation des flux
  - Robotique avancée
- Usines agro-alimentaires
  - Conditionnement haute cadence
  - Normes d'hygiène strictes
  - Maintenance prédictive

Pourquoi l'Automatisation ?

Un enjeux du 21ème siècle : Chiffres clés

- **+15%** de productivité moyenne avec l'automatisation
- **-40%** d'erreurs humaines dans les processus automatisés
- **24h/24** fonctionnement possible sans interruption

Applications dans votre futur métier d'ingénieur

- **Industrie 4.0** : Usines connectées et intelligentes
- **Logistique** : Centres de tri intelligents (Amazon, DHL)
- **Agroalimentaire** : Chaînes de conditionnement
- **Énergie** : Gestion automatisée des réseaux électriques

L'automatisation = Compétitivité + Sécurité + Qualité

Les défis de l'automatisation moderne

⚡ Challenges techniques

- **Flexibilité**: S'adapter rapidement aux nouveaux produits
- **Sécurité**: Garantir la protection des opérateurs
- **Efficacité énergétique**: Optimiser la consommation
- **Maintenance prédictive**: Anticiper les pannes

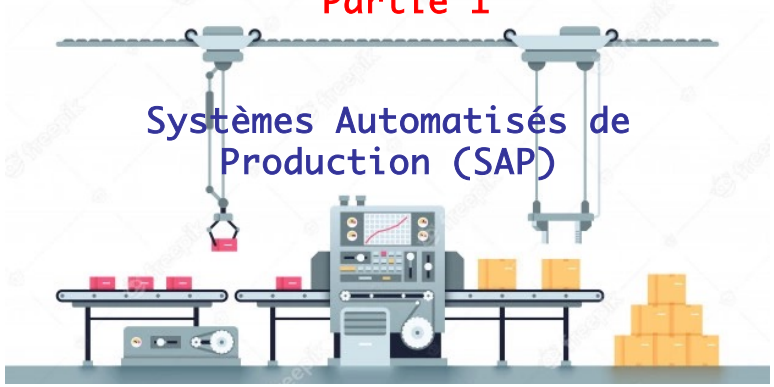
🔧 Vos outils d'ingénieur

- **GRAFCET**: Votre "langage" de modélisation
- **API**: Vos "cerveaux" de commande
- **GEMMA**: Votre méthode de gestion des modes

L'automatisation = Compétitivité + Sécurité + Qualité

Partie 1

Systèmes Automatisés de Production (SAP)



Définition d'un Système de Production

Définition

- Toute transformation d'un ensemble de **matières premières** ou composants semi-finis en **produits finis**

🎯 Objectifs

- Répondre aux **besoins client**
- Satisfaire diverses **contraintes** :
  - Délai, coût, compétitivité
  - Service après-vente, évolutivité
  - Présentation, communication

Définition d'un Système de Production

Système de Fabrication (Partie Opérative)

- **Ressources principales** : Machines, stocks, opérateurs
- **Moyens de transfert** : Convoyeurs, robots
- **Outils et supports** : Palettes, outillages

Système de Pilotage (Partie Commande)

- **Captage** : Récupération d'informations
- **Décision** : Analyse et traitement
- **Action** : Ordres vers la fabrication

Définition d'un Système de Production

Application : La machine Nespresso

Partie Opérative (PO)

Les éléments qui transforment physiquement :

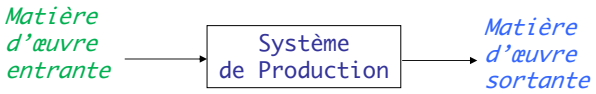
- **Mécanisme de perçage** de la capsule
- **Pompe** à eau haute pression
- **Résistance chauffante** (thermocoil)
- **Buse** de sortie du café

Partie Commande (PC)

Le "cerveau" qui pilote la PO :

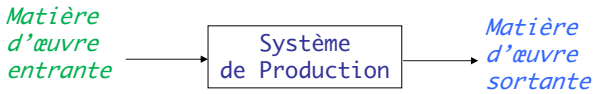
- **Carte électronique** (microcontrôleur)
- **Programme interne** (séquence, temporisations)
- **Boutons** de sélection (capteurs/entrées)
- **LEDs** d'état (actionneurs/sorties)

Description d'un SP (1)



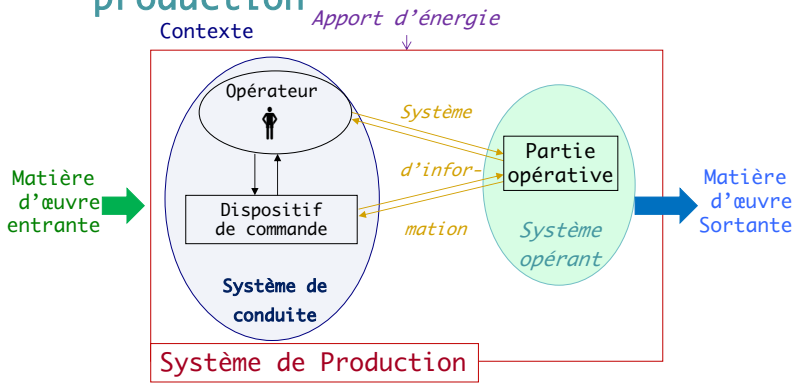
- **Les matières d'œuvre entrantes**
  - Produit :
    - Chimique (pétrole éthylène)
    - Textile (fibres, tissus, vêtements)
    - Électronique (transistor, puces, µp)
    - Technique (moteur, ...)
    - Alimentaire (petits pois, eau)
  - Énergie
    - Électrique, Thermique, Hydraulique
  - Opérateurs humains
    - Individu ou collectif
  - Information :
    - Ecrite, physique, audiovisuelle

Description d'un SP (2)



- **Matière d'œuvre sortante = Matière d'œuvre + Valeur Ajoutée (VA)**
- **VA = Objectif pour lequel le système est défini, conçu, réalisé**
  - Modification physique du produit
    - Traitements mécaniques : usinage, formage, broyage, impression
    - Traitements thermiques : cuisson, congélation, …
    - Traitement superficiels : peinture, traitement surface, teinture
  - Arrangement particulier sans modification des matières d'œuvre
    - Montage, emballage, assemblage, couture, collage
  - Transfert ou mise en position particulière
    - Manutention, transport, stockage, commerce, communication
    - Prélèvement d'information
    - Contrôle, mesure, examen

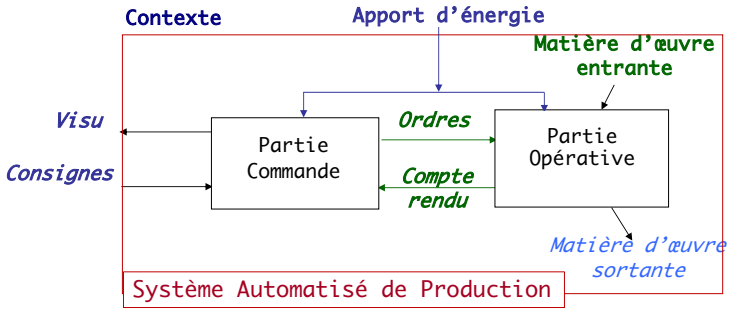
Schématisation d'un système de production



Contexte : Environnement physique, social, économique, politique, ...

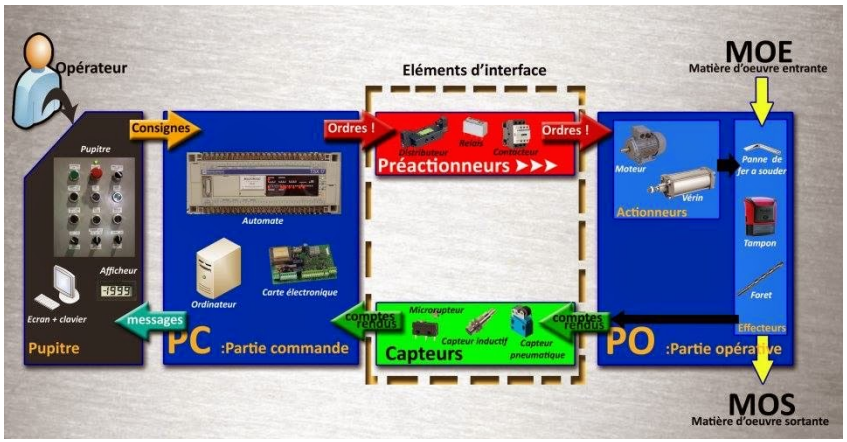
- Rôle essentiel dans le fonctionnement du système
- Influe sur la qualité et quantité de la valeur ajoutée

Description d'un SAP

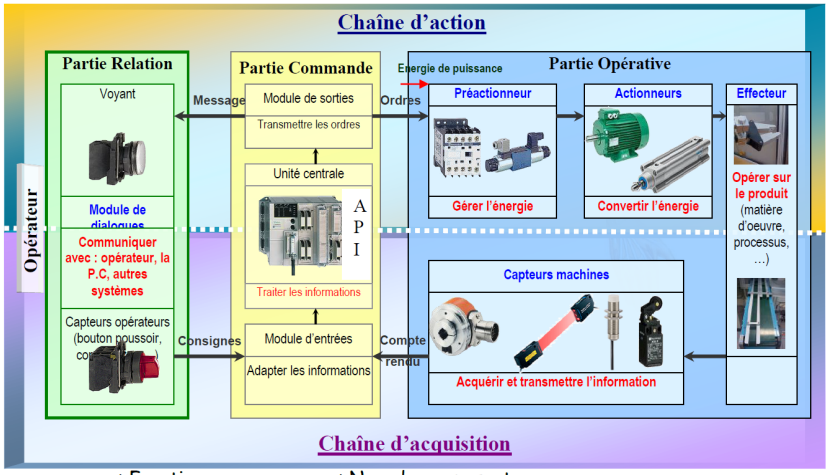


Tout SAP comporte :
une PO : Traite les matières d'œuvre pour élaborer la VA
une PC : Coordonne la succession des actions sur la PO

Structure d'un système automatisé de production



Structuration par fonction d'un système automatisé



: Fonction : Nom du composant

https://drive.google.com/file/d/0B9NctJ48ZqvSNXFObWlYcm5UQmM/view

Objectif de l'automatisation d'un SP

Bénéfices Économiques

- **Productivité**: +15 à 30% en moyenne
- **Rentabilité**: ROI < 3 ans typique
- **Flexibilité**: Adaptation rapide produits
- **Compétitivité**: Réduction coûts unitaires

Niveaux d'automatisation

- **Machine**: Poste de travail individuel
- **Atelier**: Ligne de production
- **Usine**: Site de production complet
- **Groupe**: Ensemble d'usines connectées

Sécurité et Qualité

- **Répétabilité**: Même qualité à chaque cycle
- **Environnements hostiles** : Nucléaire, spatial
- **Tâches pénibles**: Réduction des TMS
- **Sécurité**: -60% accidents industriels

Secteurs Concernés

- **Répétabilité**: Même qualité à chaque cycle
- **Environnements hostiles** : Nucléaire, spatial
- **Tâches pénibles**: Réduction des TMS
- **Sécurité**: -60% accidents industriels

🧠 À vous de jouer !

Exercice : Décomposer un système

Choisissez un des systèmes automatisés suivants que vous utilisez tous les jours :

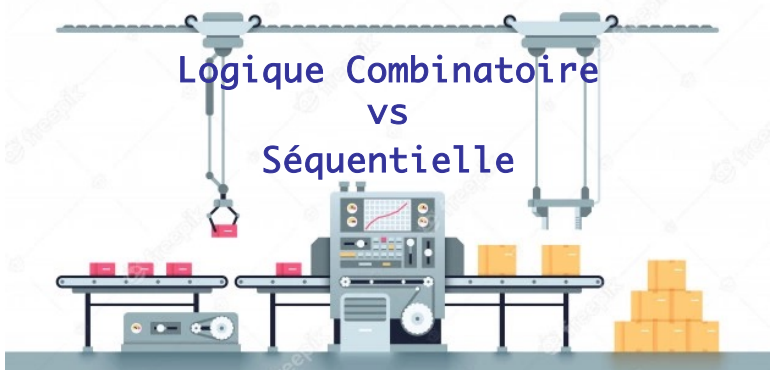
- Un four à micro-ondes
- Un lave-linge
- Une barrière de parking automatique

Pour le système choisi, identifiez :

1. **La finalité** (Quelle est sa fonction principale ?)
2. **La matière d'œuvre** (Qu'est-ce qu'il transforme ?)
3. **La valeur ajoutée** (Quel est le "service" rendu ?)
4. **La Partie Opérative (PO)** (Listez 3 actionneurs)
5. **La Partie Commande (PC)** (Quel est le "cerveau" ?)
6. **Les Entrées/Capteurs** (Listez 3 informations qu'il reçoit)
7. **Les Sorties/Actionneurs** (Listez 3 actions qu'il réalise)

L'automatisation = Compétitivité + Sécurité + Qualité

Partie 2



Algèbre de Boole - Rappels

- Variable booléenne: $a = 0$ **ou** $a = 1$
  - a = 0 : FAUX (capteur inactif)
  - a = 1 : VRAI (capteur actif)
- Opération de Base
  - Complément de a : $a' = \bar{a}$ (Non a)
  - $a = 0$ alors $a' = 1$
  - La somme (fonction OU) de a et b : $a + b$
  - Le produit (fonction ET) de a et b : $a.b$
- Quelques propriétés:
  - $a + 0 = a$, $a + 1 = 1$
  - $a + a' = 1$, $a + a = a$
  - $a(b + c) = a.b + a.c$
  - $(a + b)' = a'.b'$
  - $a.1 = a$, $a.0 = 0$
  - $a.a' = 0$, $a.a = a$
  - $a + bc = (a + b)(a + c)$
  - $(a.b)' = a' + b'$

Algèbre de Boole - Rappels

Exemple Pratique : Démarrage Voiture

- Condition pour démarrer :
  - Clé de contact = A
  - Frein appuyé = 1
  - Vitesse = 0 (point mort)
- Expression logique :

Démarrage = Clé . Frein . /(Vitesse)

À Vous de jouer !

- Un distributeur de café sert une boisson **SI** il y a de l'eau **ET** (soit la monnaie est insérée, soit une carte de paiement est validée)

Réponse :Service = Eau . (Monnaie + Carte)

Logique Combinatoire vs Séquentielle

Logique Combinatoire

- *Sortie = f(Entrées actuelles)*

Exemple : Sonnette de la porte

SI (bouton_pressé = 1)

ALORS sonnerie = 1

Caractéristiques :

- Instantané : Réaction immédiate
- Sans mémoire: Pas d'historique
- Réversible: Entrée = 0 → Sortie = 0

Logique Séquentielle

- *Sortie = f(Entrées, État précédent, Historique)*

Exemple : Télécommande de portail

SI (bouton_pressé = 1) ET (portail_état = FERMÉ)
ALORS ouvrir_portail = 1

SI (bouton_pressé = 1) ET (portail_état = OUVERT)
ALORS fermer_portail = 1

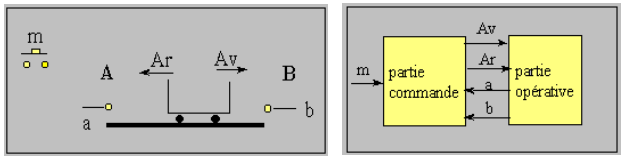
Caractéristiques :

- Temporisé : Évolution dans le temps
- Avec mémoire : États précédents
- Séquentiel : Ordre des opérations

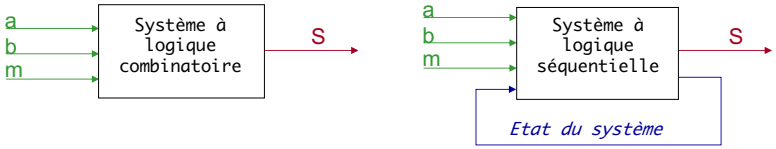
Point Clé : Les systèmes industriels sont majoritairement séquentiels ! Ils suivent des cycles, des étapes des procédures. Trouver un outil pour décrire ces séquences.

Type de la commande du système

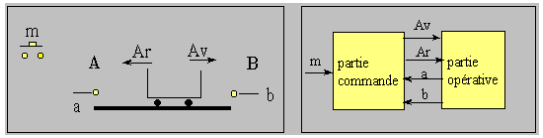
- Exemple simple :



- Commande de type combinatoire ou séquentielle ?



Commande de type combinatoire



Mode de fonctionnement recherché :

TQ m=0 FAIRE chariot à l'arrêt en A FTQ

SI m=1 ALORS déplacement Av chariot s'IL n'est pas en B FSI

SI m=0 ALORS déplacement Ar chariot s'IL n'est pas en A FSI

Commande de type combinatoire :

- Table de vérité
  - Equations des sorties : Av, Ar = f(m,a,b)
- Implémentation des équations

Outils de la logique combinatoire

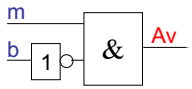
- Outils de description des fonctions logiques :
  - Information : de type logique, TOR

m	b	Av
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0

Table de vérité
Description arithmétique

$Av = m . \overline{b}$

Equation logique
Description algébrique



Logigramme
Description fonctionnelle

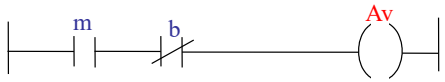
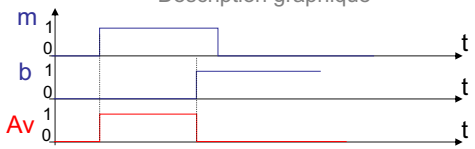
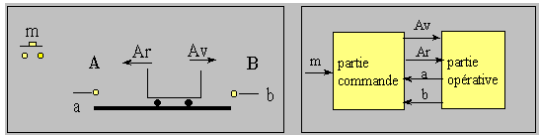


Schéma à contact
Description graphique



Chronogramme
Description temporelle

Commande de type séquentiel



Mode de fonctionnement recherché :
Au repos, chariot en A à l'arrêt
Au signal m (signal bref), déplacement Av chariot vers B puis déplacement Ar chariot vers A

Commande de type séquentiel :
- Recherche des états du système
- Description de l'évolution de l'état du système
- Equations des sorties : Av, Ar

Outils de Description

Logique combinatoire
- Table de vérité
- Équations booléennes
- Logigrammes
- Schémas à contacts

Adaptés pour :
- Circuits de Sécurité simples
- Logique de décision instantanée

Logique Séquentielle
- **GRAFCET** ⭐ (notre focus)
- Réseaux de Petri
- Graphes d'états
- Diagrammes temporels
- GEMMA (pour les modes de marche)

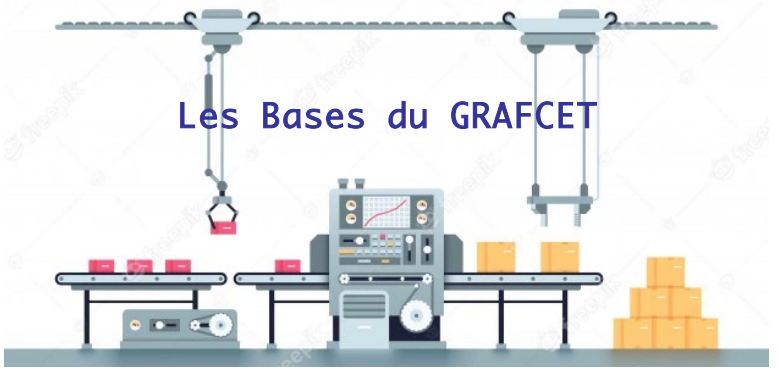
Adaptés pour :
- Cycles de machines
- Processus industriels
- Scénarios complexes

Mise en œuvre

Systèmes câblés
- Relais, contacteurs,
- Séquenceurs pneumatiques
- Cartes électroniques

Systèmes programmés :
- **Automates (API)** ⭐
- Microcontrôleurs
- Ordinateurs industriels

Partie 3



Les Bases du GRAFCET

Le GRAFCET

GRAphe Fonctionnel de Commande Étape Transition

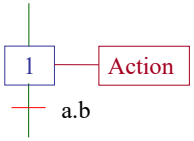
- **Basé sur le Réseau de Petri**
- **Inventé en 1977 en France par l'AFCET:**
  - Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique
- **Diffusé par l'ADEPA**
  - Agence Nationale pour le Développement de la Productique Appliquée à l'industrie
- **Normalisé successivement en :**
  - France : NF C03-190 (juin 1982, Norme française)
  - CÉI : IEC 848 (1988, Norme internationale)
  - CÉI : IEC 1131.3 (mars 1993, langages automates)
    - Internatinal Electrotechnical Commitee
  - CÉI : IEC 60848 Ed. 2 (2002, version actuelle)

Introduction au GRAFCET

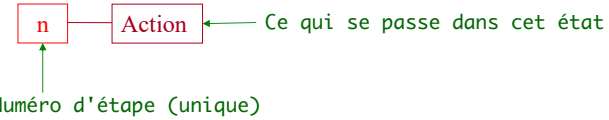
- **Définition:** Le Grafcet est un outil graphique utilisé pour **représenter** et **analyser** le fonctionnement d'un système automatisé.
- **But:** Le Grafcet permet de décrire de manière **claire** et **structurée** les séquences d'actions d'un système.
  - Systèmes « tout ou rien »
  - Algèbre de Boole

Présentation de l'outil GRAFCET

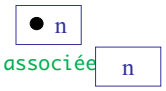
ETAPES ⟷ ACTIONS



- Rôle : Représenter un État du SAP (comportement)



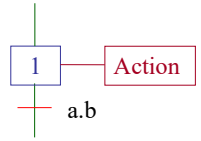
- Une étape peut être :
  - Peut être active ou inactive
  - Une action peut ou non lui être associée



- **Principe :**
  - SI étape active → Action exécutée
  - SI étape inactive → Action non exécutée

Présentation de l'outil GRAFCET

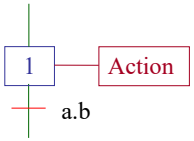
TRANSITIONS ⟷ RECEPTIVITES



- **Rôle** : Représenter les **CONDITIONS** de passage
- Barre horizontale → ——
- condition ← Réceptivité (condition logique)
- Une transition peut être :
  - **Validée** : Étapes précédentes actives
  - **Franchissable** : Validée ET réceptivité vraie
  - **Franchie** : Passage effectué
- Principe :
  - SI transition franchie → Changement d'état

Présentation de l'outil GRAFCET

LIAISONS (ou ARCS) ORIENTEES



- **Rôle** : Représenter l'**ORDRE** des opérations
- ↓ ← Arc orienté (flèche) (sens conventionnel : haut → bas)
- **Types de liaisons** :
  - Simple: Séquence linéaire
  - Divergence: Choix ou parallélisme
  - Convergence: Regroupement
- **Principe:**
  - Les flèches indiquent le SENS d'évolution du GRAFCET

Qu'est-ce qu'une ÉTAPE ?

Une **étape** correspond à une **SITUATION** dans laquelle le comportement du système est **INVARIANT** vis-à-vis des entrées et des actions.

- **Étape Normale**

  n ← Numéro unique (entier positif)

- **Étape Initiale (double carré)**

  0 — Active au démarrage du système

États d'une Étape

- **Étape ACTIVE**

  ● n — Marquage (jetons)

  Le système EST dans cet état → L'action est **EXÉCUTÉE**

États d'une Étape

- **Étape INACTIVE**

  n — Le système N'EST PAS dans cet état → L'action n'est **PAS** exécutée

- Ascenseur à l'étage 2 :
  - Étape "À l'étage 2" = ACTIVE
  - Étape "À l'étage 1" = INACTIVE
  - Étape "À l'étage 3" = INACTIVE

⚡ Règle Fondamentale

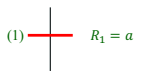
Une étape peut être soit ACTIVE, soit INACTIVE. Il n'y a pas d'état intermédiaire !

Les TRANSITIONS - Types et Structures

- **Indique la possibilité d'évolution de l'état du système**
- **Une réceptivité R (ou rt) lui est toujours associée**

Simple

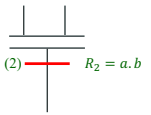
Usage : Passage séquentiel normal



← Une étape précédente
← UNE étape suivante

Jonction ET

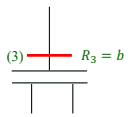
Usage : Synchronisation (attendre TOUTES les branches)



← Plusieurs étapes précédentes
← UNE étape suivante

Distribution ET

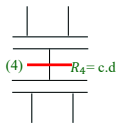
Usage : Actions parallèles (TOUTES les branches activées)



← UNE étape précédente
← Plusieurs étapes suivantes

Jonction et Distribution ET

Usage : Somme des deux précédents



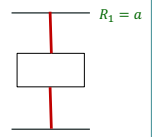
← Plusieurs étapes précédentes
← Plusieurs étapes suivantes

Les LIAISONS ORIENTÉES - Types et Structures

- **Liaison orientée (ou arc)**
  - Indique le sens d'évolution de la situation du grafcet
  - Parcours implicite : du haut vers le bas (pas de flèche)
  - Flèche utilisée si sens d'évolution non conventionnel

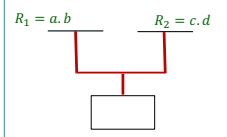
Simple

Usage : Séquence linéaire classique



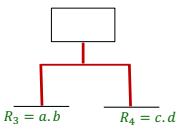
Jonction en OU

Usage : Plusieurs chemins mènent à la même étape



Distribution en OU

Usage : Choix exclusif (une seule branche)



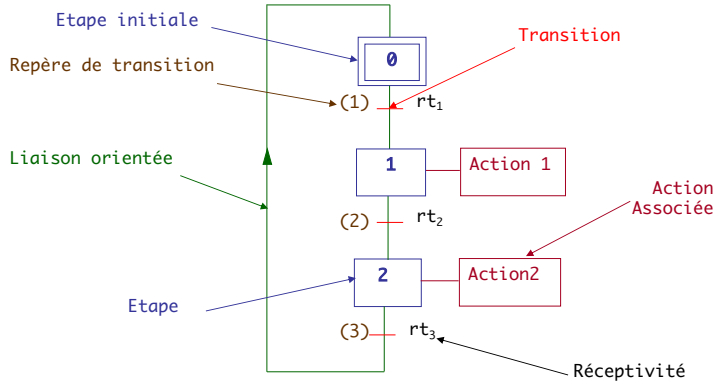
Conditions mutuellement exclusives !

- Si $a.b$ ET $c.d$ sont vrais simultanément :
  → Conflit ! Comportement indéterminé
  → Vérifier la logique des réceptivités

Exemple :

temp>80 . | Refroid. — temp≤80 | Normal ← Conditions complémentaires

Constitution de Base du GRAFCET



Situation du système : ensemble des étapes actives

RÈGLE FONDAMENTALE : ALTERNANCE OBLIGATOIRE

ÉTAPE ↔ TRANSITION ↔ ÉTAPE ↔ TRANSITION ↔ ...

Les Réceptivités Associées aux Transitions

Une **réceptivité** est une **expression logique** associée à une **transition** et dont la valeur conditionne le **franchissement** de cette transition.

Typologie des Réceptivités

Condition Simple
a ← Variable d'entrée (capteur)

Condition Composée ET
a.b ← a ET b (les deux conditions)

Condition Composée OU
a+b ← a OU b (au moins une condition)

Condition Complémentée
/a ← NON a (complément logique)

Réceptivités Spéciales

Front Montant
a↑ ← Détection passage 0 → 1

Front Descendant
a↓ ← Détection passage 1 → 0

Conditions Temporelles
a↓ ← Temporisation de 5s après activation étape 2

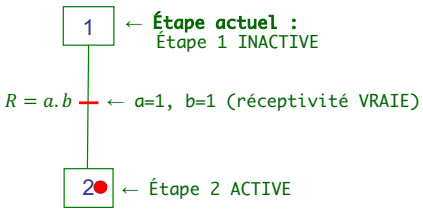
Conditions Mixtes
a↓ ← Expression booléenne complexe (a ET b) OU (c ET NON d)

Règle Importante

Les réceptivités doivent toujours être **explicites** et **sans ambiguïté**
Dans le cas d'une sélection de séquence (OU), les réceptivités doivent être **mutuellement exclusives**

Exemple Détaillé

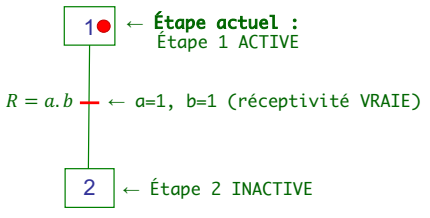
Situation 1 : Transition NON validée



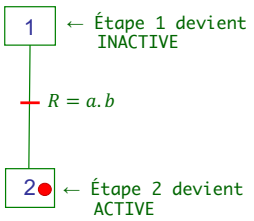
Résultat : Transition NON VALIDÉE
→ Pas de franchissement possible

Exemple Détaillé

Situation 2 : Transition franchissable

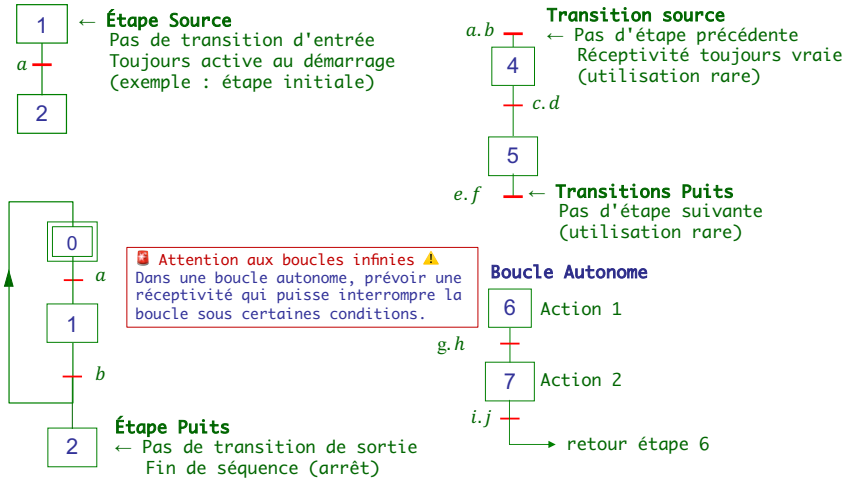


Résultat : Transition FRANCHISSABLE
→ Franchissement possible !



Résultat : Transition VALIDÉE
→ franchissement effectué

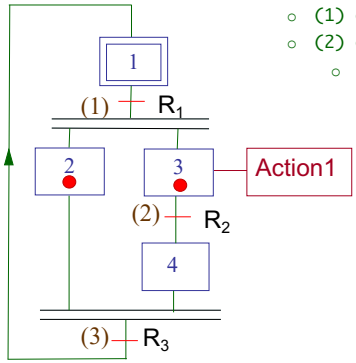
Structures particulières du Grafcet



Le Grafcet - Transition Franchissable

Une transition est franchissable ssi:

1. Toutes les **étapes qui précèdent** la transition sont ACTIVES
   On dit que la transition est validée
2. **La réceptivité** de la transition est vraie

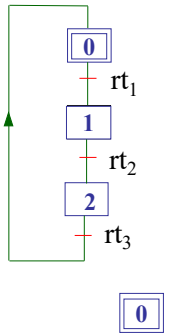


- (1) et (3) Pas Validées
- (2) est validée
  - Franchissable si est R_2 vraie

Processus de Franchissement :

1. Vérifier si transition VALIDÉE
↓
2. Vérifier si réceptivité VRAIE
↓
3. Si OUI → Transition FRANCHISSABLE
↓
4. Franchir la transition
↓
5. Mettre à jour les étapes actives

Le Grafcet – Les 5 Règles d'évolution



- Pour comprendre comment un GRAFCET fonctionne, connaître les règles suivantes:
  - Règle R1 - L'initialisation
  - Règle R2 - La validation
  - Règle R3 - Le franchissement
  - Règle R4 - Le franchissement simultané
  - Règle R5 - Cohérence interne
- Règle R1 : 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" (double carré)

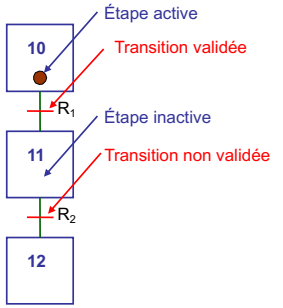
Règle R2 - La validation

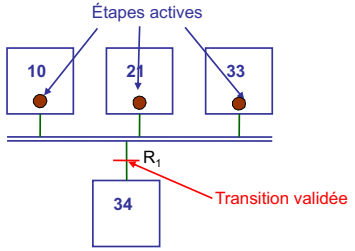
R2 : Une transition : soit validée, soit non validée

⇨Validée si toutes les étapes immédiatement précédentes sont actives

⇨ Franchissable si validée ET réceptivité associée vraie

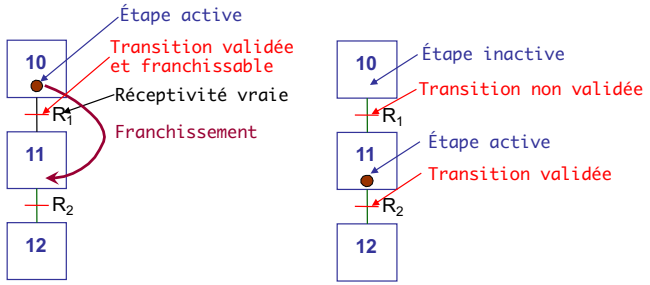
⇒ Elle est alors obligatoirement franchie





Règle R3 - Le franchissement

R3 : Le franchissement d'une transition entraîne :
- ⇨ Activation de TOUTES les étapes immédiatement suivantes
- ⇨ Désactivation de TOUTES les étapes immédiatement précédentes

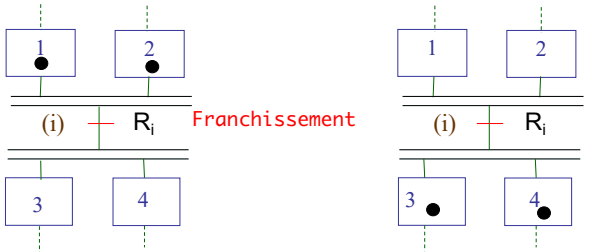


AVANT Franchissement APRÈS Franchissement

Règle R3 - Le franchissement

R3 : Le franchissement d'une transition entraîne :
- ⇨ Activation de TOUTES les étapes immédiatement suivantes
- ⇨ Désactivation de TOUTES les étapes immédiatement précédentes

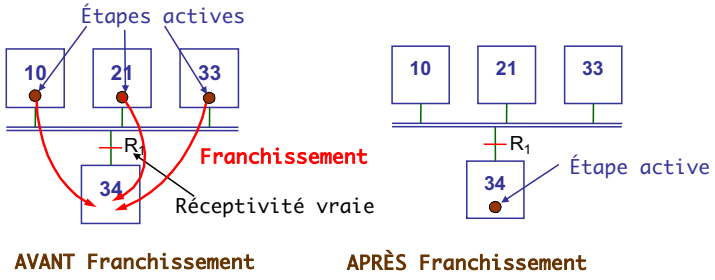
Opérations (activation et désactivation) indissociables et simultanées
Un franchissement a une durée nulle



AVANT Franchissement APRÈS Franchissement

Règle R3 - Le franchissement

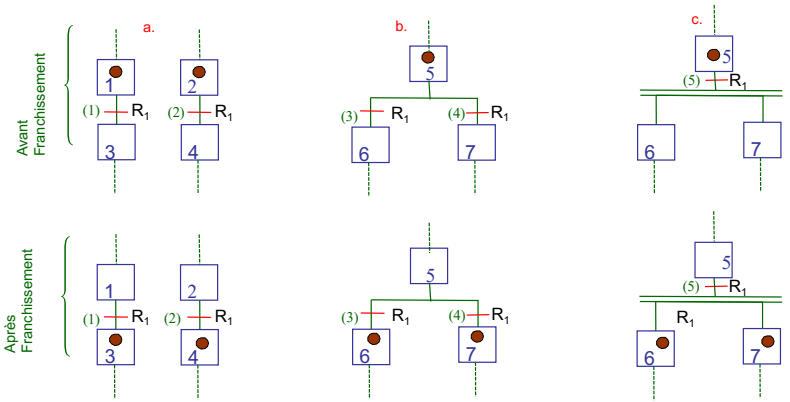
R3 : Le franchissement d'une transition entraîne :
- ⇨ Activation de TOUTES les étapes immédiatement suivantes
- ⇨ Désactivation de TOUTES les étapes immédiatement précédentes



AVANT Franchissement APRÈS Franchissement

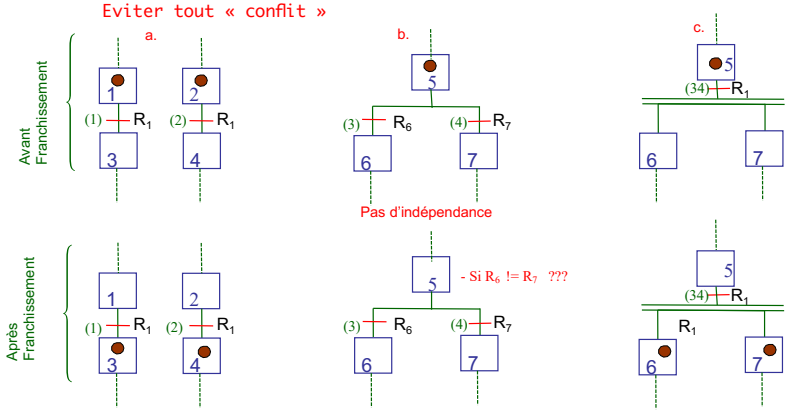
Règle R4 - Evolution du GRAFCET

R4 : Si plusieurs transitions sont simultanément franchissables, elles sont simultanément franchies.



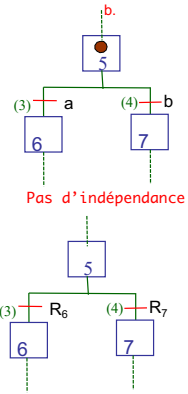
Règle R4 - Evolution du GRAFCET

R4 : Si plusieurs transitions sont simultanément franchissables, elles sont simultanément franchies.
Eviter tout « conflit »



Règle R4 - Evolution du GRAFCET

R4 : Si plusieurs transitions sont simultanément franchissables, elles sont simultanément franchies.
Eviter tout « conflit »

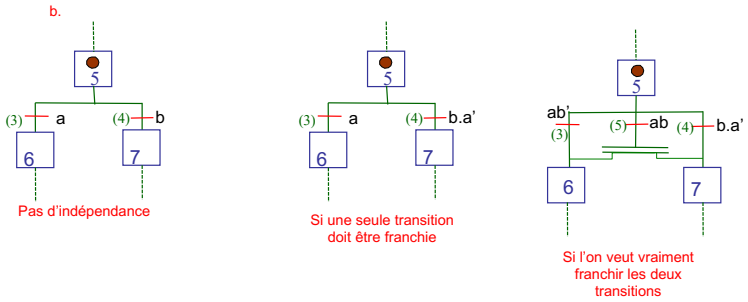


- Si R_6 != R_7 ???
  - a = 1 et b = 0
  - a = 0 et b = 1;
- Franchissable ssi:
  - a = 1 & b = 1 quand l'étape 5 est active
  - a = 0 & b = 0 quand l'étape 5 est active et que a et b prenne la valeur 1 simultanément

Règle R4 - Evolution du GRAFCET

R4 : Si plusieurs transitions sont simultanément franchissables, elles sont simultanément franchies.

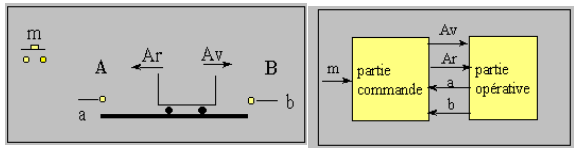
Transformation possible



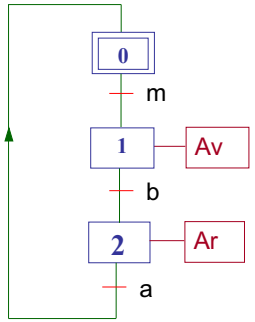
Règle R5 - Evolution du GRAFCET

R5 : Si au cours du fonctionnement, une même étape doit être est simultanément activée et désactivée, elle reste active

Le Grafcet : Exemple d'application

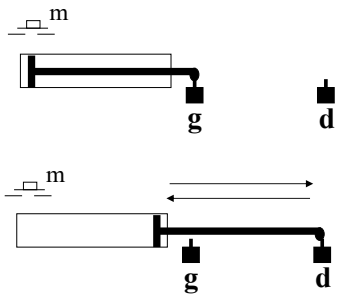


Mode de fonctionnement recherché :
Au repos, chariot en A à l'arrêt
Au signal m (signal bref),
- déplacement Av du chariot vers B
puis
- déplacement Ar du chariot vers A



Niveaux de description - Exemple (1)

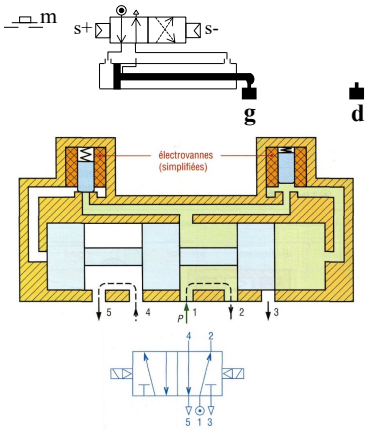
- **Aller-Retour d'une tige de vérin**
  - Sur réception d'une impulsion de commande, cycle aller-retour sur positions extrêmes du vérin S
  - Position initiale du vérin : Grafcet Fonctionnel
    Tige rentrée



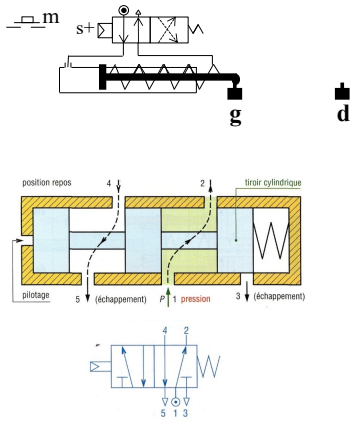
Les niveaux de description - Exemple (2)

- **Grafcet Technologique - 2 cas**

Vérin double effet



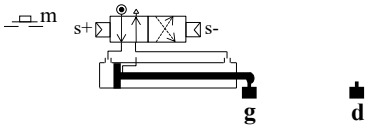
Vérin simple effet



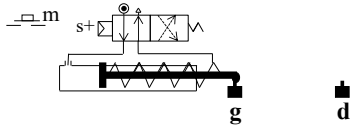
Les niveaux de description - Exemple (2)

- **Grafcet Technologique - 2 cas**

Vérin double effet

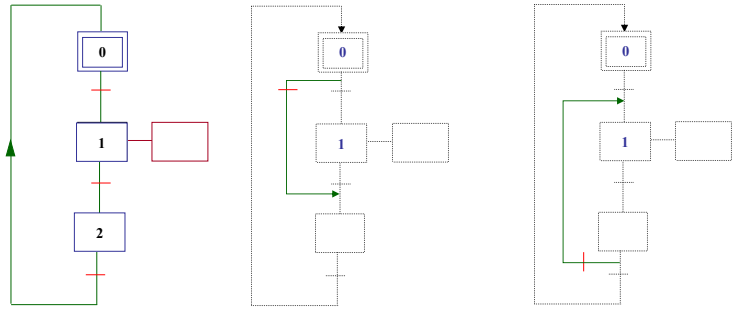


Vérin simple effet



Structure courante du Grafcet: la séquence

Séquence unique | Saut d'étapes | Reprise de Séquences

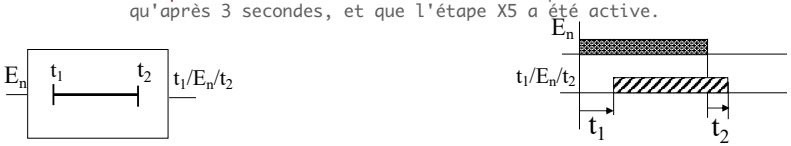


Les réceptivités associées aux transitions

- **Condition logique associé à une transition**
  - **Type de conditions :**
    - Etats ou changements d'état (fronts)
      - Capteurs - Dcy.auto.a_0, $\uparrow a_1$
        Les symboles comme ↑ et ↓ désignent respectivement le front montant et descendant, c'est-à-dire l'activation ou la désactivation du capteur.
      - Etapes - X105.X107
        étapes spécifiques du processus (X105.X107)
      - Variables - M1 + ↓M5
        variables internes au processus (M1 ou ↓M5) peuvent également servir de conditions pour franchir une transition.

Les réceptivités associées aux transitions

- **Condition logique associé à une transition**
  - **Type de conditions :**
    - Variables numériques
      - [C1=5], [R1≠14]
        Des conditions numériques comme C1=5 ou R1≠14 peuvent être utilisées pour comparer des valeurs et déclencher une transition si la condition est remplie.
    - Temporisations
      - Opérateur à retard : $t_1/E_n/t_2$
        L'opérateur de temporisation est noté t1/En/t2 avec une durée d'attente
      - Exemple : 3s / X5 => la transition ne se produira qu'après 3 secondes, et que l'étape X5 a été active.



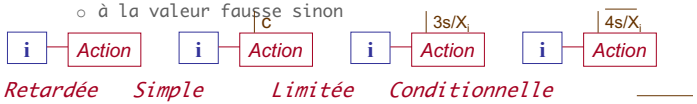
Les réceptivités associées aux transitions

- **Condition logique associé à une transition**
  - **Type de conditions :**
- **Exemple de réceptivité :**
  - **Condition :** "Capteur A ET (Compteur > 10 OU Temporisation_1)".
  - Cette transition ne se déclenchera que si :
  - Le capteur A est activé.
  - ET si soit le compteur a dépassé la **valeur 10**, soit la **temporisation_1 s'est écoulée**.

Représentation des actions depuis 2002

Actions continues ou mémorisées ?

- Action continue
  tant que la condition ou l'étape du système est vraie (ou active), l'action est exécutée
  - Assignation de la variable de sortie sur état du système :
    - à la valeur vraie si étape active et condition d'assignation vérifiée
    - à la valeur fausse sinon

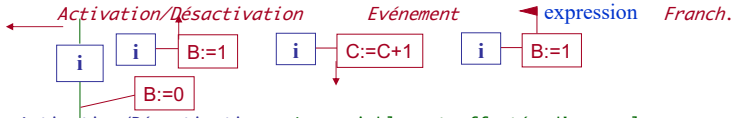


- **Action Simple** : L'action est activée si l'étape est active, et désactivée si l'étape devient inactive.
- **Action Conditionnelle** : L'action est exécutée si une condition logique supplémentaire est vraie (indiquée par un "c").
- **Action Retardée** : L'action est déclenchée après un certain délai (par exemple, 3 secondes après que l'étape est active, indiqué par 3s/X_i).
- **Action Limitée dans le temps** : Cette action est limitée dans le temps et s'arrête après une certaine durée (indiqué par 4s/X_i).

Représentation des actions depuis 2002

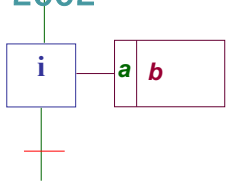
- **Action mémorisée**
  - Affectation d'une valeur à la variable de sortie sur :

Cette affectation persiste jusqu'à ce qu'une autre condition ou événement modifie cette valeur



- Activation/Désactivation : La variable est affectée d'une valeur (B:=1) quand une étape est activée, et peut être désactivée (B:=0) lorsqu'une autre condition est remplie.
- Événement : L'affectation d'une valeur peut également se produire lorsqu'un événement spécifique ou une transition est franchie.
- Expression : Il peut y avoir des expressions plus complexes associées aux actions mémorisées, telles que l'incrémentation d'une variable (C:=C+1).
- Exemple simple d'action mémorisée : L'action B:=1 est déclenchée lorsque l'étape est active et restera active jusqu'à ce qu'une autre action désactive B, par exemple après franchissement d'une transition où B:=0.

Représentation des actions depuis 2002



Section a : type d'action
Section b : déclaration littérale ou symbolique de l'action

Types d'action :

C : Action Conditionnelle
D : Action Retardée (Delay)
L : Action Limitée dans le temps
P : Action impulsionnelle (Pulse)
S : Début d'action mémorisée (Set)
R : Fin d'action mémorisée (Reset)

Exemple 1 d'application

Un système de perçage industriel d'une pièce est composé d'une partie fixe et de deux parties mobiles. Pour des raisons évidentes de gain de temps, les perçages se font simultanément sur deux côtés de la pièce comme indiqué sur la figure 1. La position repos des perceuses est la position « retrait en arrière » et les perçages sont effectués après action sur un bouton poussoir Départ Cycle.

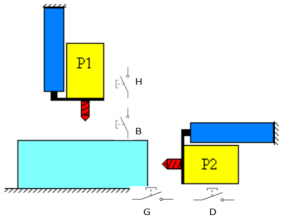


Figure 1

1. Donner le Grafcet du perçage de la partie haute
2. En déduire le Grafcet de l'ensemble système de perçage

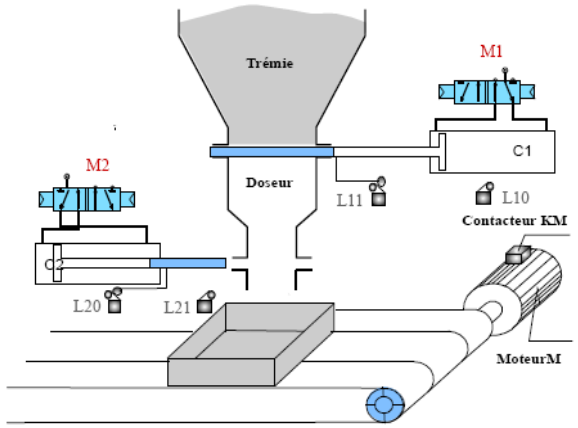
V_1 : vérin associé à la perceuse 1

V_2 : vérin associé à la perceuse 2

Par convention :

- V_i^+ : sortie de tige du vérin (double effet)
- V_i^- : rentrée de tige du vérin (double effet)

Exemple 2 d'application



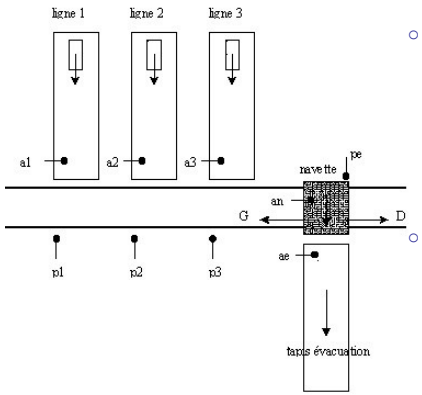
Gestion des priorités

- Concept clé utilisé pour décider de l'**ordre**
  - Activation des actions
  - Progression du processus lorsque plusieurs événements peuvent se produire simultanément ou en parallèle.
- Objectif :
  - Éviter des conflits ou des ambiguïtés.
  - Définir quelle transition ou action doit être effectuée en premier en fonction d'un critère prédéfini, et non de manière aléatoire ou simultanée.

Gestion des priorités

- Concept clé utilisé pour décider de l'**ordre**
  - Activation des actions
  - Progression du processus lorsque plusieurs événements peuvent se produire simultanément ou en parallèle.
- Transitions à franchir au même moment.
- Actions parallèles en attente d'exécution.

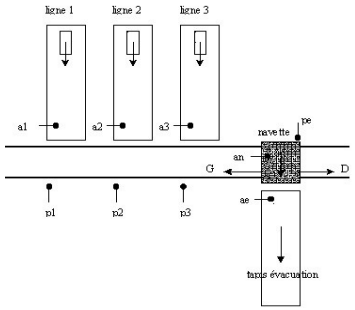
Gestion des priorités



- Problème à résoudre :
  - Définir une priorité d'utilisation de la navette en cas de conflit :
    - Exemple : Servir en priorité la ligne la plus éloignée du tapis d'évacuation
- Solution :
  - Insérer la priorité dans les réceptivités associées aux transitions
  - Ajouter éventuellement un grafcet de gestion des priorités

Solution avec priorité tournante

- Problème à résoudre :
  - Organiser une priorité tournante en cas de conflit



Notion d'arbitrage : Partage de ressources

- Notion d'arbitrage
  - En automatisation et dans la gestion de systèmes industriels, une ressource comme une navette, un bras robotisé ou un tapis d'évacuation peut être demandée par plusieurs **sous-systèmes** ou **processus** à la fois.
- Objectif de l'arbitrage :
  - **Prioriser** les demandes concurrentes pour la ressource.
  - **Assurer un fonctionnement fluide** du système tout en évitant les blocages ou les interférences.
  - **Optimiser l'utilisation** des ressources partagées pour garantir que toutes les entités puissent accéder à la ressource en temps voulu.

Notion d'arbitrage : Partage de ressources

- **Les mécanismes d'arbitrage :**
  - Arbitrage par priorité fixe : la priorité est attribuée à l'une des entités de manière **préétablie**.

Exemple : Si une navette est demandée par trois lignes de production, la ligne 1 aura toujours la priorité, suivie de la ligne 2, et enfin la ligne 3, peu importe l'ordre des demandes.

Notion d'arbitrage : Partage de ressources

- **Les mécanismes d'arbitrage :**
  - Arbitrage par priorité fixe : la priorité est attribuée à l'une des entités de manière **préétablie**.
  - Arbitrage avec priorité tournante : la priorité change **à chaque cycle** ou après chaque utilisation de la ressource.

Exemple : Si la ligne 1 utilise la navette pour une opération, la prochaine demande prioritaire sera pour la ligne 2, puis la ligne 3, et ainsi de suite. Ce mécanisme assure que toutes les lignes obtiennent un accès équitable à la ressource.

Notion d'arbitrage : Partage de ressources

- **Les mécanismes d'arbitrage :**
  - Arbitrage par priorité fixe : la priorité est attribuée à l'une des entités de manière **préétablie**.
  - Arbitrage avec priorité tournante : la priorité change **à chaque cycle** ou après chaque utilisation de la ressource.
  - Arbitrage par condition logique : la priorité est attribuée en fonction de **conditions logiques** définies par l'état des systèmes

  exemple. disponibilité des machines, état des capteurs, etc.

Notion d'arbitrage : Partage de ressources

- **Implémentation de l'arbitrage dans un Grafcet**
  - **Réceptivités avec priorité** : Les réceptivités peuvent intégrer une logique de priorité.
  - **Sous-Grafcet d'arbitrage** : dédié peut être utilisé pour gérer les priorités et organiser l'accès à la ressource partagée. Ce sous-Grafcet décidera quelle entité ou processus accède à la ressource en fonction des demandes et des priorités établies.

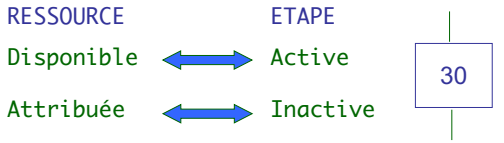
Notion d'arbitrage : Partage de ressources

- **Une ressource à partager ou à attribuer**
  - Une **ressource**: exemple un ordinateur, une imprimante, ou une machine dans une usine.
  - Plusieurs utilisateurs peuvent vouloir utiliser cette même ressource en même temps.
  - **L'arbitrage**, c'est le système qui va décider qui aura accès à la ressource à un moment donné.

- **Nature de la ressource**
  - Physique (grue déchargement, voie commune)
  - Logique (autorisation)

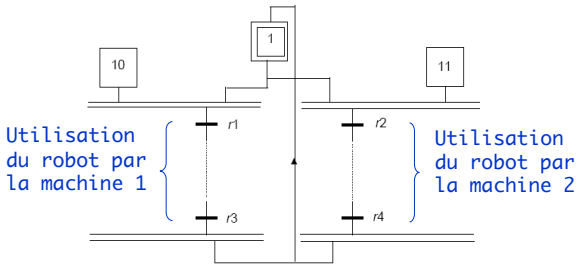
Notion d'arbitrage : Partage de ressources

- **Les deux états d'une ressource**
  - Disponible : personne ne l'utilise et qu'elle est prête à être utilisée.
    - Attribuée au 1er demandeur
    - Toute autre demande en attente
  - Non disponible : car déjà attribuée
    - Restituée en fin d'utilisation pour un autre utilisateur éventuel

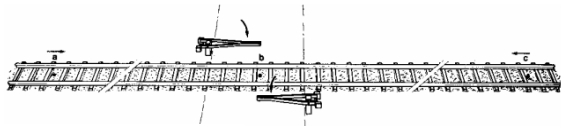


Partage de ressources : application

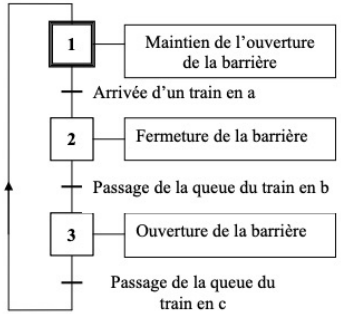
- Exemple d'un robot alimentant deux machines différentes; il ne peut alors servir les 2 machines à la fois.
  - Etape 1 : Robot - Ressource partagée (r)
    - Etape 1 active : Ressource libre
  - Réceptivités r1 et r2 : modélisation de l'utilisation de (r)
  - Réceptivités r3 et r4 : modélisation de la libération de (r)



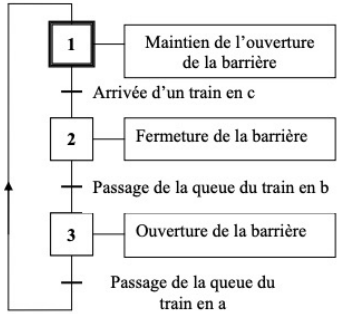
Front Montant et descendant



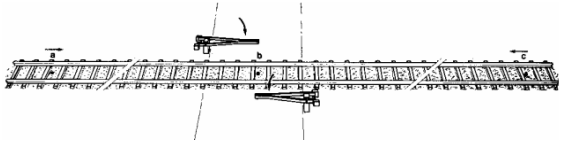
Supposons le train venant de a



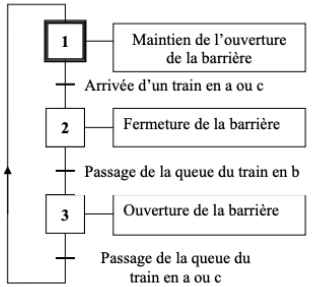
Supposons le train venant de c



Front Montant et descendant

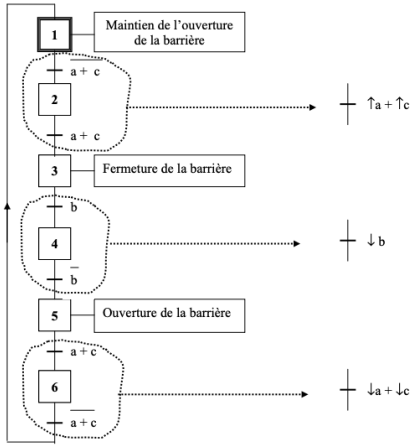


Mise en commun des deux grafcets précédents :



Front Montant et descendant

Décomposition du Grafcet précédent



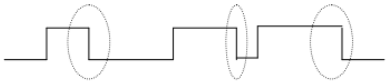
Front Montant et descendant

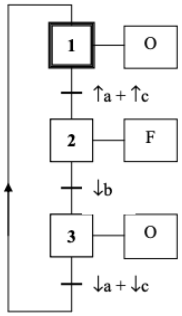
Solution en adoptant les fronts :

Fronts montants :



Fronts descendants :

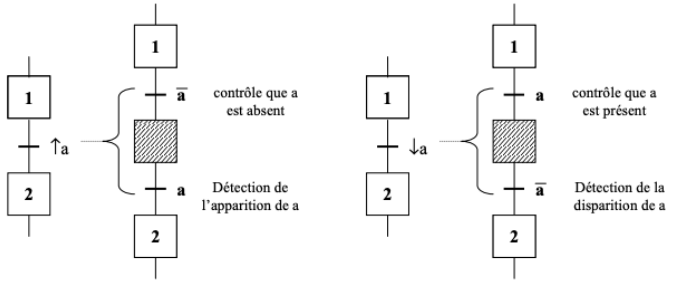




Front Montant et descendant

Remarque:

- ↑a représente l'apparition ou le front montant de l'information « **a** »
  - Passage de l'état logique **0** à l'état logique **1**
- ↓a représente la disparition ou le front descendant de l'information « **a** »
  - Passage de l'état logique **1** à l'état logique **0**



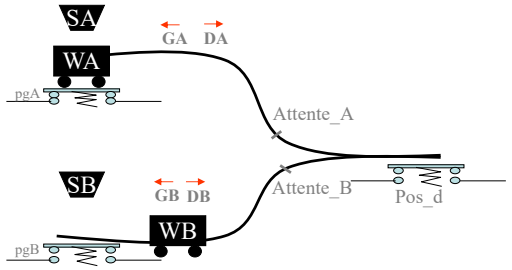
Front Montant et descendant

Description d'un front :

- Détecter l'apparition d'une information, c'est d'abord vérifier que **antérieurement** cette information était absente,
- Détecter la disparition d'une information, c'est vérifier qu'elle était présente **antérieurement**.
- La reconnaissance d'un front s'effectue donc en deux temps :
  - Vérification de l'état opposé de l'information,
  - Détection du nouvel état de l'information.
- Les deux réceptivités opposées sont séparées par une étape supplémentaire, car elles correspondent bien à un changement d'état.

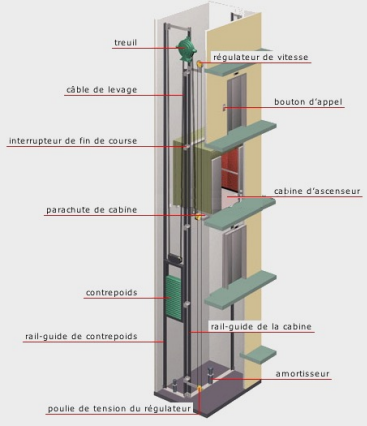
Partage de ressources physiques : exemple

Alimentation du skip de chargement d'un haut-fourneau par 2 wagonnets



Dès que l'opérateur donne l'ordre de départ cycle, le wagonnet considéré effectue dans la zone de chargement les différents dosages choisis par l'opérateur.
Le wagonnet se dirige ensuite vers la partie commune, si celle-ci est libre, en positionnant l'aiguillage sur la position correcte.
Arrivé à la position de déchargement automatique, il attend le temps nécessaire avant de retourner à sa position initiale. Chaque déchargement d'un wagonnet est comptabilisé en vue d'une gestion journalière.

Description de la commande d'un ascenseur







Commande d'un ascenseur

- **Concevoir un grafcet permettant la manœuvre à blocage :**
- **L'ascenseur dessert 3 étages.**
  - On dispose de 3 détecteurs d'étage D1, D2, D3.
  - A chaque palier est disposé un bouton poussoir d'appel P1, P2, P3.
  - Dans la cabine se trouvent 3 boutons C1, C2, C3 de commande.
- **Aucune priorité entre les appels étages :**
  - Lorsqu'un ordre est enregistré (suite à un appel palier ou à une commande depuis la cabine), il est exécuté quelles que soient les autres demandes effectuées par les utilisateurs.
- **La cabine est prioritaire 4 secondes sur les appels paliers**
  - Durant 4 secondes, les appels paliers ne sont pas pris en compte. La cabine doit s'arrêter au moins trois secondes à l'arrivée à l'étage demandé pour permettre la circulation des usagers.
- **Proposer un grafcet de gestion de cet ascenseur 3 étages.**

Manœuvre à blocage ascenseur

- Commande cabine (un poussoir par étage), Appels paliers (un SEUL poussoir par étage).
- Aucune priorité entre les appels étages.
- Tout ordre enregistré est exécuté en ignorant les autres demandes utilisateurs
- Priorité de la cabine sur les paliers : 4s. Durant ces 4 s, les appels paliers ne sont pas pris en compte.
- Arrêt de la cabine 3s à l'arrivée à l'étage demandé pour la circulation des usagers.

Manœuvre à blocage ascenseur

- Commande cabine (un poussoir par étage), Appels paliers (un SEUL poussoir par étage).
- Aucune priorité entre les appels étages.
- Tout ordre enregistré est exécuté en ignorant les autres demandes utilisateurs
- Priorité de la cabine sur les paliers : 4s. Durant ces 4 s, les appels paliers ne sont pas pris en compte.
- Arrêt de la cabine 3s à l'arrivée à l'étage demandé pour la circulation des usagers.

Mise en œuvre de la commande

- **Système câblé**
  - Carte électronique
    - Grande série, figé
  - Séquenceurs
    - Environnement hostile, figé
    - PC même énergie que PO
- **Système programmé**
  - Micro-contrôleur
    - modifiable, E/S ~
  - Automate programmable
    - E/S++, unitaire ou petite série, modifiable

Système câblé : Traduction du grafcet en équations logiques (1)

Étape i = Mémoire qui peut être :



- inactive
- active

Équation logique de X_i :

Soit CA la cond. d'activation de X_i, et CD la cond. de désactivation :

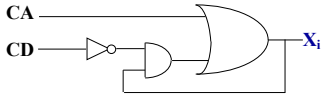
CA	CD	Xi(t)	Xi(t+1)
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Tableau de Karnaugh :

CA CD / Xi(t)	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	1	0	1	1

$X_i = CA + CD.\overline{X_i}$

Schéma de câblage :



Système câblé : Traduction du grafcet en équations logiques (2)

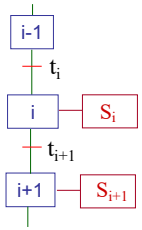
1 - Équation des mémoires d'étapes :

$$X_i = CA + \overline{CD}.X_i$$

2 - Équation des sorties associées aux étapes :

$$S_i = f(X_i)$$

Soit la portion de grafcet :



Équations logiques de X_i et X_{i+1} :

$$X_i = t_i.X_{i-1} + \overline{X_{i+1}}.X_i$$
$$X_{i+1} = t_{i+1}.X_i + \overline{X_{i+2}}.X_{i+1}$$

Équations logiques des sorties :

$$S_i = X_i$$
$$S_{i+1} = X_{i+1}$$

Système câblé : Traduction du grafcet en équations logiques (3)

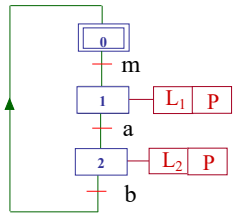
3 - Cas particulier de l'étape initiale :

Théoriquement, on devrait écrire pour toutes les étapes :

$$X_i = (t_i.X_{i-1} + \overline{X_{i+1}}.X_i).\ Init \quad \text{et} \quad X_0 = \ldots + init$$

⇒ RAZ de toutes les étapes différentes de l'étape initiale à l'initialisation

4 – Implantation du grafcet sur un système câblé : exemple



- Équations logiques des étapes :

$$X_0 = b.X_2 + \overline{X_1}.X_0 + init$$
$$X_1 = (m.X_0 + \overline{X_2}.X_1).\overline{init}$$
$$X_2 = (a.X_1 + \overline{X_0}.X_2).init$$

- Équations logiques des sorties :

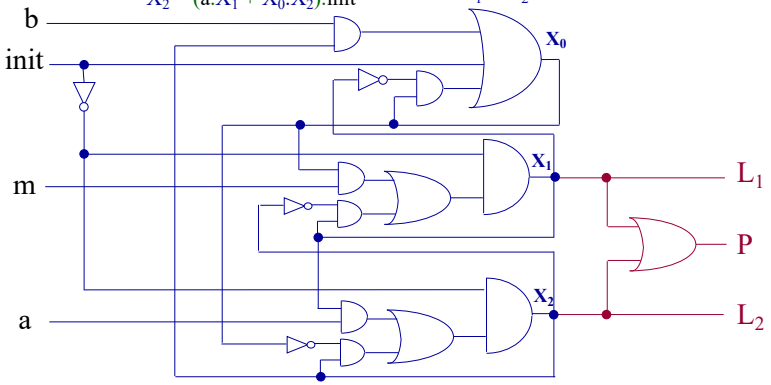
$$L_1 = X_1 \qquad L_2 = X_2$$
$$P = X_1 + X_2$$

- Schéma de câblage

Implantation de la commande sur un système câblé

$X_0 = b.X_2 + \overline{X_1}.X_0 + init$
$X_1 = (m.X_0 + \overline{X_2}.X_1).\overline{init}$
$X_2 = (a.X_1 + \overline{X_0}.X_2).\overline{init}$

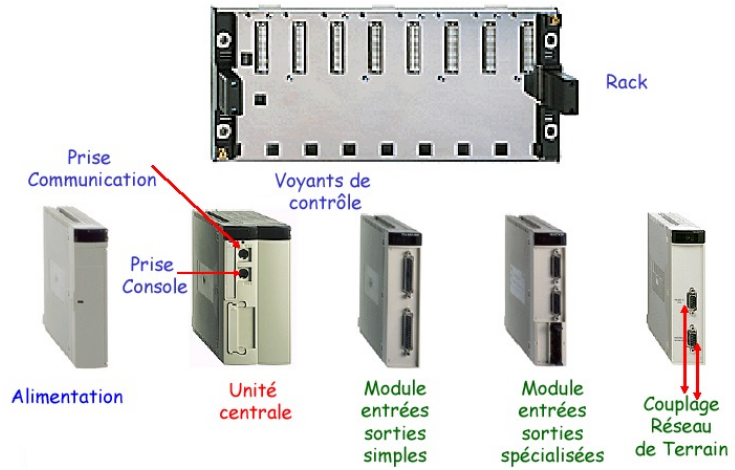
$L_1 = X_1$
$L_2 = X_2$
$P = X_1 + X_2$



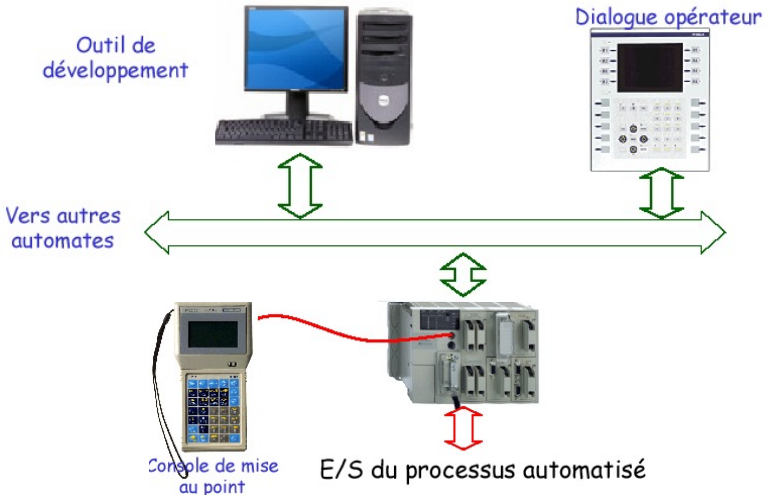
L'API : Automate Programmable Industriel

- Définition :
  - Système numérique destiné à être utilisé en environnement industriel
- Intégration facile dans un système automatisé
- Commande du processus à l'aide de :
  - E/S Tout-Ou-Rien (TOR)
  - E/S Analogiques
- Fonctions spécifiques :
  - Logique
  - Mise en séquence
  - Temporisation, Comptage
  - Calcul arithmétique
- Contient une mémoire : stockage de programmes

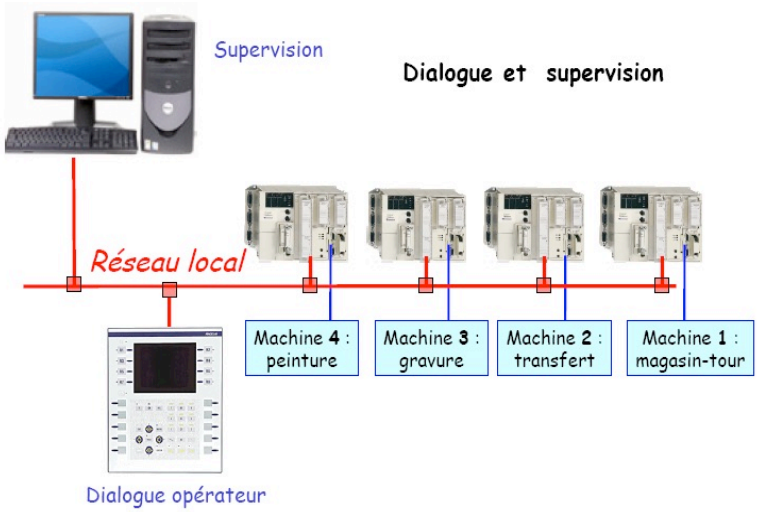
Description matérielle d'un API



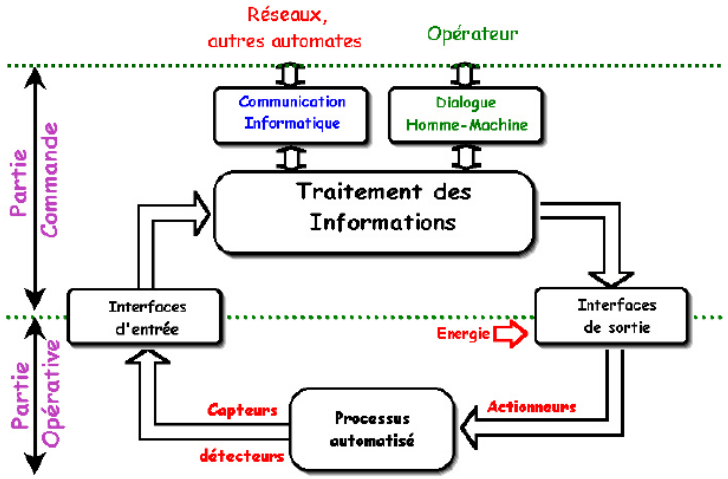
Environnement de l'API



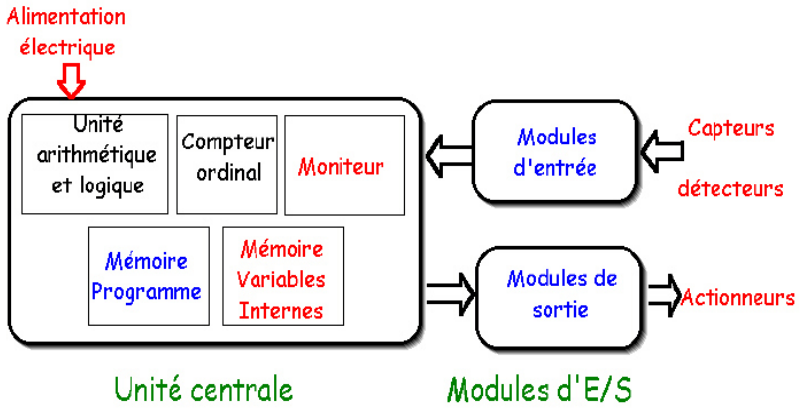
Environnement des API en Réseau



Place de l'API dans le SAP

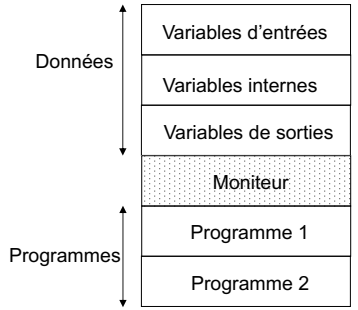


Structure interne d'un API

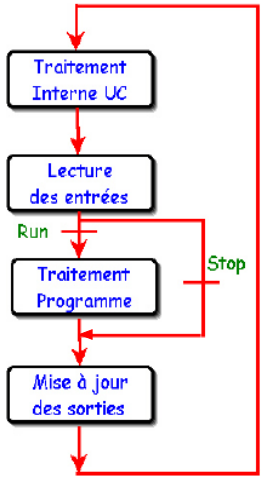


Mémoire centrale d'un API

- Contient :
  - Données
  - Programmes utilisateur
  - Logiciel de base gérant la machine
- Mémoire spécialisée



Activité logicielle d'un API



En mode « STOP » :
- API reste actif
- Exécution des tâches suspendue
  - Grafcet
  - Logique

Implantation de la commande sur API

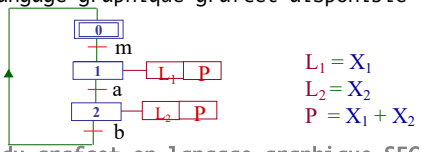
- **Choix de l'automate**
  - Modules d'Entrées/Sorties
    - Nombre, type (logique, analogique)
  - Modules spécialisés
    - Commandes d'axes
    - Communication
- **Implantation**
  - Programmation
    - Quel langage ?
  - Tests
  - Mise en œuvre

Les langages de programmation de l'API

- **Norme IEC1131.3 : 5 langages**
  - Langage structuré (de haut niveau)
    - Structures conditionnelles (IF THEN ELSE)
    - Structures itératives (FOR, WHILE, REPEAT UNTIL)
  - Langage littéral (de bas niveau)
    - Lié à l'automate
      - ex de programmation d'un ET :
        - LD A
        - AND B
        - ST C
  - Langage à blocs fonctionnels
    - Langage graphique sous formes de blocs fonctions
    - Logigramme pour les problèmes logiques
  - Langage à contact
    - Basé sur la technique des relais
  - Langage SFC (Sequential Function Chart) : langage graphique Grafcet
    - Traitement séquentiel décrit en Chart
    - Actions et réceptivités dans l'un des 4 langages précédents

Implantation de la commande sur API – CAS 1 (1)

CAS 1 : Langage graphique grafcet disponible



- **Saisie du grafcet en langage graphique SFC**
  - Graphe et réceptivités (sans les actions)
- **Saisie des équations logiques des actions en langage :**
  - Structuré (ST en PL7 Pro)
  - Littéral (IL)

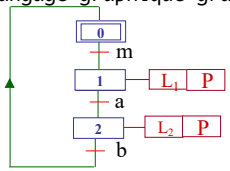
```
L1 := X1 ;
L2 := X2 ;
P := X1 OR X2;
```

```
LD X1
ST L1
LD X2
ST L2
LD X1
OR X2
ST P
```

  - A contact (LD : Ladder)
    - avec ou sans blocs fonctions

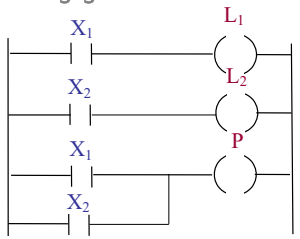
Implantation de la commande sur API – CAS 1 (2)

CAS 1 : Langage graphique grafcet disponible



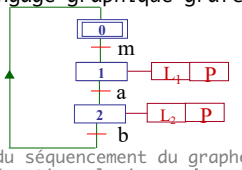
$L_1 = X_1$
$L_2 = X_2$
$P = X_1 + X_2$

Saisie des actions en langage **à contact LD ou structuré**



Implantation de la commande sur API – CAS 1 (3)

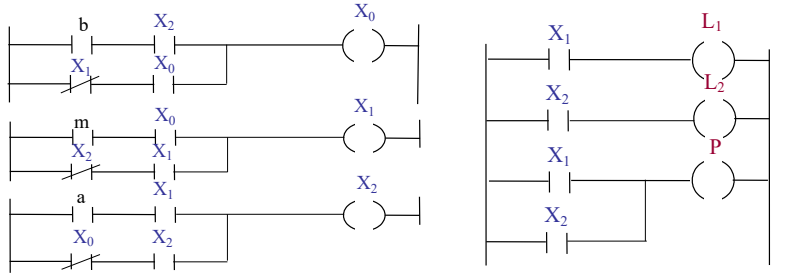
CAS 2 : Langage graphique grafcet non disponible



$X_0 = b.X_2 + \overline{X_1}.X_0$
$X_1 = m.X_0 + \overline{X_2}.X_1$
$X_2 = a.X_1 + \overline{X_0}.X_2$

$L_1 = X_1$
$L_2 = X_2$
$P = X_1 + X_2$

- Traduction du séquencement du graphe et des actions en équations logiques
- Saisie des équations logiques **du graphe et des actions** en langage ST, IL ou LD



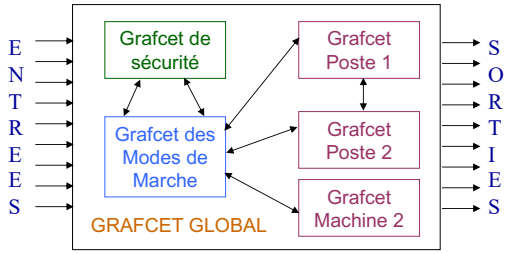
Structuration systèmes complexes

Systèmes complexes : structuration de la commande

- Partie commande (PC) :
  - Pas nécessairement décrite uniquement par grafcet
  - Multi-représentation
- Trois cas :
  - PC : appel à des fonctions grafcets
  - Un grafcet pour structurer la PC
    - Grafcet global communiquant par échanges d'entrées/sorties
  - Grafcet pour décrire toute la PC
    - Grafcet global structuré en différents grafcets partiels
      - Communication :
        - Hiérarchique, par ordres de forçage et variables d'étapes
        - Sans hiérarchie formelle, par échange de

Critères de Structuration de la commande

- **But de la structuration :**
  - Obtenir une partition de la commande en modules de taille appréhendable, décrits chacun par des outils homogènes
- **Critères de structuration**
  - Aspect fonctionnel : logique, gestion production, dialogue opérateur, ….
  - Aspect topologique : lignes, machines, stations, postes, ….
  - Aspect temporel : marche de sécurité, fonctionnement normal, dégradé, ….

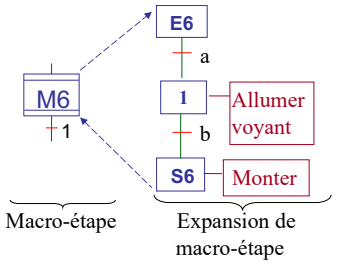


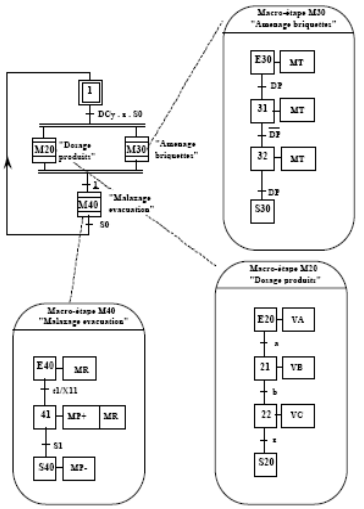
Structuration par Macro-représentation

- Une Macro-étape



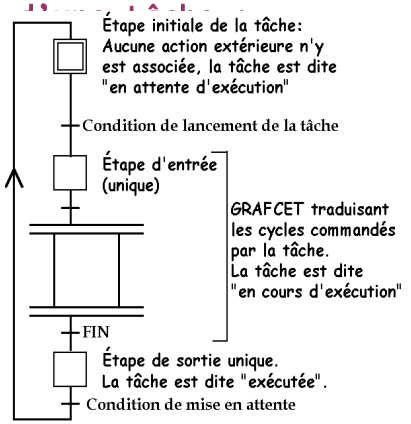
- et son expansion



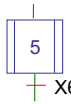


Structuration par Tâches

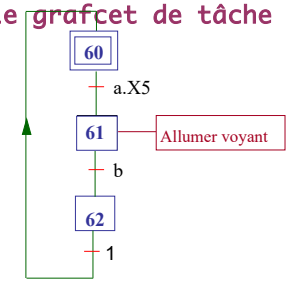
Grafcet de description Tâche



Appel d'une

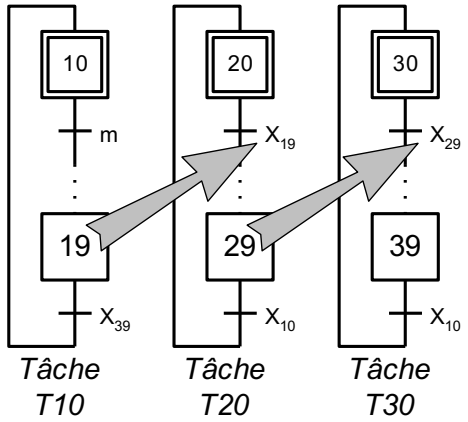


Le grafcet de tâche



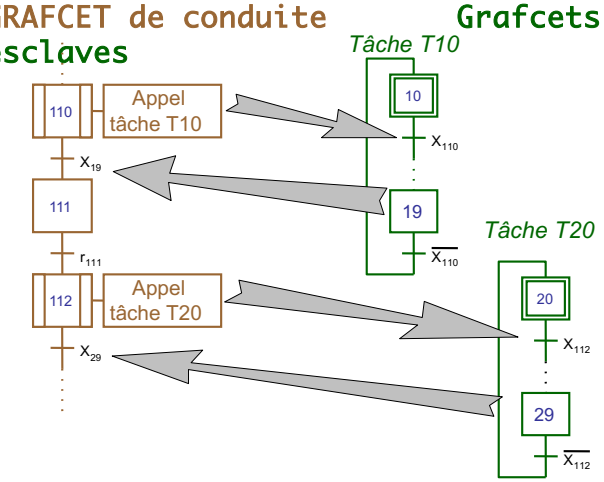
Coordination horizontale des grafcets

- Une seule tâche à la fois

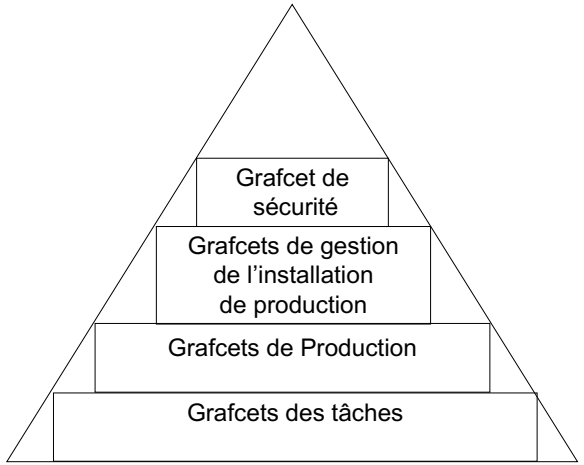


Coordination verticale

- GRAFCET de conduite esclaves



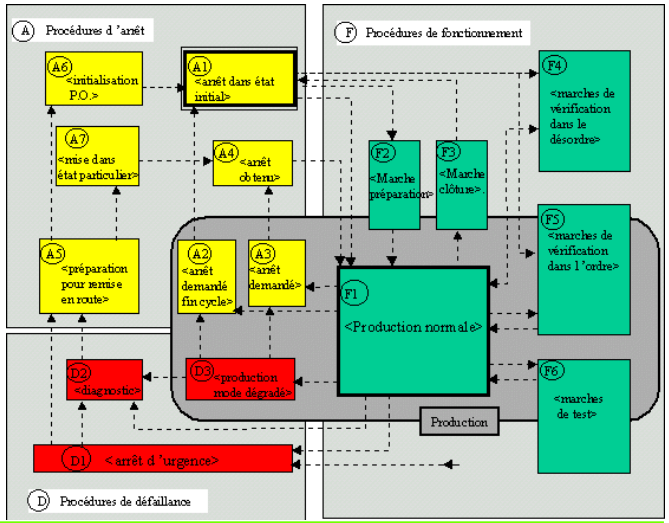
Pyramide de Grafcets hiérarchisés



Le GEMMA : Introduction

- Guide d'Études des Modes de Marches et d'Arrêt
- Outil d'Aide à :
  - ✓ Analyse et Synthèse du cahier des charges
  - ✓ Conduite, Maintenance et Évolution de la machine
- Démarche en 2 temps :
  - ✓ Recensement des différents modes envisagés
  - ✓ Détermination des conditions de passage d'un mode à l'autre
- Intervient dans la séquence d'étude :
  - ✓ Étude du processus d'action
    - Définition du cycle de production (grafcet fonctionnel)
  - ✓ Définition de la PO et des capteurs (grafcet technologique)
  - ✓ Mise en oeuvre du GEMMA
  - ✓ Choix d'une technologie de commande
    - Électrique, pneumatique, ...
    - Câblée, programmée
  - ✓ Conception du schéma ou programme de commande

Le GEMMA : Présentation



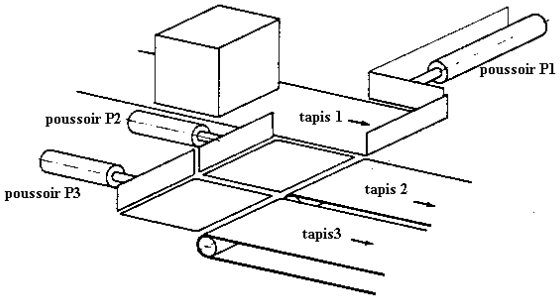
Le GEMMA : Exemple d'application (1)

Dispositif de tri de caisses :

- 1 tapis d'amenée
- 2 tapis d'évacuation
- 3 vérins de poussée P_i

Fonctionnement :

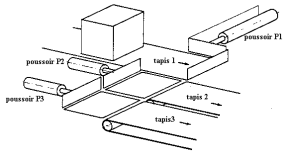
Petites caisses : vers T2
Grandes caisses : vers T3

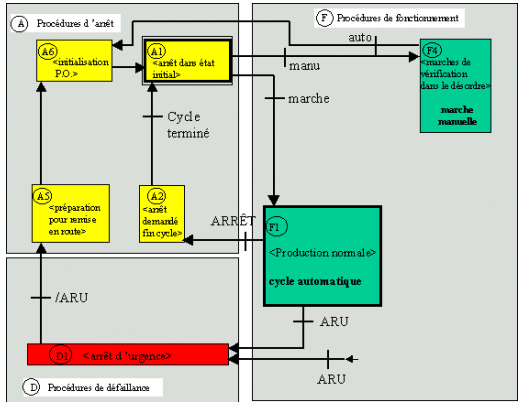


Le GEMMA : Exemple d'application (2)

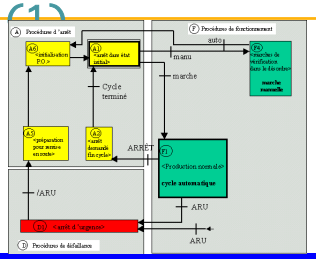
Modes de marche :

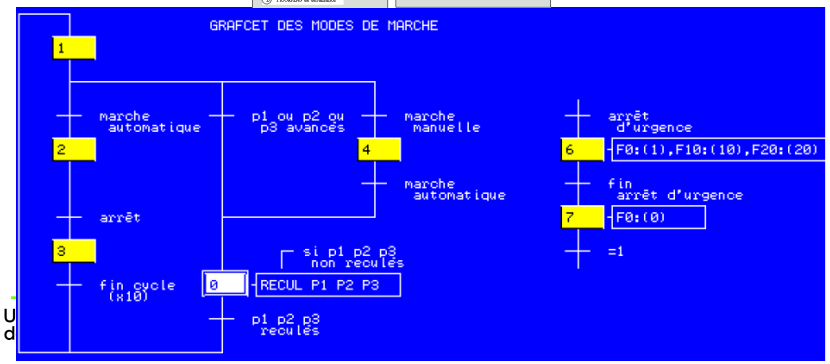
- Marche automatique
- Init. automatique de la PO
- Marche manuelle :
  - BP_i ⇨ cycle A/R de P_i
- Arrêt d'urgence



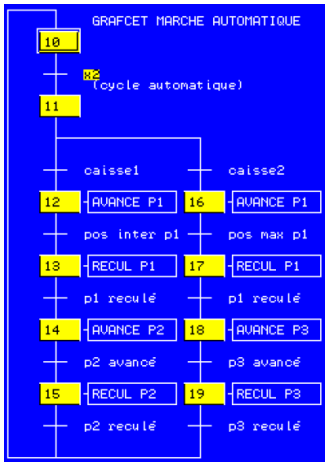


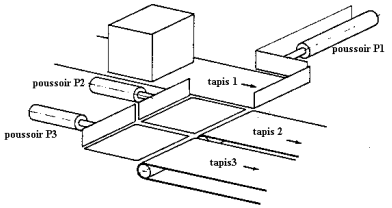
Le GEMMA – Exemple du Tri de caisses (1)

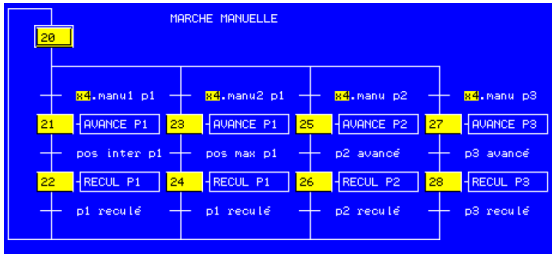




Le GEMMA – Exemple du Tri de caisses (2)

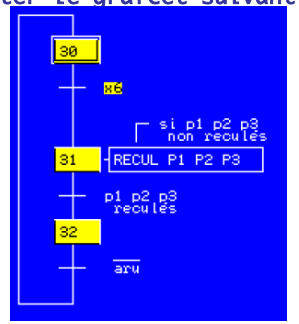






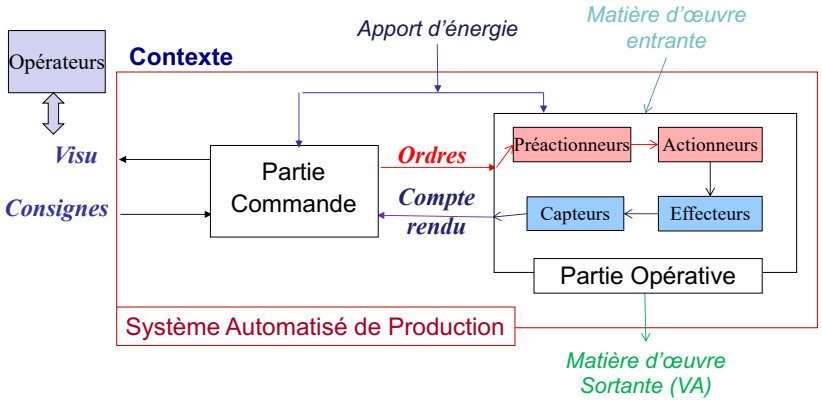
Le GEMMA – Exemple du Tri de caisses (3)

- Si on veut, lors de l'arrêt d'urgence introduire un cycle de dégagement de tous les poussoirs, il suffit d'ajouter le grafcet suivant :



Suite : les éléments de la PO en liaison directe avec la PC

Les éléments de la PO en relation directe avec la PC



Principaux éléments de mise en oeuvre

	Réseau d'énergie	Appareillage de distribution	Pré-actionneurs	Actionneurs
Pneumatique	Compresseur	• Cellule FRL • Sectionneur • Démarreur progressif	Distributeur	• Vérins • Ventouses
Electrique	Réseau EDF ou autonome	• Sectionneur • Interrupteur • Disjoncteur • Relais thermique	Contacteur	• Moteur • Résistance chauffante

FRL : Filtre – Régulateur- Lubrificateur

Distribution de l'énergie dans les SAP

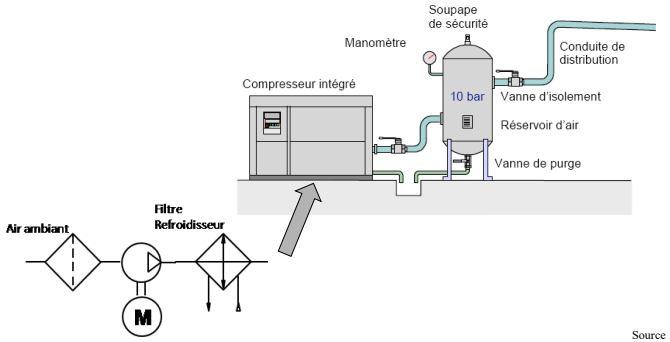
- **Technologie pneumatique**
  - Énergie propre, mise en œuvre aisée
  - Sécurité de fonctionnement
  - Grande vitesse de déplacement des vérins
  - Utilisation conjointe d'outillage pneumatique
  - Peut être utilisé en atmosphère explosive
- **Technologie électrique**
  - Mise à disposition généralisée
  - Source autonome et secourue
  - SAP « tout électrique »
  - Silencieux
  - Précaution à prendre en atmosphère humide (Indice de Protection)

Réseau d'énergie

Pneumatique

- Production centralisée d'air comprimé
- Consommation régulée par un réservoir
- Puissance max du compresseur : 10 bars

(1bar = 1daN/cm²=, 1Pa = 1N/m², 1 bar = 10⁵ Pa)

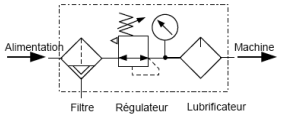


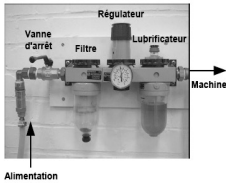
Source : Lescieux Tours

Appareillage de distribution

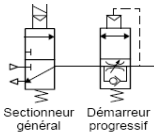
Pneumatique

❖Distribution de l'énergie : Système FRL
- ➢Filtre : pour assécher l'air et filtrer les particules solides
- ➢Régulateur : régule la pression de sortie (manodétenteur)
- ➢Lubrificateur : évite la corrosion et diminue les frottements





❖Eléments additionnels de distribution
- ➢Sectionneur (commande pneumatique ou électrique)
  - ✓Mise hors énergie de la machine
  - ✓Vidage de l'air de la machine
- ➢Démarreur progressif
  - ✓Montée en pression progressive
  - ✓Protection des personnes contre une remise en service brusque des actionneurs

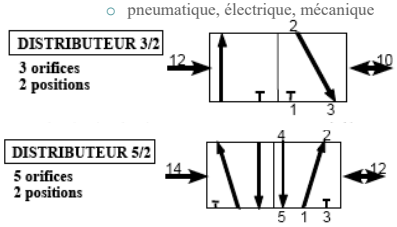


Source : Lescieux Tours

Pré-actionneur : distributeur (1)

- Distribution de l'air comprimé dans les chambres du vérin selon les ordres reçus
- Caractéristiques d'un distributeur
  - Le nombre d'orifices : 2, 3, 4, ou 5
  - Le nombre de positions : 2 ou 3
  - Type de pilotage assurant le changement de position
    - Simple pilotage avec rappel par ressort
    - Double pilotage
  - Technologie de pilotage :
    - pneumatique, électrique, mécanique





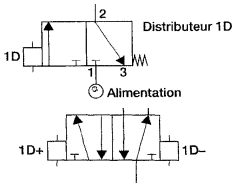
Symboles et conventions :

- Une position pour chaque case
- Orifices présents sur chaque case
- Flèche indiquant le passage de l'air comprimé
- Une voie
- Orifice fermé
- Source pression
- Échappement

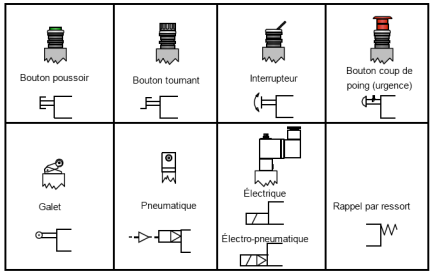
Source : Lescieux Tours

Pré-actionneur : distributeur (2)

- **Type de pilotage des distributeurs**
  - Simple pilotage avec rappel par ressort
    - Distributeur monostable
    - Tiroir rappelé à sa position initiale par ressort
  - Double pilotage
    - Distributeur bistable
    - Tiroir stable dans sa position en l'absence de signal de pilotage

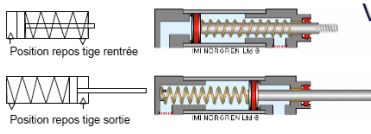


- **Technologie de pilotage**
  - Manuelle
  - Mécanique
  - Electrique
  - Pneumatique



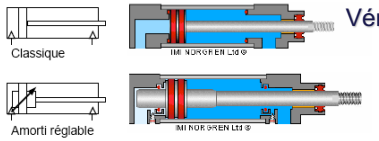
Source : Lescieux Tours

Actionneurs : vérins (1)



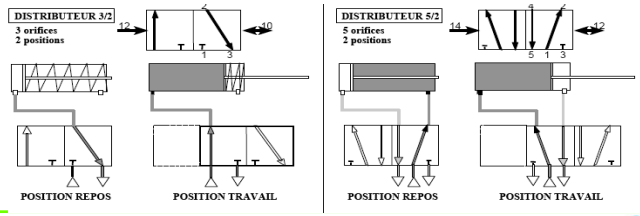
Vérin simple effet

- Un seul orifice d'admission d'air
- Retour à la position d'équilibre via un ressort
- Plus économique, consomme moins d'air



Vérin double effet

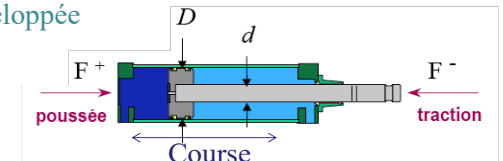
- Deux orifices d'admission d'air
- Déplacement contrôlé dans les 2 sens
- Permet amortissement fin de course, …



Actionneurs : vérins (2)

Critères de choix d'un vérin: (hors nombreuses options)

1. La course
2. La force développée



$$F^{+}_{théo} = p \times \frac{\pi D^2}{4} \qquad F^{-}_{théo} = p \times \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4}$$

En réalité:

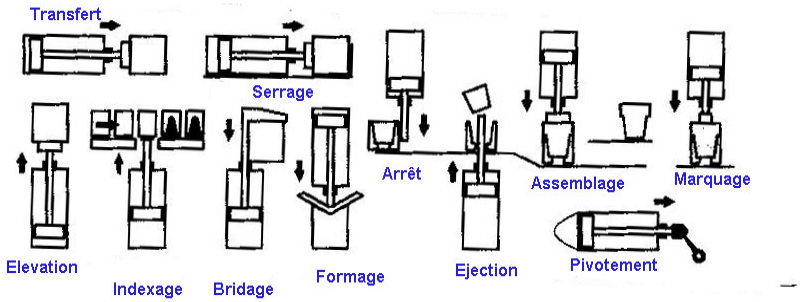
Force statique = … 95% de $F_{théo}$

Force dynamique < 70 % de $F_{théo}$ ➡

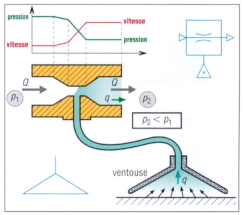
- Frottement et …
- Contre-pression

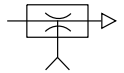
Actionneurs : vérins (3) — Pneumatique

Actions réalisables à l'aide de vérins:

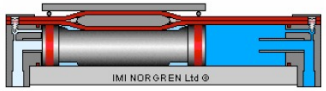


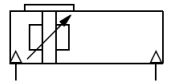
Actionneurs : ventouse, … — Pneumatique



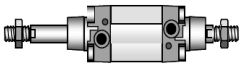


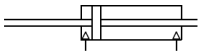
Ventouse de préhension





Vérin sans tige

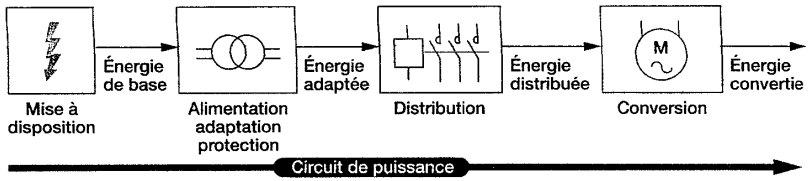




Vérin à double tige

Mise à disposition de l'énergie et alimentation de l'installation

Electrique

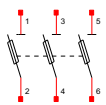


En amont de toute distribution d'énergie électrique :

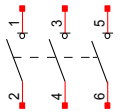
- **Mise à disposition de l'énergie**
  - Raccordement au réseau depuis une armoire BT
- **Alimentation, adaptation et protection**
  - Dispositif d'isolement/ au réseau (*Sectionneur*)
  - Interruption de l'alimentation (*Interrupteur*)
  - Dispositif de protection contre les défauts
    → Surcharge *(relais thermique)*, court-circuits *(Fusible/Disjoncteur)*
  - Adaptation en tension et redressement éventuel pour la PC

Alimentation de l'installation — Electrique

- ***Sectionneur* : dispositif d'isolement / au réseau**
  - Garantit mécaniquement la mise hors tension de l'installation en aval
  - Pas de pouvoir de coupure du courant nominal
- ***Interrupteur* : interruption de l'alimentation**
  - Coupe l'alimentation lorsque l'installation fonctionne de manière nominale
- ***Interrupteur /sectionneur***



Sectionneur-Porte fusible



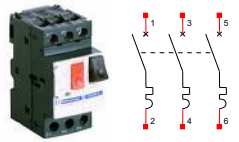
Interrupteur-Sectionneur



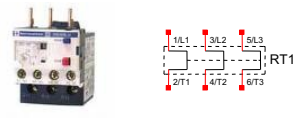
Interrupteur-Sectionneur

Protection de l'installation

- ***Disjoncteur :* Protection de l'installation**
  - Protection du circuit aval contre les surcharges et court-circuits
    - Protection thermique et magnétique
- ***Relais thermique* : Protection des moteurs**
  - Assure que le courant traversant le moteur ≤ seuil défini en façade
  - Sinon, actionne des contacts de commande qui coupent l'alimentation du moteur
- ***Disjoncteur différentiel* : Protection des personnes**
  - Protège contre les courants de fuite



Disjoncteur magnéto-thermique

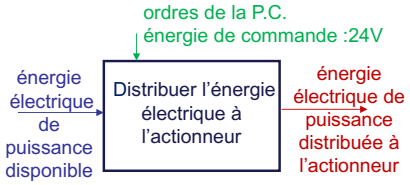


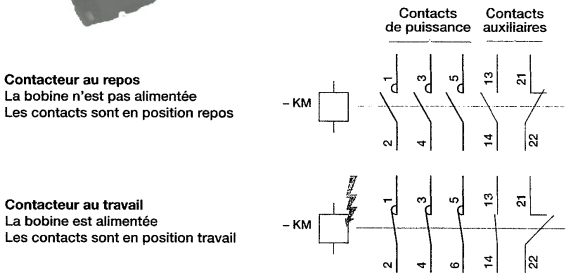
Relais thermique

Distribution de l'énergie

Le Contacteur







Le contacteur a la fonction « interrupteur »….

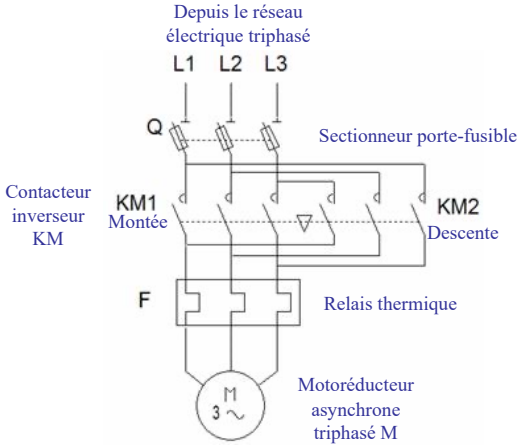
Exemple de circuit de puissance

Alimentation en énergie et protection contre les court-circuits

Distribution de l'énergie (préactionneurs)

Protection contre les surcharges

Conversion de l'énergie (actionneurs)



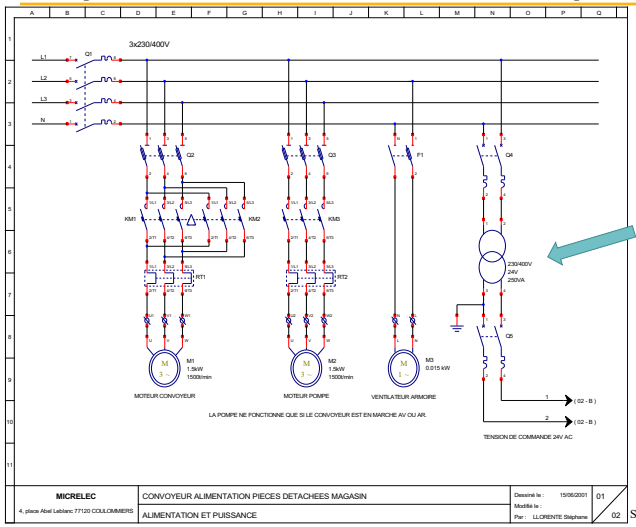
Source : Lescieux Tours

Schémas électriques d'une installation

La réalisation de la partie électrique d'un système automatisé repose sur 2 schémas électriques qui s'imbriquent :

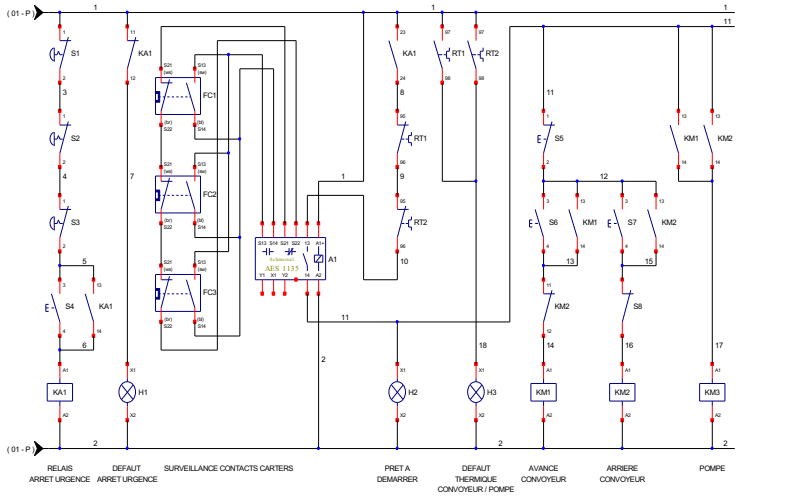
- **Le schéma de puissance**
  - ✓Câblage des chaînes d'actions de l'automatisme
- **Le schéma de commande**
  - ✓Câblage de la partie commande, du raccordement aux E/S d'automates, à la logique câblée

Exemple de réalisation: Schéma de puissance



Source : Lescieux Tours

Exemple de réalisation: Schéma de commande



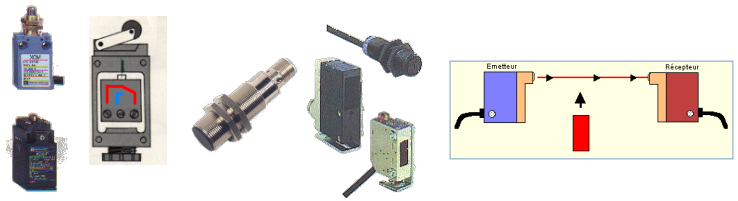
Source : Lescieux Tours

Les capteurs

- ***Rôle***
  - Fournir à la PC les informations sur l'état du système
  - Convertir les informations physiques de la PO en grandeurs électriques exploitables par la PC
- **3 catégories de capteurs**
  - Les détecteurs (capteurs T.O.R. : Tout Ou Rien)
    - ✓ Fournissent une information binaire à la PC
      - Présence pièce, vérin tige sortie, seuil température atteint, …
    - ✓ Différentes technologies : capteurs mécaniques, optiques, inductifs, capacitifs, …
  - Les détecteurs analogiques
    - ✓ Fournissent une image électrique (tension ou courant) d'une grandeur physique qui évolue de façon continue dans le temps, dans une gamme de variation donnée
  - Les capteurs numériques (codeurs)
    - ✓ Transmettent des valeurs numériques sur 8, 16, 32 bits précisant des positions, des pressions, …

Signal de sortie Tout ou Rien (TOR)

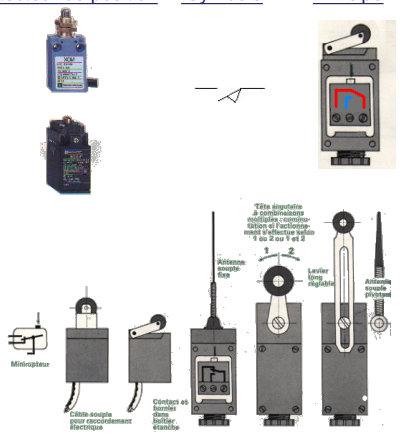
- **Les capteurs TOR ou détecteurs:**
  - Délivrent un signal binaire (0 ou 1) dit tout ou rien
  - Les plus répandus en automatisation courante
    - ✓ Capteurs à contacts mécaniques, détecteurs de proximité, détecteurs à distance ...,



Détecteur de position mécanique

- **Utilisation**
  - Fin de course
  - Position
  - Présence objets
- **Intérêt**
  - Sécurité fonctionnement élevée
  - Fiabilité des contacts
  - Mise en œuvre simple
  - Tension d'emploi élevée
  - Grande résistance aux ambiances industrielles

Détecteur de position | Symbole | Principe

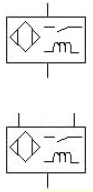


Détecteur de proximité magnétique

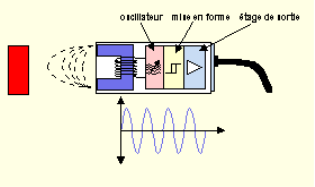
- **Utilisation**
  - Détection d'objets métalliques
  - Par proximité mais sans contact
- **Intérêt**
  - Pas de contact physique
  - Pas d'usure
  - Détection d'objets fragiles, fraîchement peints ….
  - Durée de vie indépendante du nombre de manœuvres
  - Très bonne tenue à l'env. indus. : atmosphère

Détecteur inductif | Symbole | Principe





Basé sur la variation d'un champ magnétique à l'approche d'un objet conducteur du courant électrique



Détecteur de position ILS sur vérin pneumatique

ILS : Interrupteur à Lame Souple

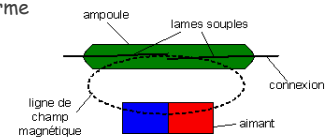
Détecteur inductif | Symbole

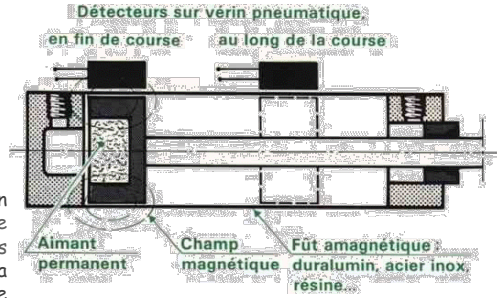


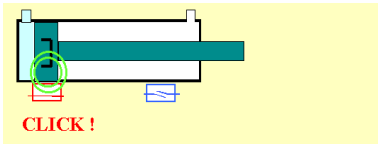


Principe

Boîtier à l'intérieur duquel est placé un contact électrique métallique souple sensible aux champs magnétiques Lorsque le champ est dirigé vers la face sensible du capteur le contact se ferme







doc www.teaser.fr

Détecteur de proximité capacitif et photo-électrique

- **Utilisation**
  - Détection courte distance d'objets métalliques ou non
  - Contrôle de niveau de liquide et poudre dans trémies
- **Intérêt**
  - Idem capteur inductif mais plus cher et pas de pièces en mouvement

Détecteur capacitif | Symbole | Principe

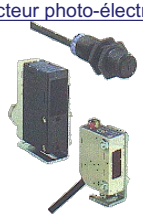


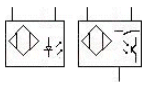


basé sur la variation d'un champ électrique à l'approche d'un objet quelconque

- **Utilisation**
  - Détection de tout objet opaque
  - Détection grande distance
- **Intérêt**
  - Généralement en lumière infrarouge, indépendant conditions de l'environnement

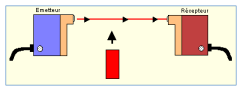
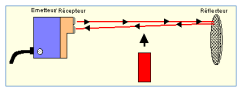
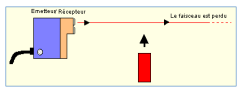
Détecteur photo-électrique | Symbole | Principe



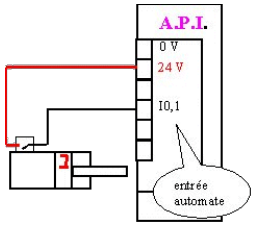


Composé essentiellement d'un émetteur de lumière associé à un récepteur photosensible

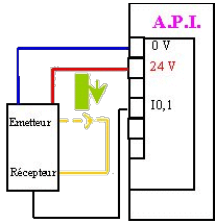
3 techniques de détection photo-électrique

Barrage •2 boîtiers •portée : 30m •pas les objets transparents	Symbole	
Système réflex •1 boîtier •portée : 15m •pas les objets transparents et réfléchissants	Symbole	
Système proximité •1 boîtier •portée : dépend de la couleur de l'objet •pas les objets transparents	Symbole	

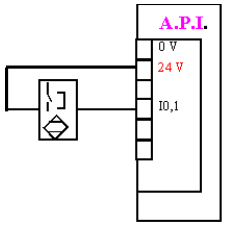
Exemple de connexions de capteurs - automates



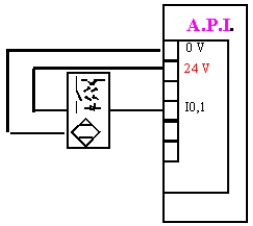
Principe (ILS) : automate à logique positive



Principe (photo proximité)



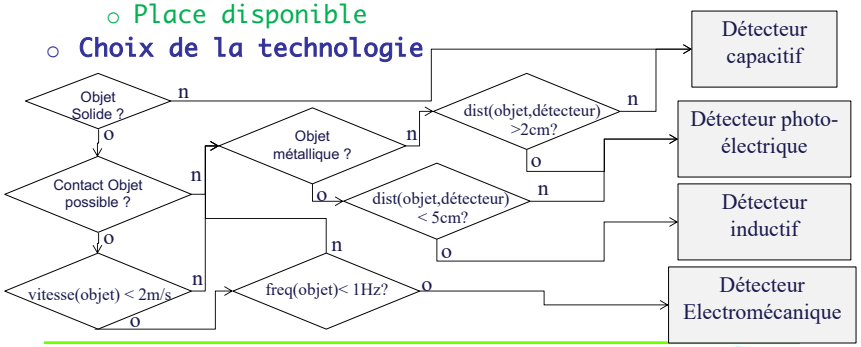
Schématisation (ILS)



Schématisation (photo proximité)

Critères de choix d'un capteur logique

- Les critères à prendre en compte
  - Ambiance industrielle
  - Nature de la détection
  - Nb cycles manœuvre
  - Nb et nature des contacts requis
  - Place disponible
- Choix de la technologie



Signal de sortie du capteur analogique

Les capteurs analogiques

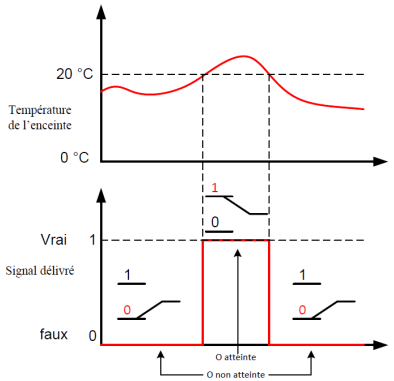
- Traduisent des valeurs de positions, de pressions, de températures ...
- Délivrent un signal (tension ou courant) évoluant constamment entre deux valeurs limites
- Les plus répandus
  - ✓ Capteurs de température, à jauges de contrainte, …





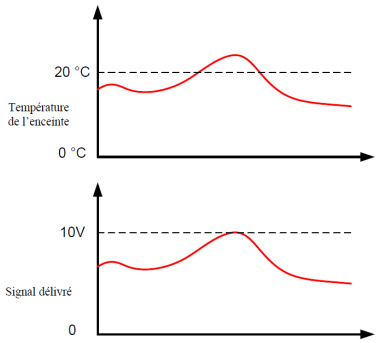
Thermostat : signal logique et analogique

Sortie TOR du



T° > T° de consigne ?

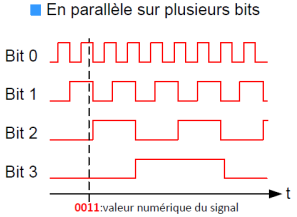
Sortie analogique du thermostat



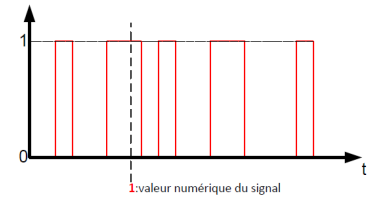
Tension prop. À la T°

Signal de sortie des capteurs numériques

- Les capteurs numériques
  - Transmettent des valeurs numériques précisant des positions, des pressions,..., pouvant être lues :
    - soit en parallèle sur plusieurs conducteurs (code numérique binaire)
    - soit en série sur un seul conducteur (train

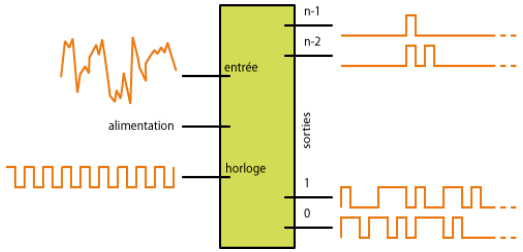


vec
que



Signal de sortie du capteur numérique

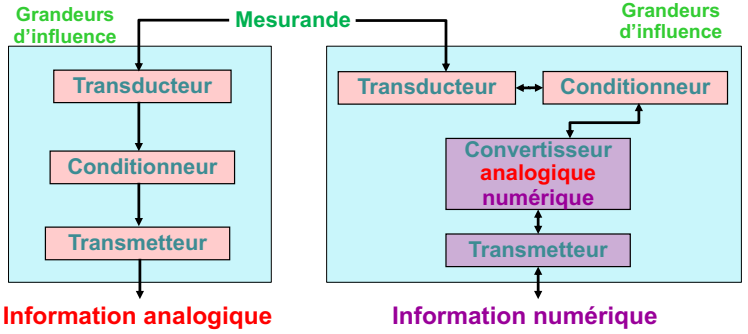
- Les capteurs numériques
  - Nécessitent souvent une conversion analogique numérique du signal issu du transducteur



  - Capteurs de température, pression, accéléromètre,...

Architecture comparée : capteur analogique ou numérique

- Le capteur numérique :
  - Intègre un C.A.N. et une interface de communication
  - Le CAN échantillonne et numérise la grandeur analogique issue du conditionneur
  - L'information numérique est alors utilisable pour tout microcontrôleur

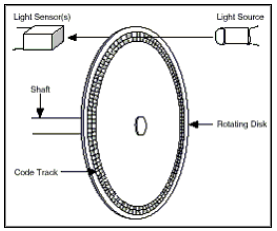


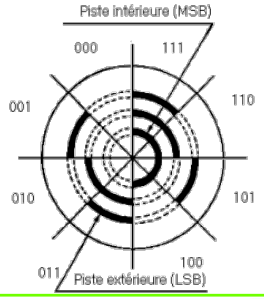
Capteurs numériques : les codeurs rotatifs

❑ Codeurs rotatifs : capteurs numériques sans CAN

- Disque du codeur solidaire de l'arbre du système à contrôler
- 2 types de codeurs
  - ✓ Codeurs incrémentaux
  - ✓ Codeurs absolus

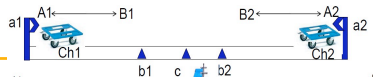


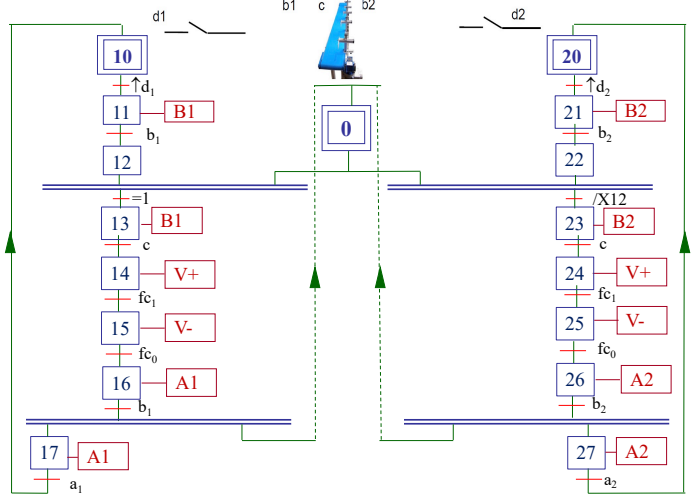




FIN

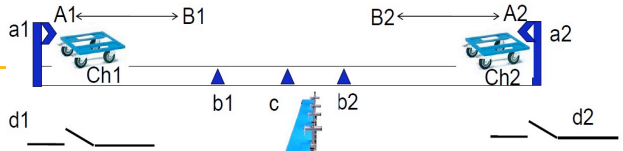
Decnargemen t d'une mine

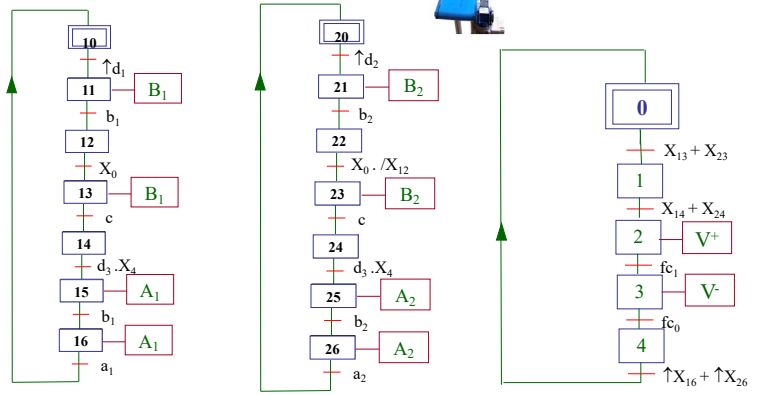




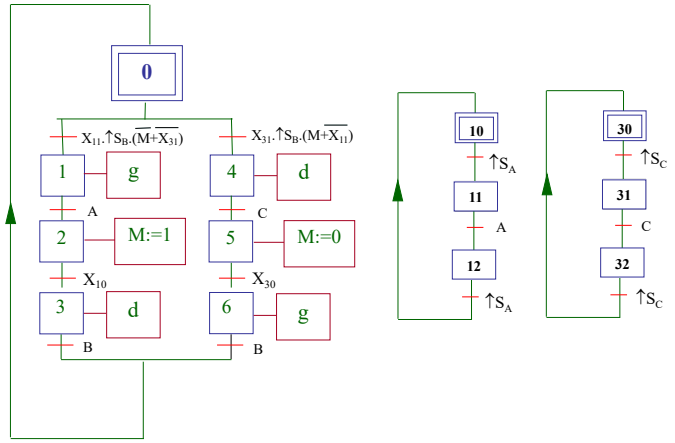
Déchargement d'une mine

Solution 2





Une solution de l'automoteur



Exemple d'application vu dans la partie 2

