

Chapitre 1 :

Instrumentation : Notions

Définitions

La métrologie : C'est la science de la mesure.

Le mesurage : C'est l'ensemble des opérations expérimentales dont le but est de déterminer la valeur numérique d'une grandeur.

Le mesurande : C'est la grandeur physique particulière qui fait l'objet du mesurage.

L'incertitude : Le résultat de la mesure x d'une grandeur X ne peut pas être entièrement défini par un seul nombre. Il faut le caractériser par un couple (x, dx) où dx représente l'incertitude sur x due aux différentes erreurs liées au mesurage: $x - dx < X < x + dx$.

L'erreur absolue : C'est la différence entre la vraie valeur du mesurande et sa valeur mesurée. Elle s'exprime en unité de la mesure.

L'erreur relative : C'est le rapport de l'erreur absolue au résultat du mesurage. Elle s'exprime en pourcentage de la grandeur mesurée.

1. Les capteurs :

Un capteur est un dispositif qui produit, à partir d'une grandeur physique, une grandeur électrique utilisable à des fins de mesure ou de commande. Cette grandeur électrique (tension ou courant) doit être une représentation aussi exacte que possible du mesurande considéré. On distingue les capteurs actifs et les capteurs passifs.

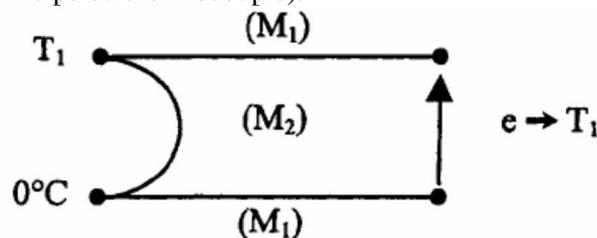
1.1. Les capteurs actifs

Ils se comportent comme des générateurs. Ils sont basés sur un effet physique qui permet de transformer l'énergie du mesurande (énergie mécanique, thermique ou de rayonnement), en énergie électrique. La réponse en sortie d'un capteur actif peut être un courant, une tension ou une charge. Parmi ces effets, les plus importants sont :

- L'effet thermoélectrique :

Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à des températures T_1 et T_2 , est le siège d'une force électromotrice $e = f(T_1, T_2)$.

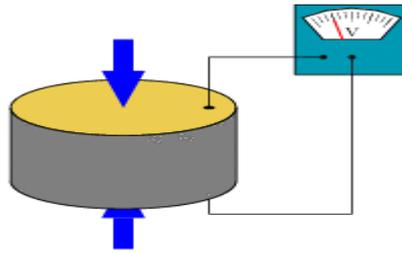
Exemple d'application : la mesure de e permet de déterminer une température inconnue T_1 , lorsque la température T_2 est connue (principe du thermocouple).



- L'effet piezo-électrique :

L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézoélectriques (le quartz par exemple) entraîne une déformation qui provoque l'apparition de charges électriques égales et de signes contraires sur les faces opposées du matériau.

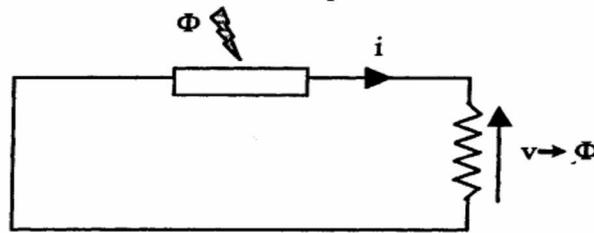
Exemple d'application : la mesure de force, de pression ou d'accélération à partir de la tension que provoquent aux bornes d'un condensateur associé à l'élément piézo-électrique les variations de sa charge.



▪ **L'effet photo-électrique :**

Un rayonnement lumineux ou plus généralement une onde électromagnétique dont la longueur d'onde est inférieure à une valeur seuil, caractéristique du matériau considéré, provoquent la libération de charges électriques dans la matière.

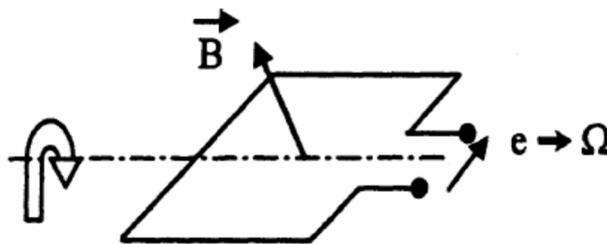
Exemple d'application : la mesure de la tension de sortie permet de déterminer le flux par rayonnement.



▪ **L'effet d'induction électromagnétique :**

Lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ d'induction fixe, il est le siège d'une force électro-motrice proportionnelle à sa vitesse de déplacement. Ainsi, lorsqu'un circuit électrique est soumis à un flux d'induction variable du à son déplacement ou à celui de la source de l'induction (par exemple, un aimant), la f.e.m dont il est le siège est de valeur égale et de signe opposé à la vitesse de variation du flux d'induction.

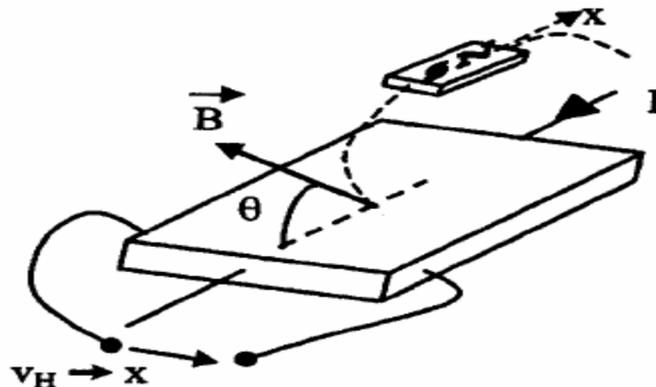
Exemple d'application : la mesure de la f.e.m d'induction permet de connaître la vitesse du déplacement qui en est l'origine.



▪ **L'effet Hall :**

Lorsqu'un matériau est parcouru par un courant I et soumis à un champ B formant un angle θ avec le courant, il apparaît une tension de Hall V_H dans une direction qui leur est perpendiculaire ($V_H = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin\theta$), où K_H est une constante qui dépend du matériau considéré.

Exemple d'application : la mesure de la tension V_H permet de déterminer la position d'un objet qui est lié à un aimant.



▪ **L'effet photovoltaïque :**

Un rayonnement lumineux sur l'assemblage de semi-conducteurs de types opposés P et N provoque la libération d'électrons (charges négatives) et de trous (charges positives) au voisinage de la jonction illuminée. Leur déplacement dans le champ électrique de la jonction modifie la tension à ses bornes.

1.2 Les capteurs passifs

Les capteurs passifs sont des impédances intégrées dans un circuit électrique (conditionneur), dont l'un des paramètres déterminants est sensible au mesurande. La variation d'impédance résulte de l'effet de la grandeur à mesurer sur :

- Soit les caractéristiques géométriques ou dimensionnelles qui peuvent varier si le capteur comporte un élément mobile ou déformable. Dans le premier cas, à chaque position de l'élément mobile correspond une valeur de l'impédance dont la mesure permet de connaître la position (principe des capteurs de déplacement ou de position tel que le potentiomètre). Dans le second cas, la déformation appliquée au capteur entraîne une modification de l'impédance (principe des capteurs de déformation tels que les jauges de contraintes).
- Soit les propriétés électriques des matériaux (résistivité ρ , perméabilité magnétique μ , constante diélectrique ϵ), qui peuvent être sensibles à différentes grandeurs physiques (température, humidité, éclairage ...). Si on fait varier une de ces grandeurs en maintenant les autres constantes, il s'établit une relation entre la valeur de cette grandeur et celle de l'impédance du capteur. La courbe d'étalonnage traduit cette relation et permet, à partir de la mesure de l'impédance, de déduire la valeur de la grandeur physique variable, qui est en fait le mesurande.

1.3. La chaîne de mesure

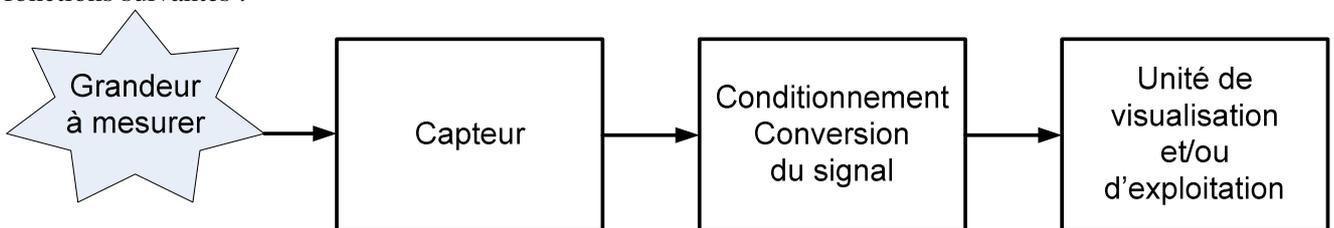
La chaîne de mesure est constituée d'un ensemble de dispositifs (y compris le capteur), permettant de déterminer, de la manière la plus précise que possible, la valeur du mesurande considéré.

A l'entrée de la chaîne de mesure, le capteur, soumis à l'action du mesurande, permet (de manière directe s'il est actif ou par le moyen de son conditionneur s'il est passif), d'injecter dans la chaîne le signal électrique qui est le support de l'information liée au mesurande.

A la sortie de la chaîne de mesure, les informations sont délivrées sous une forme appropriée à leur exploitation.

Sous sa forme la plus simple, la chaîne de mesure peut se réduire au capteur et à son conditionneur éventuel, associé à un appareil de lecture (par exemple, un thermocouple et un voltmètre). Mais de nos jours, compte tenu des possibilités importantes offertes par l'électronique et l'informatique, la quasi-totalité des chaînes de mesure sont des chaînes électroniques.

Dans sa structure de base, une chaîne de mesure doit pouvoir assurer, au moyen de dispositifs appropriés, les fonctions suivantes :



- L'extraction de l'information et la traduction de la grandeur physique à mesurer en signal électrique par le capteur.
- Le conditionnement du signal afin d'éviter sa dégradation par le bruit ou par des signaux parasites : amplification, filtrage.
- La conversion du signal sous forme numérique adaptée au calculateur chargé de l'exploiter : échantillonneur bloqueur, convertisseur analogique-digital.

- La visualisation et/ou l'utilisation des informations recueillies afin de lire la valeur de la grandeur mesurée et/ou de l'exploiter dans le cas d'un asservissement : microprocesseur, microcontrôleur.

2. Performances des systèmes de mesure

2.1 Le système de mesure idéal

Un système de mesure idéal est tel que le signal de sortie est une fonction linéaire du mesurande, la sortie est une reproduction de l'entrée quelle que soit la manière dont elle varie.

Le système de mesure idéal n'existe pas dans la réalité, c'est un outil théorique qui permet d'évaluer les performances d'un système de mesure donné, en les comparant avec celles qui seraient obtenues par un système idéal, dans les mêmes conditions :

- Les performances statiques d'un système sont obtenues en appliquant un signal d'entrée constant ou en régime permanent et en comparant le signal de sortie avec le cas idéal.
- Les performances dynamiques d'un système sont obtenues en appliquant un signal variable et en comparant le signal de sortie avec le cas idéal.

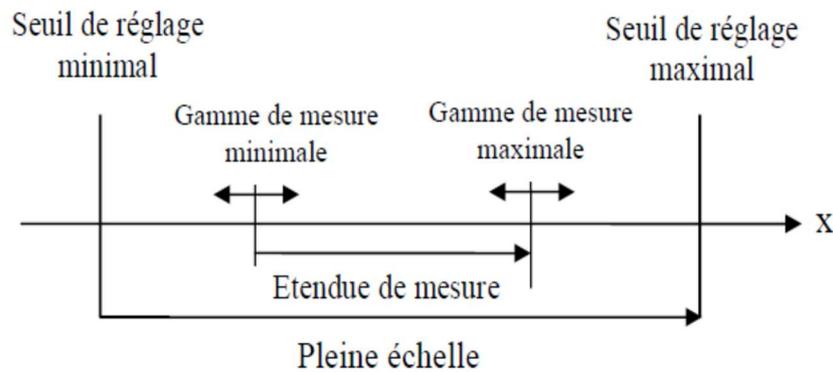
2.2 Les caractéristiques statiques d'un capteur

2.2.1 Gamme de mesure – Etendue de mesure

La **gamme de mesure** est l'ensemble des valeurs du mesurande pour lesquelles un instrument de mesure est supposé fournir une mesure correcte.

L'**étendue de mesure** correspond à la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de la gamme de mesure.

Pour les appareils à gamme de mesure réglable, la valeur maximale de l'étendue de mesure est appelée **pleine échelle**.



2.2.2 La courbe d'étalonnage ou l'étalonnage statique (Static calibration)

Elle est propre à chaque appareil de mesure et permet de transformer la mesure brute en une mesure corrigée. Elle est obtenue en soumettant le capteur à une série de valeurs constantes de la grandeur à mesurer, et à relever avec précision les valeurs correspondantes des grandeurs électriques de sortie, lorsque le régime permanent est atteint. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de tableaux ou de graphiques (courbes, abaques ...).

2.2.3 La précision (Accuracy)

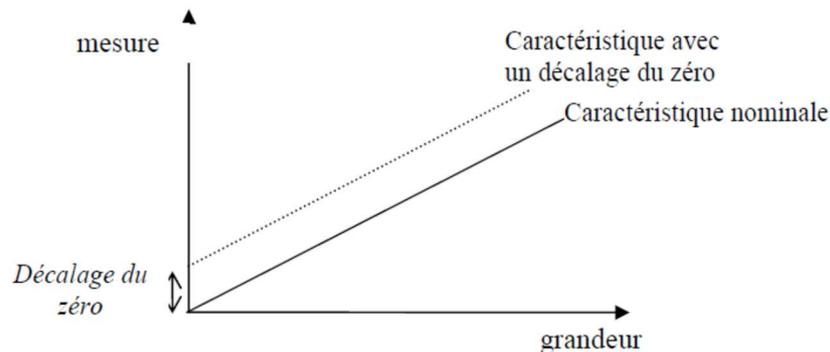
C'est la différence entre la valeur mesurée et la vraie valeur. Elle peut être définie par rapport à la valeur vraie ou par rapport à la pleine échelle, et elle s'exprime en % :

$$\text{précision (par rapport à la valeur vraie)} = \frac{\text{valeur mesurée} - \text{valeur vraie}}{\text{valeur vraie}} \times 100$$

$$\text{précision (par rapport à la pleine échelle)} = \frac{\text{valeur mesurée} - \text{valeur vraie}}{\text{pleine échelle}} \times 100$$

2.2.4 Le décalage du zéro (Bias, Zero-drift)

C'est une variation constante de la sortie après une période de temps, elle peut être due à la variation des conditions climatiques, au changement des conditions électriques, au vieillissement du capteur ...



5

2.2.5 La linéarité

C'est la déviation maximale de la sortie d'un appareil de mesure par rapport à la courbe d'étalonnage. Dans ce cas, la caractéristique du capteur n'est pas une droite.

2.2.6 La sensibilité (sensitivity)

La sensibilité est une caractéristique déterminante dans le choix d'un capteur, elle est définie par le rapport de la variation de la grandeur de sortie à la variation de la grandeur d'entrée à mesurer, autour d'une valeur constante du mesurande considéré.

La valeur de la sensibilité, dans des conditions d'emploi spécifiées, est généralement fournie par le constructeur. Elle permet à l'utilisateur d'estimer l'ordre de grandeur de la réponse du capteur, connaissant l'ordre de grandeur des variations du mesurande et de choisir le capteur afin que l'ensemble de la chaîne de mesure satisfasse aux conditions de mesure adéquates.

Soit m la valeur à mesurer et s l'indication ou le signal fourni par le capteur. A chaque valeur de m appartenant à l'étendue de mesure, correspond une valeur de s : $s = f(m)$.

La sensibilité autour d'une valeur de m est le rapport S : $S = \left(\frac{ds}{dm} \right)_{m=\text{constante}}$

Si la fonction est linéaire, la sensibilité du capteur est constante : $S = \left(\frac{\Delta s}{\Delta m} \right)$

2.2.7 Le décalage de la sensibilité (sensitivity drift)

C'est la variation de la sensibilité d'un capteur avec les conditions ambiantes, elle dépend de façon linéaire de la grandeur mesurée. Un appareil de mesure peut présenter un décalage du zéro, un décalage de la sensibilité ou les deux en même temps.

2.2.8 La résolution

La résolution d'un appareil de mesure est la plus faible variation du mesurande qui provoque une variation de la grandeur de sortie du capteur considéré, elle représente la plus petite variation de la grandeur d'entrée que le système de mesure sera capable d'identifier...

Lorsque l'appareil de mesure est un appareil numérique, la résolution est définie par le rapport entre l'étendue de la mesure et le nombre de points de mesure.

2.2.9 La précision

La précision est l'écart entre les résultats de mesure d'une même grandeur effectuée selon la même procédure, avec le même appareillage, par la même personne, en un même lieu et pendant une durée de temps courte vis à vis de la durée de la mesure.

2.2.10 La reproductibilité

Elle correspond à l'écart entre les résultats de mesures d'une même grandeur effectuées avec plusieurs appareils de mesure identiques, par des opérateurs distincts, en des temps et des lieux différents.

3. Les thermomètres électriques

Les thermomètres électriques présentent l'avantage d'une grande souplesse d'emploi et d'exploitation (le signal électrique délivré est transmissible et enregistrable), tout en étant suffisamment précis, aussi bien pour des utilisations industrielles qu'en laboratoire.

3.1 Les thermomètres à résistance

La résistance électrique d'un conducteur métallique augmente avec la température. Cette variation étant parfaitement réversible, on peut établir une relation $R = f(T)$ entre la résistance R et la température T(°C) sous la forme :

$$R = R_0(1 + aT + bT^2 + cT^3)$$

avec :

- R_0 la résistance à 0°C
- a, b et c des coefficients de température positifs, spécifiques au métal considéré.

5.3 Les thermistances

Les thermistances sont des capteurs de température dont la sensibilité thermique est très élevée, de l'ordre de 10 fois celle des capteurs à résistance. Leurs coefficients de température sont généralement négatifs et dépendent fortement de la température. Elles sont constituées à partir de mélanges d'oxydes métalliques semi-conducteurs tels que les oxydes de Nickel, de Cobalt ou de Manganèse. Contrairement aux métaux, la résistance des semi-conducteurs diminue lorsque la température augmente.

La résistance d'une thermistance en fonction de la température s'écrit :

$$R(T) = R_0 \exp \left(\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right)$$

- R_0 la résistance à la température T_0
- β un coefficient qui dépend de la température, compris généralement entre 3000 et 5000 K.

Chapitre 2 :

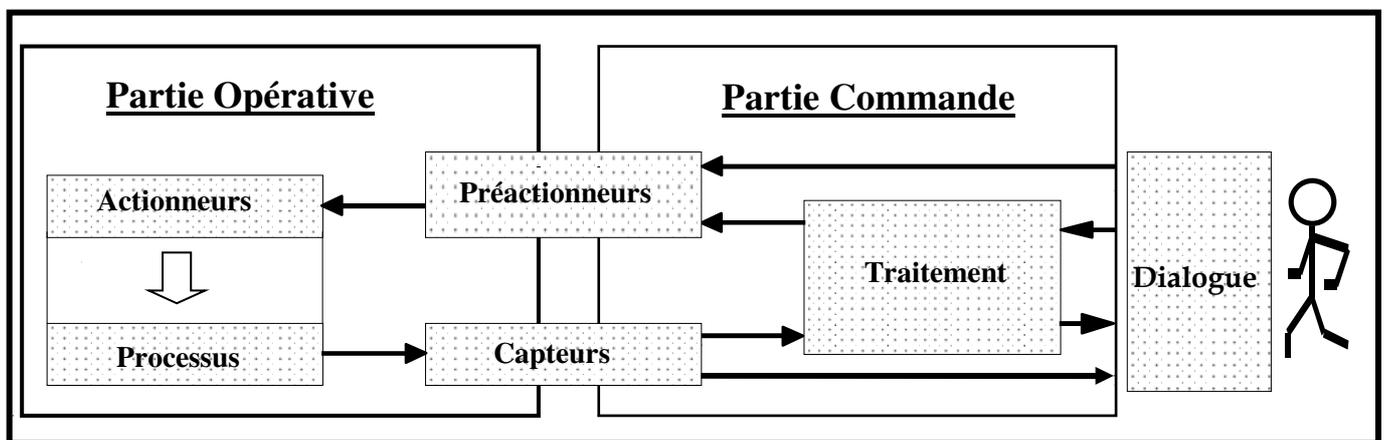
Systeme automatisé

Introduction

Un système automatisé se compose de deux parties:

- **La partie opérative PO :** Elle comporte les actionneurs et les éléments fonctionnels qui agissent sur le processus automatisé. Elle agit sur la matière d'œuvre et subit les effets du milieu physique dans lequel elle se trouve, en fonction des ordres qu'elle reçoit.
- **La partie commande PC :** Elle coordonne les actions de la PO, en lui envoyant les ordres et reçoit en retour les informations qui rendent compte. Elle échange des informations avec l'opérateur par l'intermédiaire d'organe de dialogue (voyants et organes de commande).

7

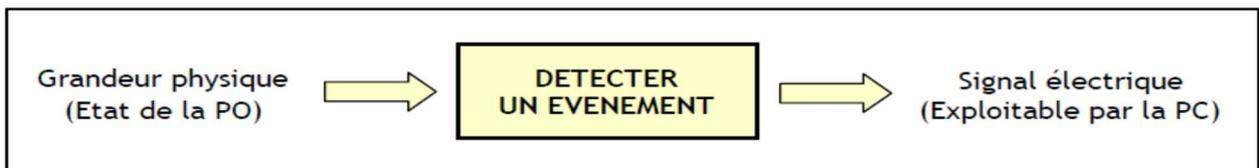


La partie commande est réalisée à partir de circuit spécifique à une application donnée ou par des composants programmables dans les domaines plus particuliers. Le composant employé est fonction de la taille et de l'importance du marché.

Dans le domaine industriel pour l'automatisation de systèmes de production, sont utilisés des automates programmables industriels.

4. Les capteurs :

Le capteur détecte un événement physique se rapportant au fonctionnement du système (présence d'une pièce, température, etc.) et traduit cet événement en un signal exploitable par la PC de ce système. Ce signal est généralement électrique sous forme d'un signal basse tension. La figure suivante illustre le rôle d'un capteur :

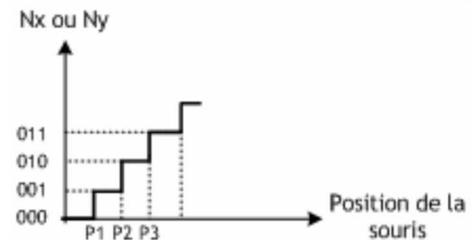
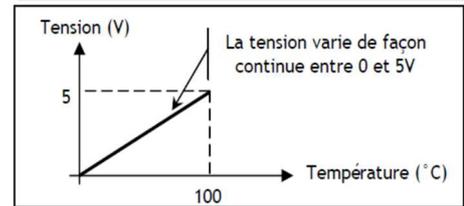
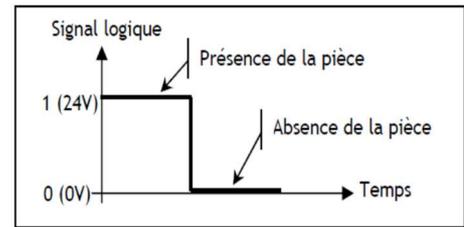


L'information détectée par un capteur peut être d'une grande variété, ce qui implique une grande variété de besoins en capteurs. On cite parmi les plus connus et fréquents, les capteurs de position, de présence, de vitesse, de température et de niveau.

1.1 Nature de l'information fournie par un capteur :

Suivant son type, L'information qu'un capteur fournit à la PC peut être :

- **Logique :** L'information ne peut prendre que les valeurs 1 ou 0 ; on parle alors d'un capteur Tout ou Rien (TOR). La figure ci-contre montre la caractéristique d'un capteur de position.
- **Analogique :** L'information peut prendre toutes les valeurs possibles entre 2 certaines valeurs limites ; on parle alors d'un capteur analogique. La figure ci-contre montre la caractéristique d'un capteur de température.
- **Numérique :** L'information fournie par le capteur permet à la PC d'en déduire un nombre binaire sur n bits ; on parle alors d'un capteur numérique. La figure ci contre illustre le principe de fonctionnement de la souris : La souris fournit à un ordinateur un signal logique périodique, sous forme d'impulsions, qui lui permettent de compter ces impulsions pour en déduire les coordonnées X et Y de la souris sous forme de nombres N_x et N_y .



1.2 Capteurs logiques (Tout Ou Rien : TOR) :

Les capteurs TOR fournissent une information logique, généralement sous forme d'un contact électrique qui se ferme ou s'ouvre suivant l'état du capteur.

1.2.1 Capteurs avec contact : Ce type de capteur est constitué d'un contact électrique qui s'ouvre ou se ferme lorsque l'objet à détecter actionne par contact un élément mobile du capteur (dispositif d'attaque). Les gammes de ce type de capteur sont très variées ; elles sont fonction des problèmes posés par leur utilisation.



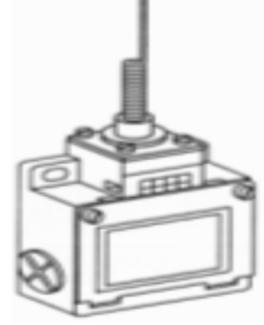
Capteur rectiligne à poussoir



Capteur rectiligne à poussoir à galet thermoplastique



Capteur angulaire à levier à galet



Capteur à tige souple à ressort

1.2.2 Capteurs sans contact : Les capteurs sans contact ou de proximité détectent à distance et sans contact avec l'objet dont ils contrôlent la position. Un contact électrique s'ouvre alors ou se ferme en fonction de la présence ou du non présence d'un objet dans la zone sensible du capteur.

A l'inverse des capteurs avec contacts, les capteurs de proximité sont des détecteurs statiques (pas de pièce mobile) dont la durée de vie est indépendante du nombre de manœuvres. Ils ont aussi une très bonne tenue à l'environnement industriel (atmosphère polluante).

Le choix d'un détecteur de proximité dépend :

- De la nature du matériau constituant l'objet à détecter,
- De la distance de l'objet à détecter,
- Des dimensions de l'emplacement disponible pour implanter le détecteur.

a) Capteurs inductifs : La technologie des détecteurs de proximité inductifs est basée sur la variation d'un champ magnétique à l'approche d'un objet conducteur du courant électrique. Leur usage est uniquement réservé à la détection d'éléments métalliques dans les secteurs de la machine-outil, l'agroalimentaire, la robotique, et les applications de l'usinage, la manutention, l'assemblage, le convoyage.

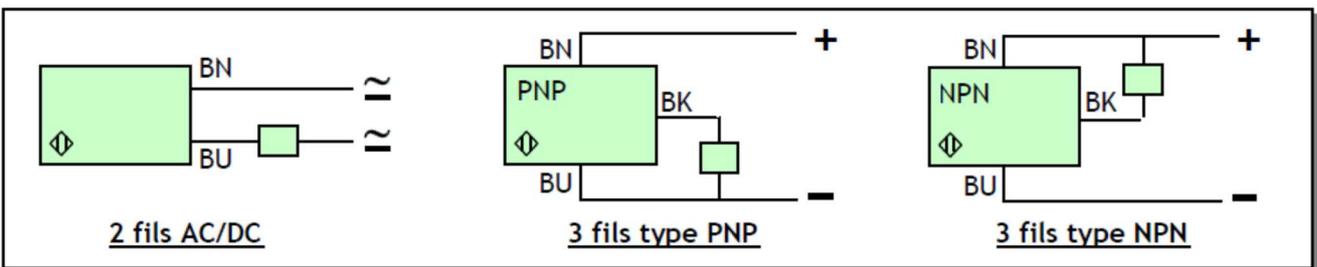


Caractéristiques :

- Portée nominale qui définit la zone de détection. Elle dépend de l'épaisseur de l'objet et peut aller jusqu'à 50mm.
- Tension d'alimentation de 12V à 48V continu et de 24 à 240V alternatif.
- Technique de raccordement 2 fils et 3 fils.

Les détecteurs inductifs existent suivant différents modèles ; ceci en fonction de leur mode de raccordement :

- 2 fils avec courant continu ou alternatif;
- 3 fils avec courant continu type PNP ou NPN, en fonction de l'électronique interne.



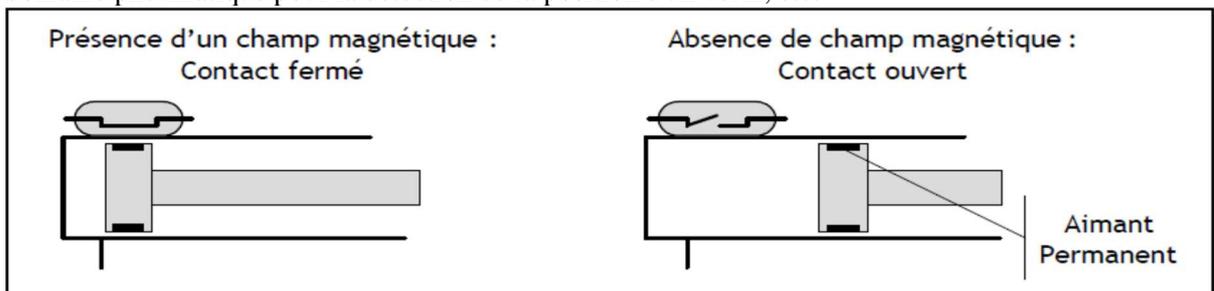
b) Capteurs capacitifs : La technologie des détecteurs de proximité capacitifs est basée sur la variation d'un champ électrique à l'approche d'un objet quelconque. Ils permettent de détecter tout type d'objet dans les domaines de l'agro-alimentaire, de la chimie, de la transformation des matières plastiques, du bois et des matériaux de construction.



Caractéristiques :

- Portée nominale qui définit la zone de détection. Elle dépend de l'épaisseur de l'objet et peut aller jusqu'à 50mm.
- Tension d'alimentation de 12V à 48V continu et de 24 à 240V alternatif.
- Technique de raccordement 2 fils et 3 fils.

c) Capteurs magnétiques : Un interrupteur à lame souple (**I.L.S.**) est constitué d'un boîtier à l'intérieur duquel est placé un contact électrique métallique souple sensible aux champs magnétiques. Il permet de détecter tous les matériaux magnétiques dans le domaine de la domotique pour la détection de fermeture de portes et fenêtres et le domaine pneumatique pour la détection de la position d'un vérin, etc.



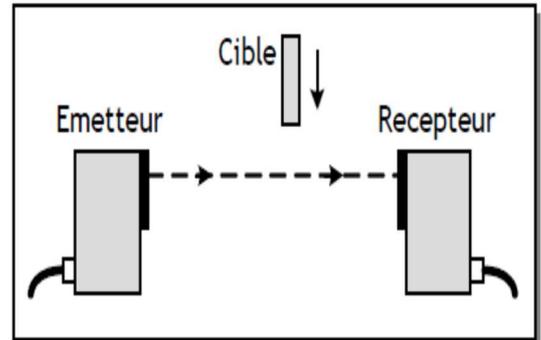
d) Capteurs Photoélectriques à distance : Les cellules photoélectriques permettent de détecter sans contact tous les matériaux opaques (non transparents), conducteurs d'électricité ou non. Ce type de capteurs se compose essentiellement d'un émetteur de lumière associé à un récepteur photosensible. Ces détecteurs sont utilisés dans les domaines industriels et tertiaires les plus divers comme :

- La détection d'objets et de produits dans la manutention et le convoyage ;
- La détection de pièces machine dans les secteurs de la robotique et du bâtiment ;
- La détection de personnes, de véhicules ou d'animaux, etc.

Pour réaliser la détection d'objets dans les différentes applications, 3 techniques de montages sont possibles:

Système barrage, caractérisé par :

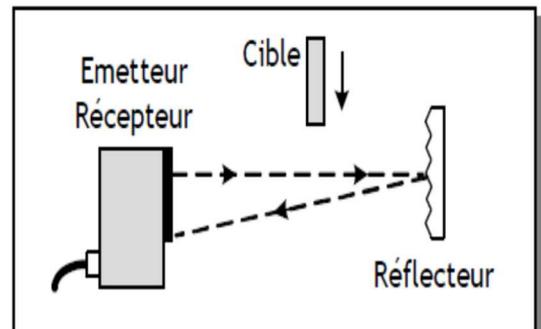
- L'émetteur et le récepteur sont situés dans deux boîtiers séparés ;
- La portée la plus longue pour ce type de capteur (jusqu'à 30 m) ;
- Le faisceau est émis en infrarouge ;
- La détection des objets opaques ou réfléchissant quelque soit le matériau ;
- L'alignement entre émetteur et récepteur doit être réalisé avec soin.



10

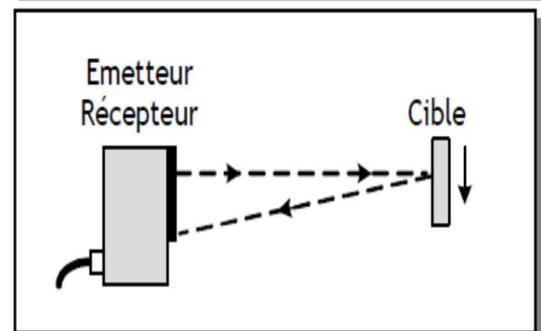
Système reflex, caractérisé par :

- L'émetteur et le récepteur sont situés dans le même boîtier ;
- Utilisation d'un réflecteur qui renvoie le faisceau lumineux en cas d'absence de cible ;
- La portée peut atteindre jusqu'à 15 m ;
- Le faisceau est émis en infrarouge ;
- La détection des objets opaques et non réfléchissant quelque soit le matériau ;



Système proximité, caractérisé par :

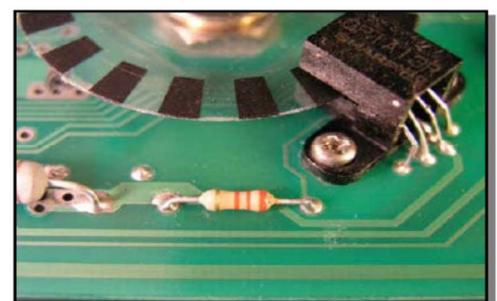
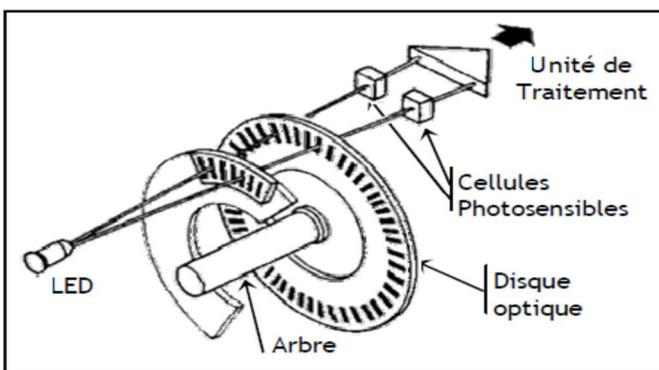
- L'émetteur et le récepteur sont situés dans le même boîtier ;
- La présence de la cible renvoie le faisceau lumineux vers le capteur ;
- La portée dépend de la couleur de la cible, de son pouvoir réfléchissant et de ses dimensions. Elle augmente si l'objet est de couleur claire ou de grande dimension.



1.3 Capteurs numériques :

1.3.1 Codeur optique incrémental :

Un disque rotatif comporte au maximum 3 pistes. La piste périphérique A du disque est divisée en "n" fentes régulièrement réparties. Ainsi, pour un tour complet de l'axe du codeur, le faisceau lumineux est interrompu n fois et délivre à la sortie de la cellule photosensible "n" signaux carrés. La figure suivante décrit un capteur incrémental :



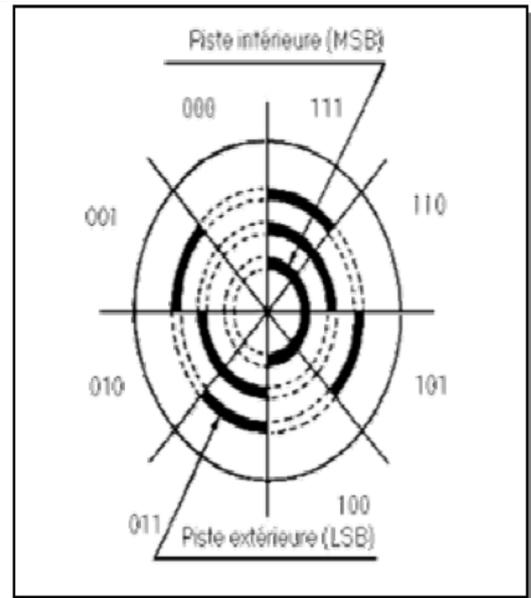
Pour connaître le sens de rotation du codeur, on utilise une deuxième piste B qui sera décalée par rapport à la première de 90° (1/4 de tour).

1.3.2 Codeur optique absolu :

Les codeurs absolus sont destinés à des applications de contrôle de déplacement et de positionnement d'un mobile par codage. Le disque du codeur comporte plusieurs pistes (jusqu'à 20). Chaque piste est alternativement opaque et transparente et possède son propre système de lecture (diode émettrice et diode réceptrice).

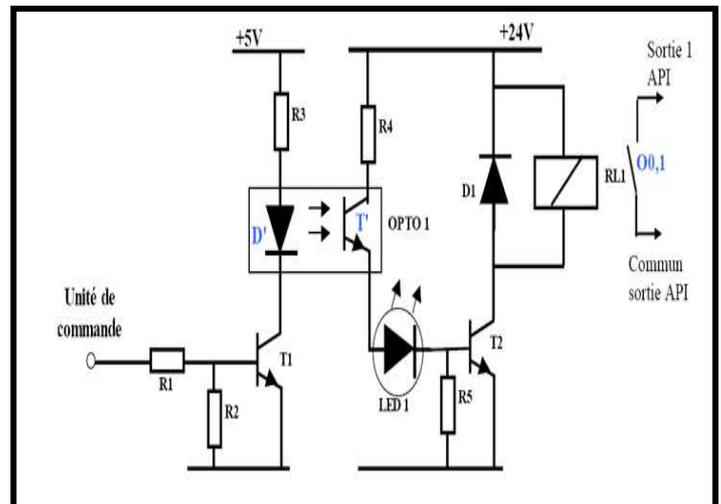
A chaque position angulaire de l'axe du codeur correspond un nombre binaire codé en GRAY. Dans ce code, il n'y a qu'un seul bit qui change à chaque fois pour éviter les aléas de fonctionnement. Avant toute utilisation, le mot fourni par le codeur doit donc être transcodé en binaire, car l'unité de traitement travaille en binaire pur.

La figure ci-contre montre les différentes combinaisons d'un codeur optique absolu binaire sur 3 bits:



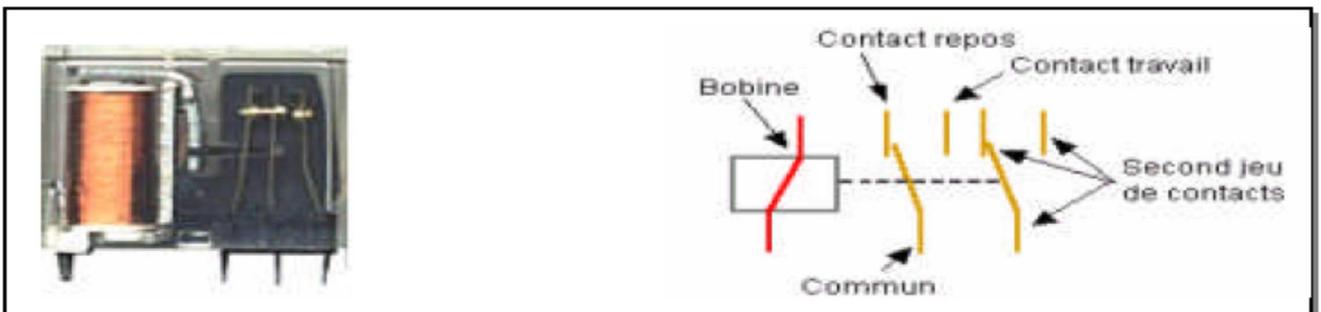
5. Les pré-actionneurs électriques

Les pré-actionneurs sont des constituants qui, sur ordre de la partie de commande, assurent la distribution de l'énergie de puissance aux actionneurs. Dans les circuits électriques, les pré-actionneurs sont généralement soit un relais, soit un contacteur. Le contacteur assure en plus l'extinction de l'arc électrique qui accompagne souvent la commutation de l'énergie de forte puissance. En effet, quand on ouvre un circuit en cours de fonctionnement, le contact en cause provoque un arc électrique qui peut être dangereux pour les biens et les personnes.



2.1. Le relais

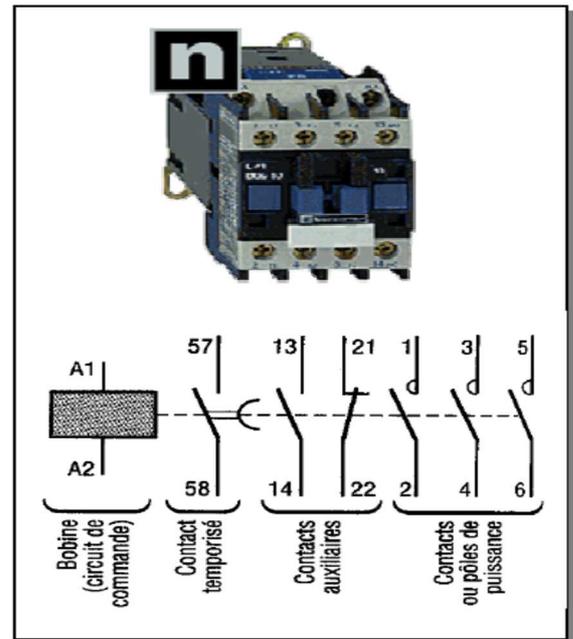
Le relais est un composant électrique réalisant la fonction d'interfaçage entre un circuit de commande, généralement bas niveau, et un circuit de puissance alternatif ou continu (Isolation galvanique). Un relais électromagnétique est constitué d'une bobine alimentée par le circuit de commande, dont le noyau mobile provoque la commutation de contacts pouvant être placé dans un circuit de puissance. Le relais électromagnétique est réservé pour les faibles puissances.



2.2. Le contacteur

Un contacteur est un relais électromagnétique particulier, pouvant commuter de fortes puissances grâce à un dispositif de coupure d'arc électrique. Sa commande peut être continue ou alternative. Sa constitution est comme suit :

- Des pôles principaux de puissance ;
- Un contact auxiliaire (avec possibilité d'ajouter au contacteur un bloc de contacts auxiliaires instantanés ou temporisés) ;
- une armature fixe et un autre mobile ;
- Un ressort de rappel ;
- Un circuit magnétique ;
- Une bobine de commande du contacteur. Si la bobine est alimentée elle attire l'armature mobile pour actionner les pôles de puissance ; Si elle n'est pas alimentée, un ressort de rappel ouvre les pôles de puissance.



Pour mettre en œuvre un contacteur on peut utiliser l'un des deux montages suivants :

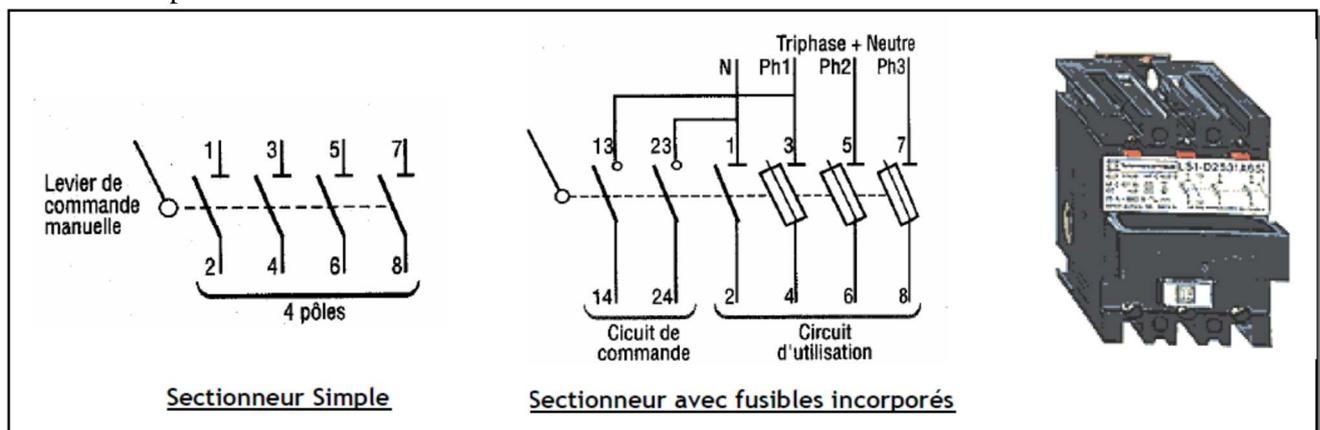


Si on appuie sur le bouton poussoir **MA** la bobine du contacteur est alimentée et ferme le contact **K**. Même si on relâche le bouton poussoir la bobine reste alimentée (**auto-maintien**). Pour couper l'alimentation il suffit d'ouvrir le bouton poussoir **AR**. Généralement, dans une chaîne d'énergie électrique, le pré-actionneur ne s'utilise pas seul, mais associé à une classe d'appareillage typique : sectionneur, relais thermique, etc.

2.3. Le sectionneur

Le sectionneur est un appareil de connexion qui permet *d'isoler* (séparer électriquement) un circuit pour effectuer des opérations de maintenance ou de modification sur les circuits électriques qui se trouvent en *aval*. Ainsi il permet d'assurer la sécurité des personnes qui travaillent sur le reste de l'installation en amont.

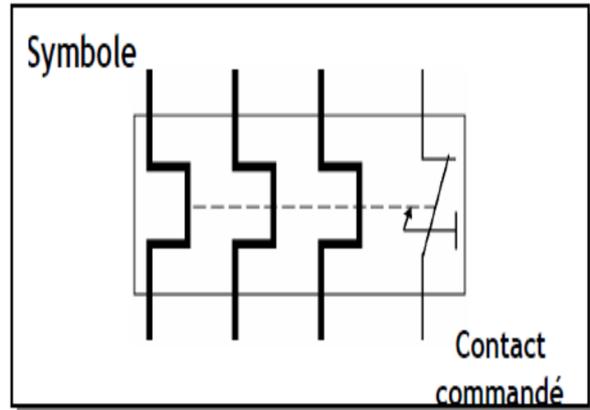
Le sectionneur ne possède aucun pouvoir de coupure, **par conséquent, il ne doit pas être manœuvré en charge**. On trouve également des sectionneurs qui servent en plus de porte-fusible. On les désigne par "Sectionneurs porte-fusible"



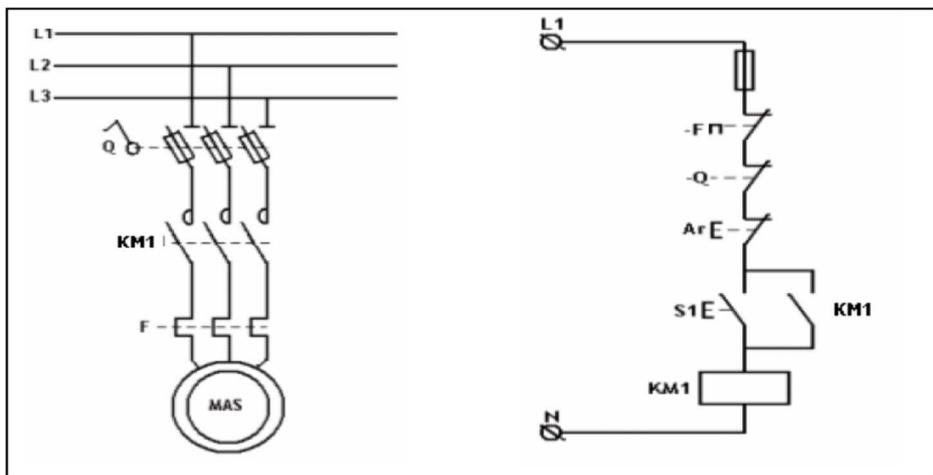
2.4. Le relais thermique

Le relais thermique est un appareil de protection capable de protéger contre les surcharges prolongées. Une surcharge est une élévation anormale du courant consommé par le récepteur (**1 à 3 In**), mais prolongée dans le

temps, ce qui entraîne un échauffement de l'installation pouvant aller jusqu'à sa destruction. Le temps de coupure est inversement proportionnel à l'augmentation du courant.



Pour distribuer l'énergie vers l'actionneur, typiquement un moteur triphasé, le schéma suivant est généralement adopté.

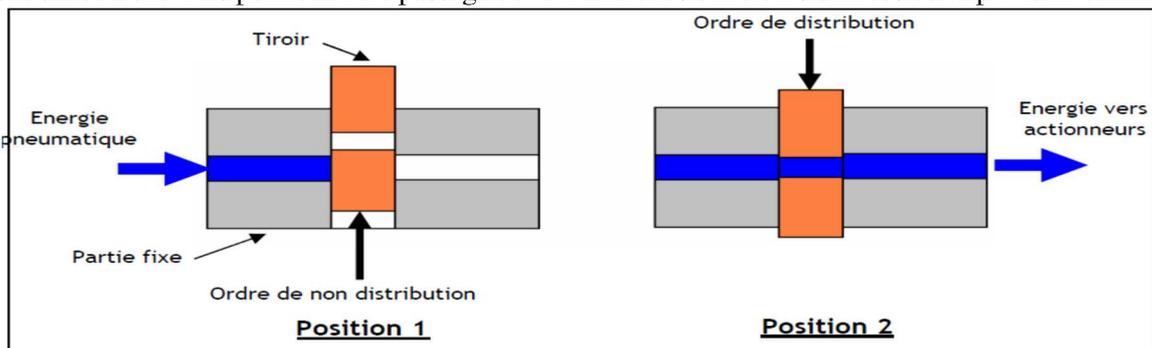


6. Les pré-actionneurs pneumatiques

Ils ont pour fonction essentielle de distribuer l'air sous pression aux différents orifices des **actionneurs pneumatiques**. Comme le contacteur est associé à un moteur électrique, le distributeur est le pré-actionneur associé à un vérin pneumatique :

3.1. Constituants d'un distributeur :

On peut comparer un distributeur à un robinet que l'on ouvre et fermer non pas à la main, mais par des ordres donnés par la PC. Il est constitué d'une partie fixe (le corps) et d'une partie mobile (le tiroir) qui peut se déplacer à l'intérieur de la partie fixe selon un ordre direct (manuelle) ou indirecte (provenant de la PC). Le tiroir est doté de conduites permettant le passage de l'air entre les différents orifices de la partie fixe.

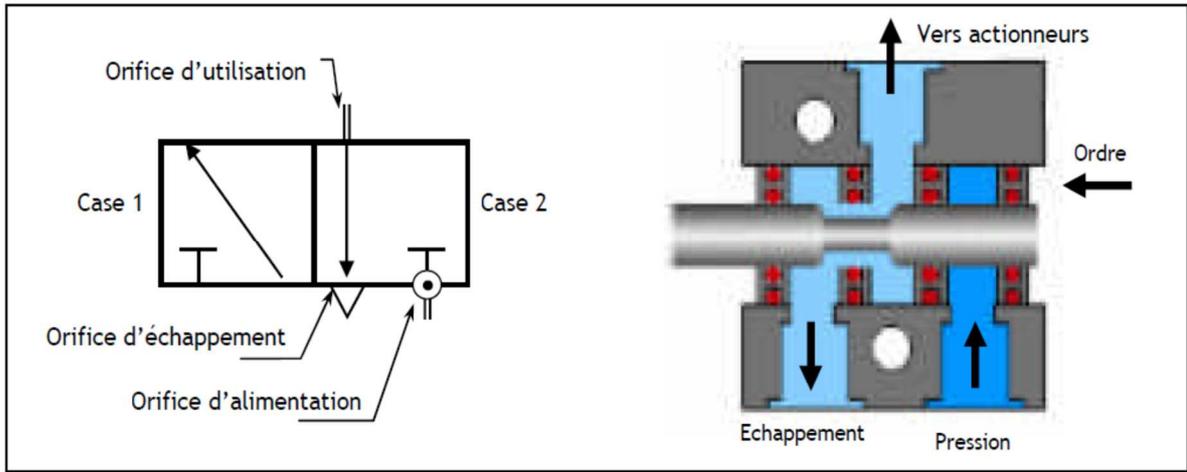


3.2. Les principaux distributeurs pneumatiques:

Un distributeur est caractérisé :

- **Par son nombre d'orifices**, c'est à dire le nombre de liaisons qu'il peut avoir avec son environnement (arrivée, sortie(s) et échappement de la pression) ;
- **Par son nombre de positions** que peut occuper le tiroir.

Le nom et la représentation d'un distributeur découlent de ces deux caractéristiques. Chaque position est symbolisée par un carré dans lequel figurent les voies de passage de l'air comprimé :



Exemples :

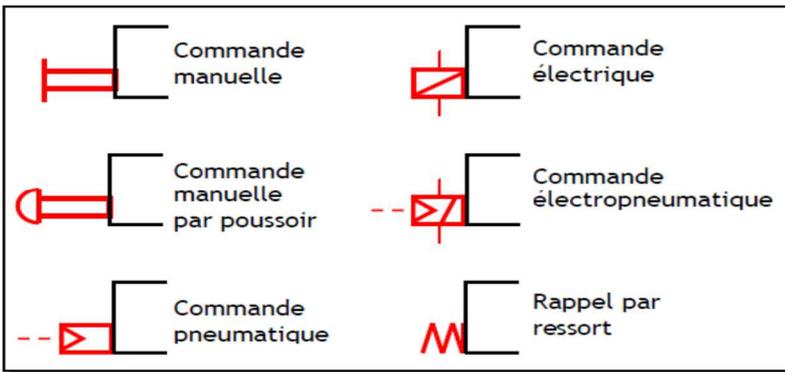
<p>Distributeur 3/2</p> <ul style="list-style-type: none"> • En position repos, l'orifice d'alimentation du vérin est relié à l'orifice d'échappement : la tige est maintenue donc rentrée ; • En position travail, provoquée par un ordre de la PC, l'orifice d'alimentation du vérin est mis en liaison avec la source d'air comprimé. Par conséquent, la tige sort. 	
<p>Distributeur 5/2</p> <p>Suivant la position occupée, l'air comprimé est verrouillé vers l'un des deux orifices d'alimentation du vérin tandis que l'autre est à l'échappement.</p>	

3.3. Les dispositifs de commande :

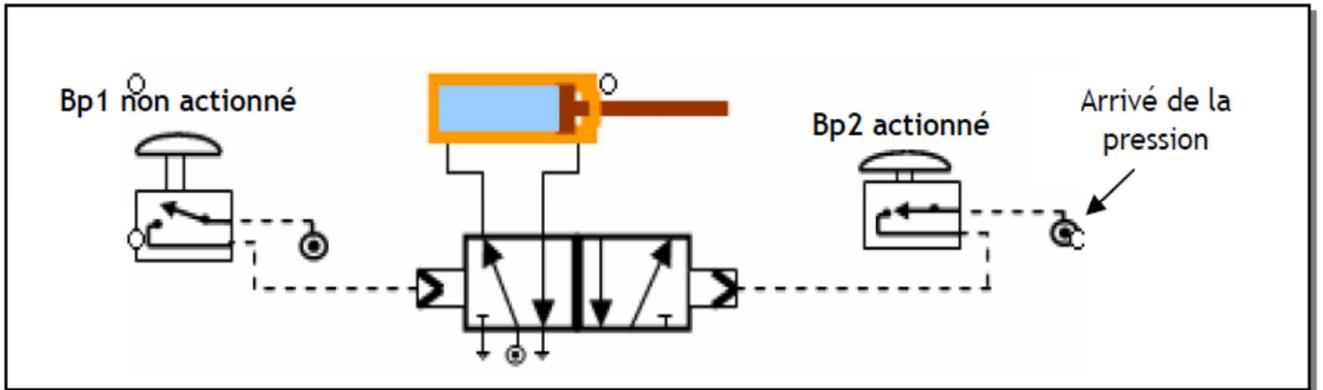
La commande du distributeur a pour fonction de positionner le tiroir dans une position ou dans l'autre. Elle peut être électromagnétique, pneumatique, électropneumatique ou manuelle. On parle :

- D'un distributeur monostable si le retour du tiroir à sa position initiale est assuré par un ressort de rappel ;
- D'un distributeur bistable si le tiroir reste dans l'état que lui a imposé le dernier ordre envoyé par la PC complétée par un ou plusieurs symboles schématisant la technologie utilisée.

La figure suivante donne la schématisation des différents dispositifs de commande :



Exemple: distributeur à pilotage pneumatique



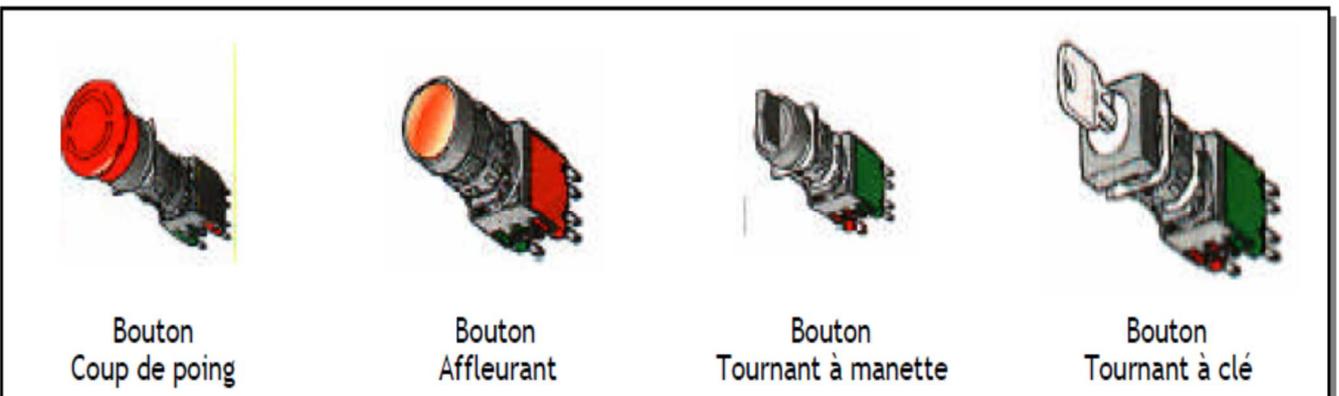
7. Interface Homme/Machine (IHM) :

L'interface Homme/Machine en entrée est une fonction de communication indispensable pour bien gérer un système automatisé. Il consiste à transmettre au système automatisé les ordres de l'opérateur qu'on désigne par "consignes". Le dialogue Homme/Machine se fait par l'utilisation de constituants regroupés dans ce qu'on appelle « pupitre » de commande.

4.1. Les boutons poussoirs :

Les boutons poussoirs constituent l'interface de dialogue privilégiée lorsque les informations transférées vers le système sont peu nombreuses et limitées à des signaux Tout Ou Rien (TOR). Parmi les boutons poussoirs utilisés, on distingue :

- Les boutons " coup de poing " à accrochage pour les arrêts d'urgence ;
- Les boutons poussoirs affleurant ;
- Les boutons tournants à manette ;
- Les boutons tournants à clé.



4.2. Les claviers :

Les claviers de saisie permettent l'introduction d'informations alphanumériques et la modification de données et paramètres comme le nombre de pièces à fabriquer ou les coordonnées d'une pièce à usiner, etc.



4.3. Les terminaux d'exploitation :

Un terminal d'exploitation est un constituant de dialogue permettant les premières mises en œuvre du système automatisé. Il est lié temporairement à la partie commande (automate programmable) pour introduire des codes et des paramètres décrivant le processus étudié.

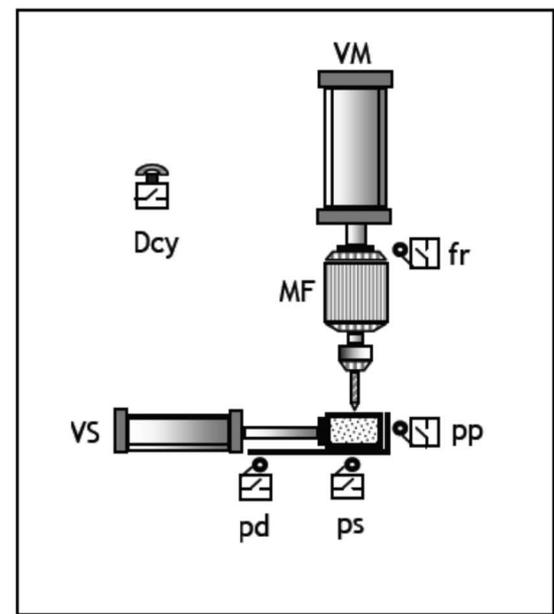


Chapitre 3 :

Le GRAFCET

Introduction

La représentation graphique permet de décrire le fonctionnement séquentiel d'un système automatisé sans ambiguïté et d'une façon compréhensible par toutes les catégories de personnel : de l'ingénieur au technico-commercial. En effet, l'œil humain est capable de saisir, d'un regard, une évolution séquentielle représentée graphiquement. Parmi les méthodes possibles, on trouve l'organigramme ou le **GRAFCET** qui provient de **GRAPhe Fonctionnel de Commande par Etapes et Transitions**. Il est normalisé sur le plan international, depuis 1988 sous le nom de « **Sequential Function Chart (SFC)** » (norme **CEI 848**). Pour illustrer les notions de base du GRAFCET, on se basera sur le système de perçage automatisé, décrit ci-dessous :



Perceuse automatisée

- L'appui sur le bouton Départ cycle (Dcy) lance le cycle ;
- Le vérin de serrage (VS) déplace la pièce pour la serrer ; le capteur (ps) indique que la pièce est serrée ;
- Le moteur supportant le forêt (MF) commence à tourner et le vérin (VM) pousse le moteur vers le bas ;
- Le perçage de la pièce commence et le capteur (pp) indique que la pièce est percée ;
- Alors le vérin VM remonte ; quand le capteur (fr) est actionné, cela indique que le forêt est retourné ;
- Le moteur MF et le vérin VM sont arrêtés ;
- Le vérin VS retourne dans l'autre sens ; le capteur (pd) indique que la pièce est desserrée ;
- On revient alors à l'état initial.

Note : Pour la clarté, les noms des capteurs sont en minuscule et ceux des actionneurs sont en majuscule.

Fonctionnement du système

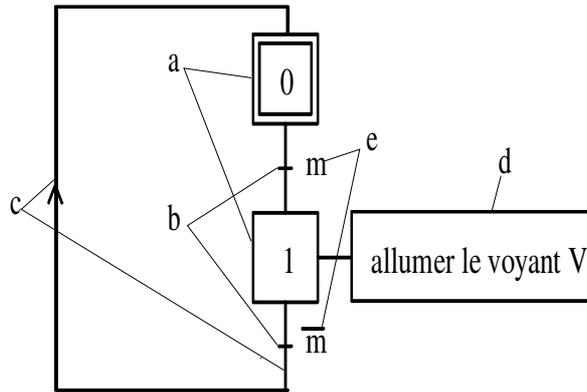
Le GRAFCET permet de décrire graphiquement, d'une manière simple et claire, le comportement séquentiel d'un système automatisé à partir de la connaissance des actions à entreprendre.

Les niveaux du GRAFCET:

- **Niveau 1** : spécifications fonctionnelles. Les tâches à réaliser par le système sont décrites sans préjuger de la technologie.
- **Niveau 2** : spécifications technologiques et opérationnelles. La technologie des capteurs et actionneurs est spécifiée ainsi que les différents modes de fonctionnement et les conditions de sécurité.
- **Niveau 3** : documentations relatives au système (utilisation, entretien, dépannage).
- **Autre niveau** : Clauses juridiques, commerciales et financières.

1. Structure d'un GRAFCET :

Le GRAFCET est constitué de :

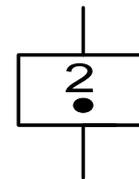


2. Les constituants graphiques du GRAFCET :

2.1. Les étapes

- Une étape correspond à une situation dans laquelle le comportement de la PC est invariant vis-à-vis des entrées et des sorties.
- Une étape peut être soit active, soit inactive mais pas entre les deux.
- Les étapes qui sont actives quand le système est au repos sont appelées étapes initiales. On les repère en doublant les cotés des symboles d'étapes correspondants.

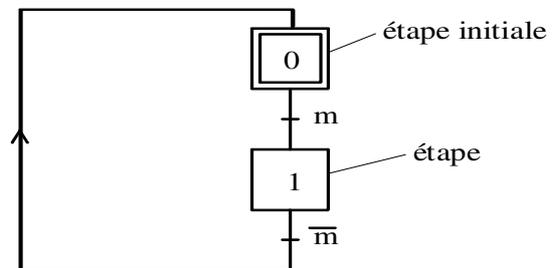
S'il est nécessaire de préciser à un instant donné une étape i active, un point est placé comme ci-contre.



Exemple :

Au départ, l'étape initiale **0** est active et l'étape 1 est inactive.

Quand on appuie sur le bouton poussoir **m**, l'étape initiale devient inactive tandis que la **1** est activée.

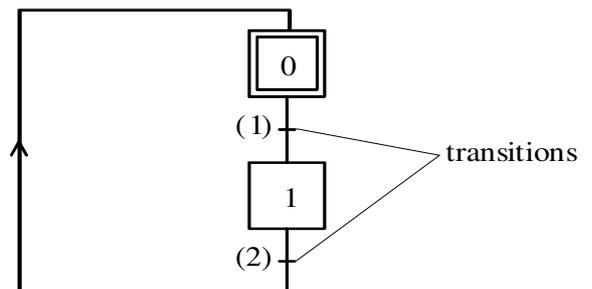


2.2. Les transitions

- Une transition entre 2 étapes indique la possibilité de passage de l'étape précédent la transition à celle qui la suit.
- Quand toutes les étapes qui précèdent une transition sont actives, cette transition est dite validée.

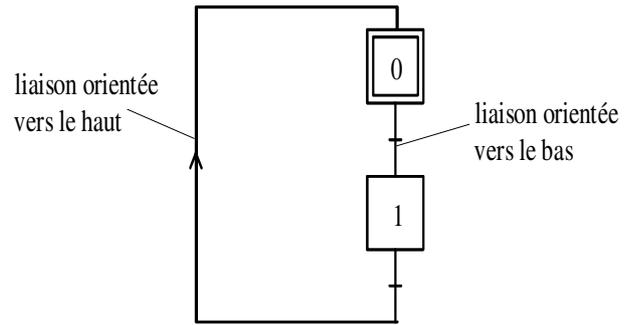
Au repos l'étape initiale **0** est active et l'étape **1** est inactive.

La transition (1) est donc validée tandis que la (2) ne l'est pas.



2.3. Les liaisons orientées

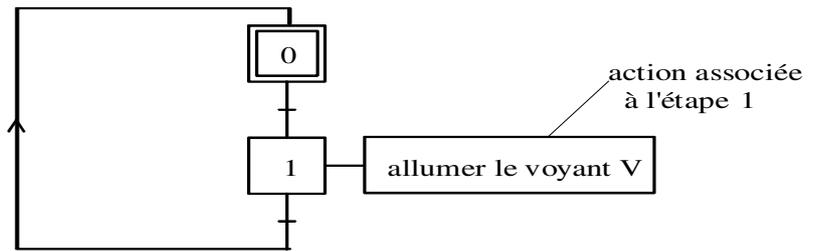
- Ce sont elles qui relient les étapes et les transitions du GRAFCET.
- Une liaison orientée qui ne comporte pas de flèche, va toujours vers le bas.
- Si on veut qu'une liaison orientée 'remonte' un GRAFCET, il faut lui adjoindre une flèche vers le haut.



2.4. Les actions associées à une étape

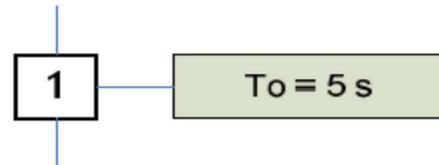
Ce sont les actions que doit effectuer le système quand l'étape associée est active.

Quand l'étape 1 est active, le voyant V est allumé.

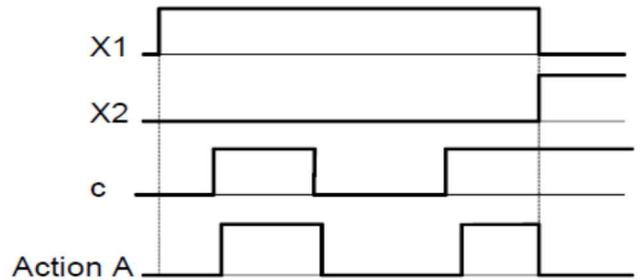
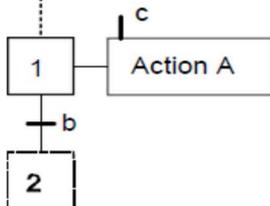


Les actions peuvent être internes correspondantes à des fonctions qui n'agissent pas sur la PO, telles qu'une temporisation, un comptage, etc.

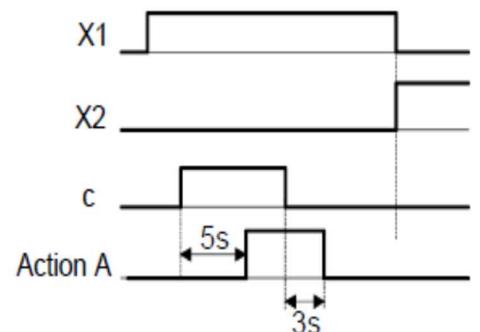
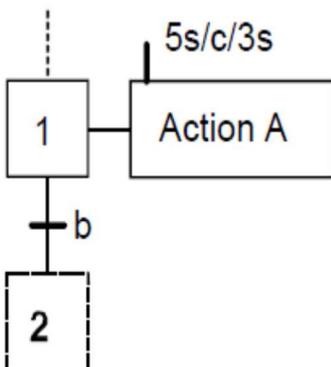
Exemple : Lancer une temporisation de 5 s.



Une proposition logique, appelée condition d'assignation, qui peut être vraie ou fausse, conditionne l'action continue. La condition d'assignation ne doit jamais comporter de front de variables d'entrées et/ou de variables internes.

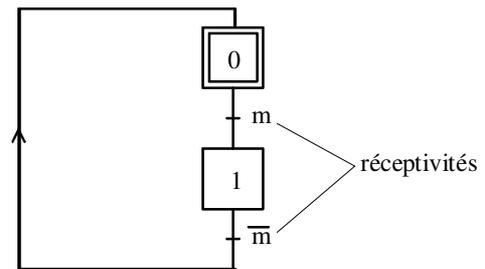


La condition d'assignation n'est vraie que 5 secondes après que « c » passe de l'état 0 à l'état 1 (front montant de c) ; elle ne redevient fausse que 3 secondes après que « c » passe de l'état 1 à l'état 0 (front descendant de c).



2.5. Réceptivité associée aux transitions

C'est une équation logique qui définit la possibilité du passage d'une étape à la suivante quand la transition associée est validée.

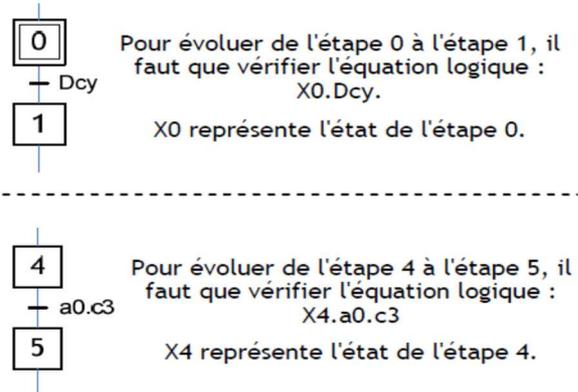


La réceptivité est une fonction booléenne telle que l'état :

- D'un capteur ;
- D'un bouton de l'Interface Homme/Machine ;
- D'une temporisation ;
- D'une étape, etc.

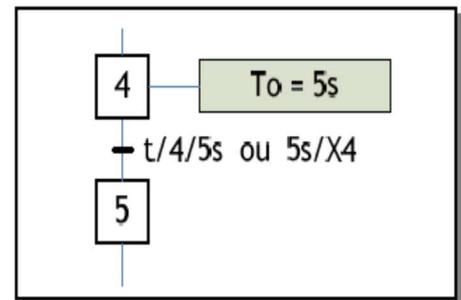
Pour franchir une étape, il faut que :

- La transition soit validée ;
- **ET** la réceptivité soit vraie.



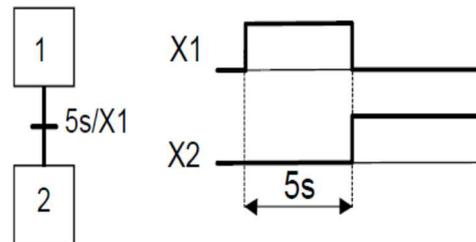
Cas particuliers : Il y a des cas particuliers de réceptivité, on en cite quelques une :

- **Temporisation :** Pour faire intervenir le temps dans une réceptivité, il suffit d'indiquer après le repère "t" son origine et sa durée. L'origine sera l'instant de début de l'activation de l'étape déclenchant la temporisation. La notation $t/4/5s$ signifie que la réceptivité sera vraie 5 secondes après l'activation de l'étape repérée 4. La notation normalisée s'écrit $5s/X4$.



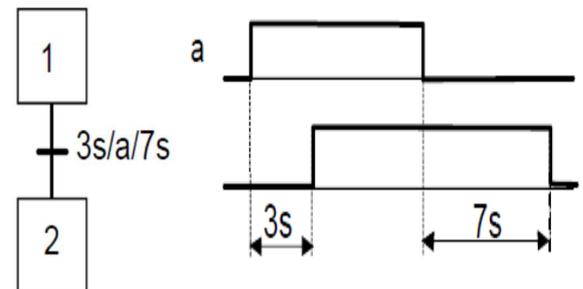
- **Exemple 1 :** forme simplifiée

La durée d'activité de l'étape 1 est de 5 s.



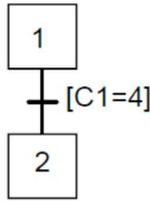
- **Exemple 2 :** forme générale
La notation est de la forme « $t1/variable/t2$ ».

La réceptivité n'est vraie que 3s après que « a » passe de l'état 0 à l'état 1, elle ne redevient fausse que 7s après que « a » passe de l'état 1 à l'état 0.



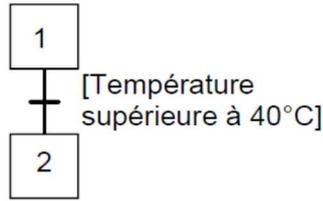
- **Valeur booléenne d'un prédicat :** Un prédicat est une expression contenant une ou plusieurs variables et qui est susceptible de devenir une proposition vraie ou fausse.

Exemple 1



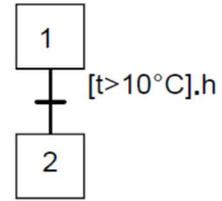
La réceptivité est vraie lorsque la valeur courante du compteur est égale à 4.

Exemple 2



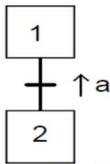
Le langage littéral peut être utilisé.

Exemple 3

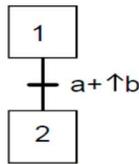


La réceptivité est vraie lorsque la température est supérieure à 10°C et le niveau haut h est atteint.

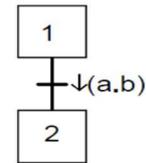
• **Front montant et descendant d'une variable logique**



La réceptivité n'est vraie que lorsque a passe de l'état 0 à l'état 1

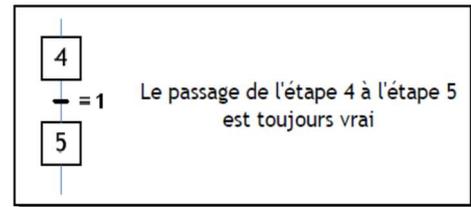


La réceptivité n'est vraie que lorsque a est vraie ou que b passe de l'état 0 à l'état 1



La réceptivité n'est vraie que lorsque le produit logique « a.b » passe l'état 1 à l'état 0

- **Réceptivité toujours vraie** : une telle réceptivité s'écrit « = 1 ». Le franchissement de cette transition se fera dès que la ou les étapes immédiatement antérieures seront actives sans autre condition.



3. Les règles d'évolution d'un GRAFCET :

Règles N° 1 : Situation initiale

L'initialisation précise l'étape ou les étapes actives au début du fonctionnement. Elle caractérise le comportement initial de la partie commande vis-à-vis de la partie opérative. Les étapes initiales sont activées inconditionnellement en début de cycle.

Règles N° 2 : Franchissement d'une transition

Une transition est validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes sont actives. Elle ne peut alors être franchie que :

- Lorsqu'elle est validée;
- ET que la réceptivité associée à la transition est vraie.

Règles N° 3 : Evolution des étapes actives

Le franchissement d'une transition entraîne l'activation simultanée de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.

Règles N° 4 : Transitions simultanées

Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies.

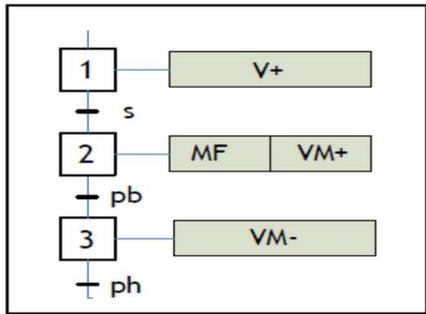
Règles N° 5 : Activation et désactivation simultanées

Une étape à la fois activée et désactivée reste active.

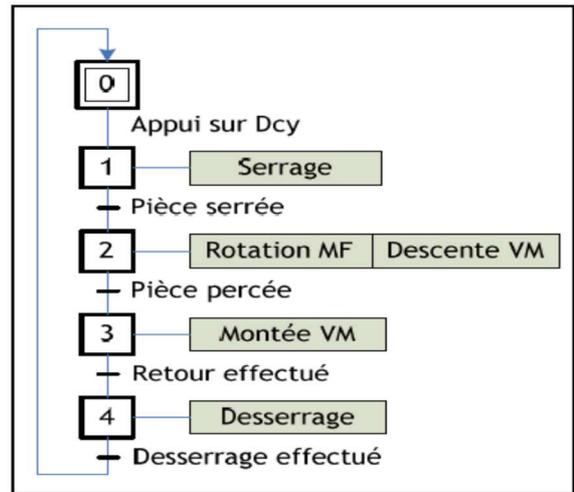
4. Structures de base d'un GRAFCET :

4.1- La séquence linéaire :

Une séquence linéaire est composée d'un ensemble d'étapes successives où chaque étape est suivie d'une seule transition et chaque transition n'est validée que par une seule étape.



Exemple : Perceuse automatisée



4.2- Les séquences simultanées :

Lorsque le franchissement d'une transition conduit à activer simultanément plusieurs séquences d'étapes, on obtient des séquences simultanées qui s'exécuteront parallèlement mais indépendamment. C'est-à-dire, l'évolution de chacune des séquences d'étapes dépendra des conditions d'évolution du système automatisé.

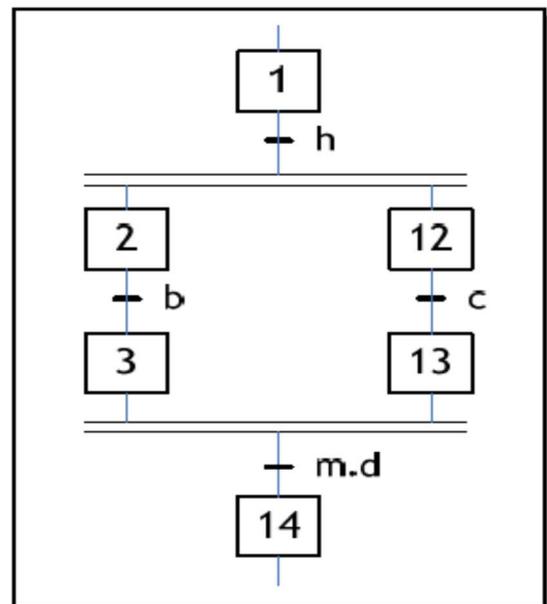
Pour représenter la structure des séquences simultanées, on utilise deux traits parallèles pour indiquer le début et la fin des séquences.

- La transition 'h', qui possède 2 étapes de sortie, représente l'exécution en parallèle de plusieurs séquences. On appelle cette structure **divergence en ET** :

Si l'étape 1 est active et la réceptivité $h = 1$, les étapes 2 et 12 sont activées simultanément.

- La transition 'm.d', qui possède plusieurs étapes d'entrée, représente la synchronisation de plusieurs séquences. On appelle cette structure **convergence en ET**:

Si les 2 étapes 3 et 13 sont actives et la réceptivité $m.d = 1$, l'étape 14 est activée.



4.3- Sélection de séquences :

Une structure alternative permet d'effectuer un choix unique d'évolution entre plusieurs étapes en aval à partir d'une seule étape en amont. Pour représenter la structure alternative, on utilise un simple trait horizontal pour indiquer le début et la fin des séquences.

De l'étape 1 :

- On active l'étape 2 si la réceptivité $b = 1$ et $a = 1$;

OU

- On active l'étape 12 si la réceptivité $b = 1$ mais $a = 0$.

On appelle cette structure divergence en OU.

Il est à noter que les branches d'une divergence en OU doivent avoir des réceptivités exclusives, c'est-à-dire ne peuvent pas être vraies simultanément.

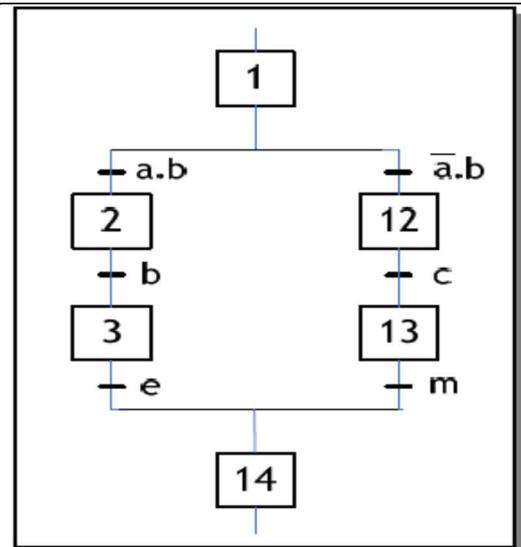
L'activation de l'étape 14 peut provenir :

- De l'étape 3 si elle est active et $e = 1$;

OU

- De l'étape 13 si elle est active et $m = 1$.

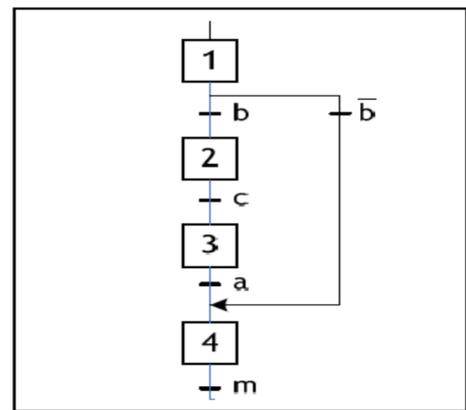
On appelle cette structure convergence en OU.



4.4- Le saut d'étapes :

Le saut d'étape, appelée aussi **saut en avant**, représente un saut conditionnel permettant de sauter plusieurs étapes pour activer une étape en aval dans la séquence.

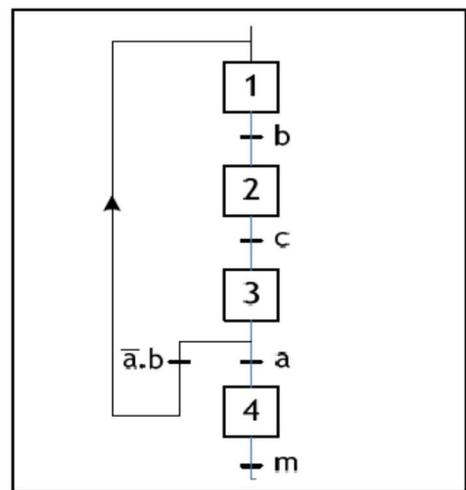
Dans l'exemple ci-contre, il y a un saut de l'étape 1 à l'étape 4 mais conditionné par la réceptivité b .



4.5- Structure répétitive :

Une structure répétitive, appelée aussi **une reprise de séquence** ou **saut en arrière**, est un saut conditionnel permettant la reprise d'une séquence plusieurs fois (boucle) tant qu'une condition logique fixée n'est pas obtenue.

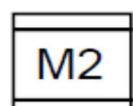
Il y a reprise des étapes 1, 2 et 3 tant que la réceptivité a n'est pas obtenue. On dit aussi que c'est un saut d'étape 3 à 1 par la réceptivité $a̅.b$



4.6- Structuration par macro-étapes

Avec la notion de macro-représentation, on se donne le moyen de reporter à plus tard ou sur une autre page la description détaillée de certaines séquences.

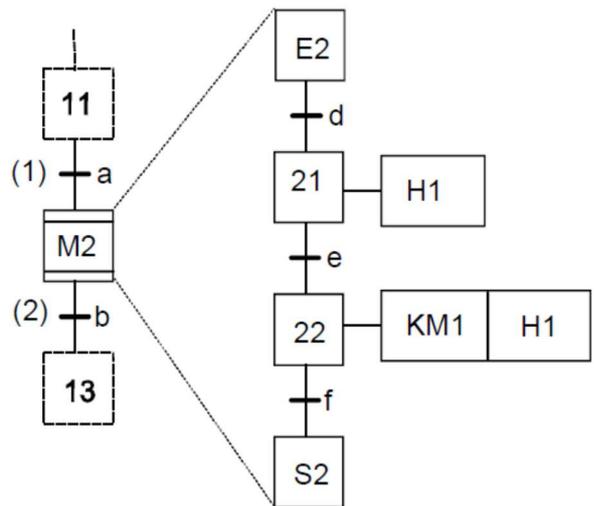
La macro-étape est la représentation unique d'un ensemble d'étapes et de transitions nommé expansion de macro-étape.



Exemple d'une macro étape M2 représentée avec son expansion :

L'expansion de la macro-étape commence par une seule étape d'entrée et se termine par une seule étape de sortie, étapes qui représentent les seuls liens possibles avec le GRAFCET auquel elle appartient.

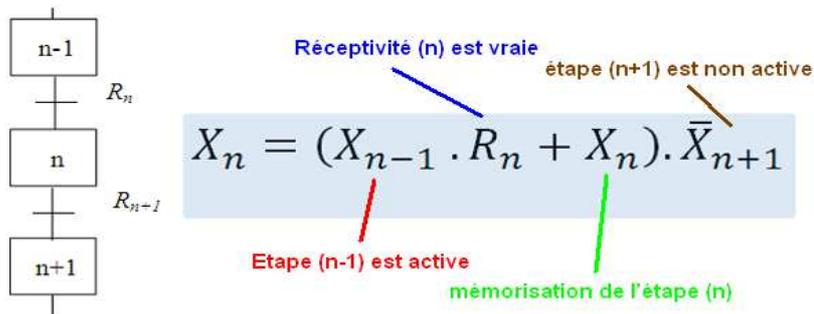
- Le franchissement de la transition (1) active l'étape E2.
- La transition (2) ne sera validée que lorsque l'étape S2 sera active.
- Le franchissement de la transition (2) désactive l'étape S2.



4.7- Mise en équation d'un GRAFCET :

Pour qu'une étape soit activée il faut que :

- L'étape immédiatement précédente soit active ;
- La réceptivité immédiatement précédente soit vraie ;
- L'étape immédiatement suivante soit non active ;
- Après activation l'étape mémorise son état.



Equation d'activation de l'étape de rang n

Chapitre 4 :

L'Automate Programmable Industriel

Introduction

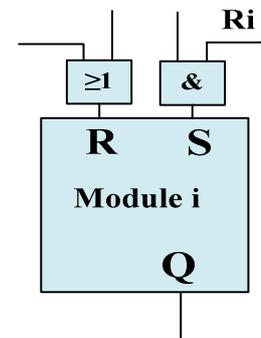
La matérialisation d'un GRAFCET peut être réalisée de deux façons :

- **Logique câblée** à base de bascules : elle est simple et adaptée à des petits systèmes figés ;
- **Logique programmée** à base d'ordinateur, de microcontrôleur ou d'automate programmable industriel (API) : cette solution a l'avantage d'être flexible et évolutive puisqu'elle s'adapte facilement à tout changement du système par un simple changement de programme.

25

1. Logique câblée

L'élément de base dans cette logique est la **bascule SR**, associée à une porte **ET**, à l'entrée Set et une porte **OU** à l'entrée Reset. L'ensemble forme un « **module d'étape** ou **séquenceur** ». Chaque étape sera matérialisée par ce module de base :



- **i** indique une étape **i** ;
- **Ri** indique la réceptivité associée à l'étape **i**.

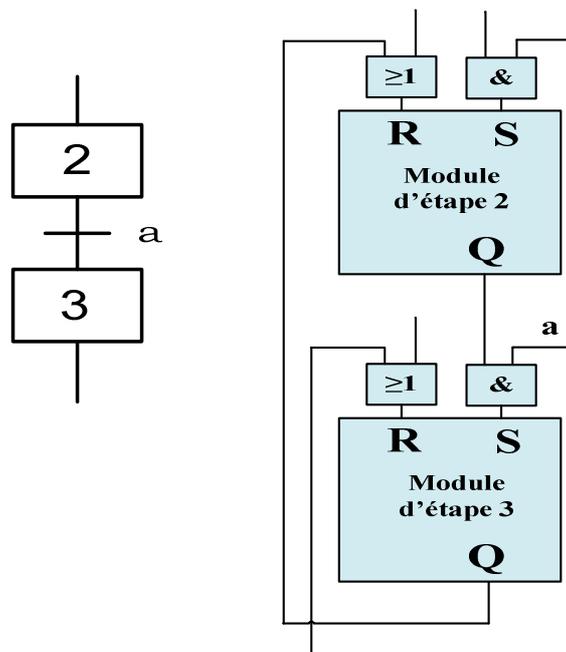
L'action Reset étant prioritaire.

Principe :

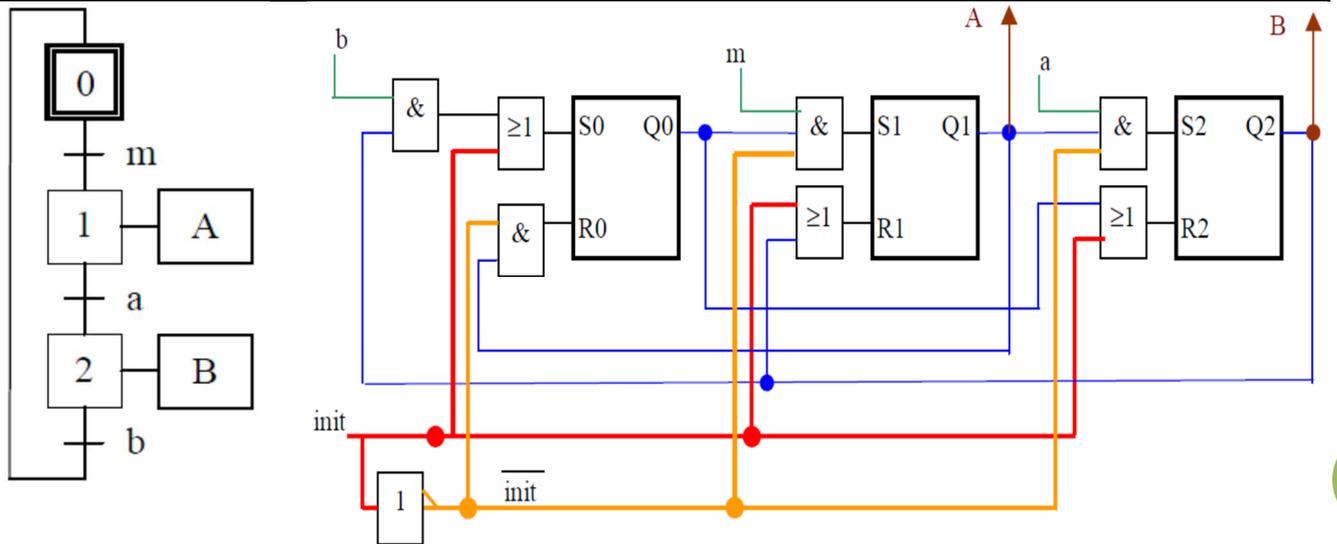
Pour matérialiser un GRAFCET, on associe à chaque étape un module d'étape ; en effet, dans un GRAFCET, une étape :

- Est activée (action Set) par la condition (Étape précédente ET réceptivité vraie) ;
- Reste activée même si la condition (Étape précédente ET réceptivité vraie) devient fausse ;
- Est désactivée (action Reset) si l'étape suivante est activée.

Ce fonctionnement est donc traduit par le schéma ci-contre où on remarque que l'activation de l'étape **3** provoque automatiquement la désactivation de l'étape **2**



Exemple : GRAFCET linéaire



Remarque : Si une sortie est active pour plusieurs sorties, son équation se détermine :

- En cherchant toutes les étapes où cette sortie est active ; **et**
- En liant les sorties Q des bascules (X) associées à ces étapes par un opérateur logique OU.

Inconvénient de la logique câblée :

- Câblage complexe lors de grand ensemble.
- Modification ou évolution difficile et parfois impossible.

2. Automate Programmable Industriel :

Un Automate Programmable Industriel (API) est une machine électronique programmable destinée à piloter, en ambiance industrielle et en temps réel, des procédés industriels. Le développement de l'industrie a entraîné une augmentation constante des fonctions électroniques présentes dans un automatisme c'est pour ça que l'API s'est substitué aux armoires à relais en raison de sa souplesse et de son coût.

2.1 Structure interne d'un automate programmable industriel (API) :

Les API comportent quatre principales parties :

- Une unité de traitement (un processeur CPU);
- Une mémoire ;
- Des modules d'entrées-sorties ;
- Des interfaces d'entrées-sorties ;
- Une alimentation 230 V, 50/60 Hz (AC) - 24 V (DC).

La structure interne d'un automate programmable industriel (API) est assez voisine de celle d'un système informatique simple, L'unité centrale est le regroupement du processeur et de la mémoire centrale. Elle commande l'interprétation et l'exécution des instructions programme. Les instructions sont effectuées les unes après les autres, séquencées par une horloge.

L'unité de traitement : Elle réalise toutes les fonctions logiques et arithmétiques à partir d'un programme contenu dans sa mémoire : elle lit et écrit dans la mémoire et actualise les sorties. Elle est connectée aux autres éléments (mémoire et interface E/S) par un "Bus" parallèle qui véhicule les informations entre ces éléments.

La mémoire : Elle permet :

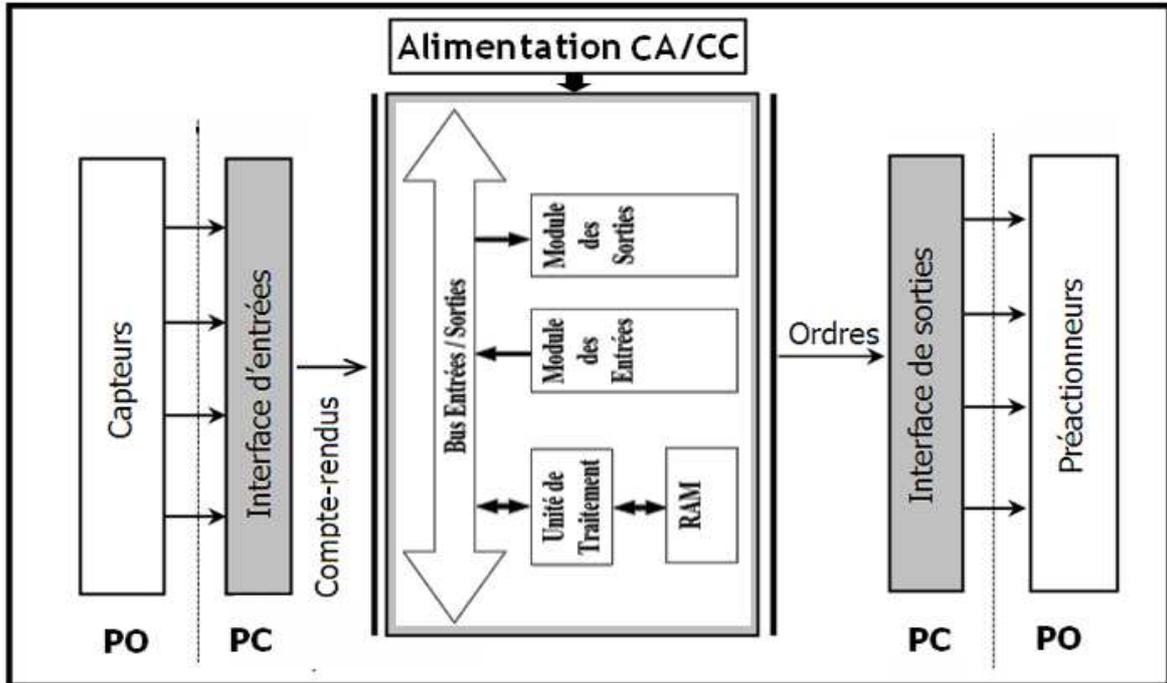
- De recevoir les informations issues des entrées;
- De recevoir les informations générées par le processeur et destinées à la commande des sorties (valeur des sorties, des temporisations, etc.) ;
- De recevoir et conserver le processus.

Les interfaces d'entrées/sorties :

- Les entrées reçoivent des informations en provenance des éléments de détection et du pupitre opérateur;
- Les sorties transmettent des informations aux pré-actionneurs et aux éléments de signalisation du pupitre.

L'automate programmable **reçoit** les informations relatives à l'état du système et puis **commande** les pré-actionneurs suivant le programme inscrit dans sa mémoire.

La structure interne d'un API est représentée par la figure suivante :



Il existe deux types d'automate programmable industriel:

- Le type **monobloc**
- Le type **modulaire**

2.1.1 - Automate Monobloc (Compacts):

Le type **monobloc** possède généralement un nombre d'entrées et de sorties restreint et son jeu d'instructions ne peut être augmenté. Bien qu'il soit parfois possible d'ajouter des extensions d'entrées/sorties, le type monobloc a pour fonction de résoudre des automatismes simples faisant appel à une logique séquentielle et utilisant des informations tout-ou-rien.

SIEMENS LOGO	CROUZET MILLENIUM	SCHNEIDER ZELIO	SCHNEIDER TWIDO	MOELLER PS4

2.1.2 - Automate Modulaire:

Le type **modulaire** est adaptable à toutes situations. Selon le besoin, des modules d'entrées/sorties analogiques sont disponibles en plus de modules spécialisés tels: PID, BASIC et Langage C, etc. La modularité des API permet un dépannage rapide et une plus grande flexibilité.

SIEMENS S7-300	SCHNEIDER TSX 37	MOELLER	SCHNEIDER TSX 57
			

2.2 Les Langages de programmation graphiques:

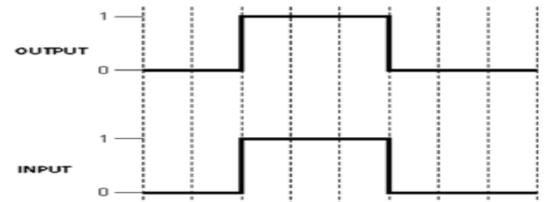
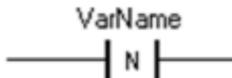
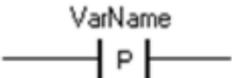
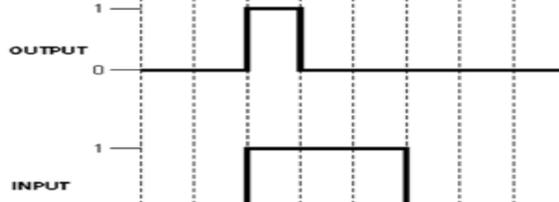
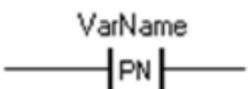
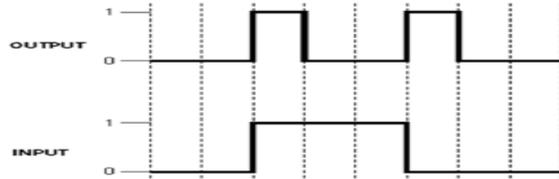
a) LADDER (Langage à contacts)

Un programme en langage à contacts est composé d'une suite de réseaux de contacts exécutée de façon séquentielle par l'automate :

Dessiné entre deux barres de potentiel, un réseau est un ensemble d'éléments graphiques représentant :

- les entrées/sorties de l'automate (boutons-poussoirs, détecteurs, relais, voyants...),
- des fonctions d'automatismes (temporisateurs, compteurs...),
- des opérations arithmétiques, logiques et spécifiques,
- les variables internes de l'automate.

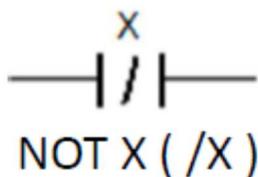
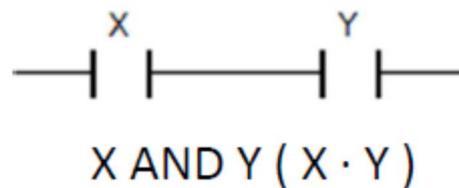
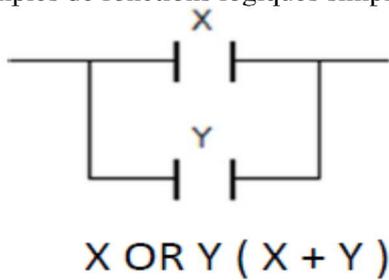
Ces éléments graphiques sont reliés entre eux par des connexions horizontales et verticales.

Les entrées (ou contacts)		
Le contact normalement ouvert		
Le contact normalement fermé		
Le contact sur front descendant		
Le contact sur front montant		
Le contact sur front montant/descendant		

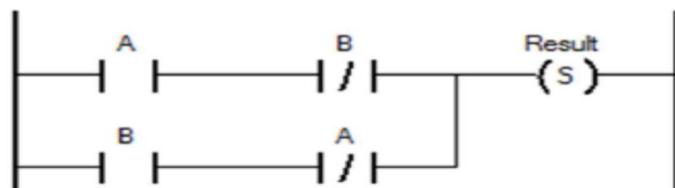
Les sorties (ou bobines)		
La bobine normalement ouverte		
La bobine normalement fermée		
La bobine SET (S)		
La bobine RESET (R)		
La bobine sur front montant		
La bobine sur front descendant		
La bobine sur front montant/descendant		

Les blocs		
Temporisateur		<p>TON : retard à l'enclenchement IN : Entrée Q : Sortie temporisateur % TM : label du temporisateur.</p>
Compteurs/ Décompteur		<p>% Ci : label du compteur / décompteur R : Entrée remise à zéro. S : Entrée de présélection. Cu : Entrée incrémentation sur front CD : Entrée décrémentation sur front E : Bit sortie débordement D : Bit sortie présélection atteinte F : Bit sortie débordement (total)</p>
Séquenceur ou programmateur cyclique.		<p>R : Remise à zéro U : Entrée « avance » pas. LEN : Nombre de pas.</p>
Opérations		<p>Ce bloc permet d'effectuer toutes les autres opérations à savoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Addition - Sous traction - Division - Multiplication - Comparaison

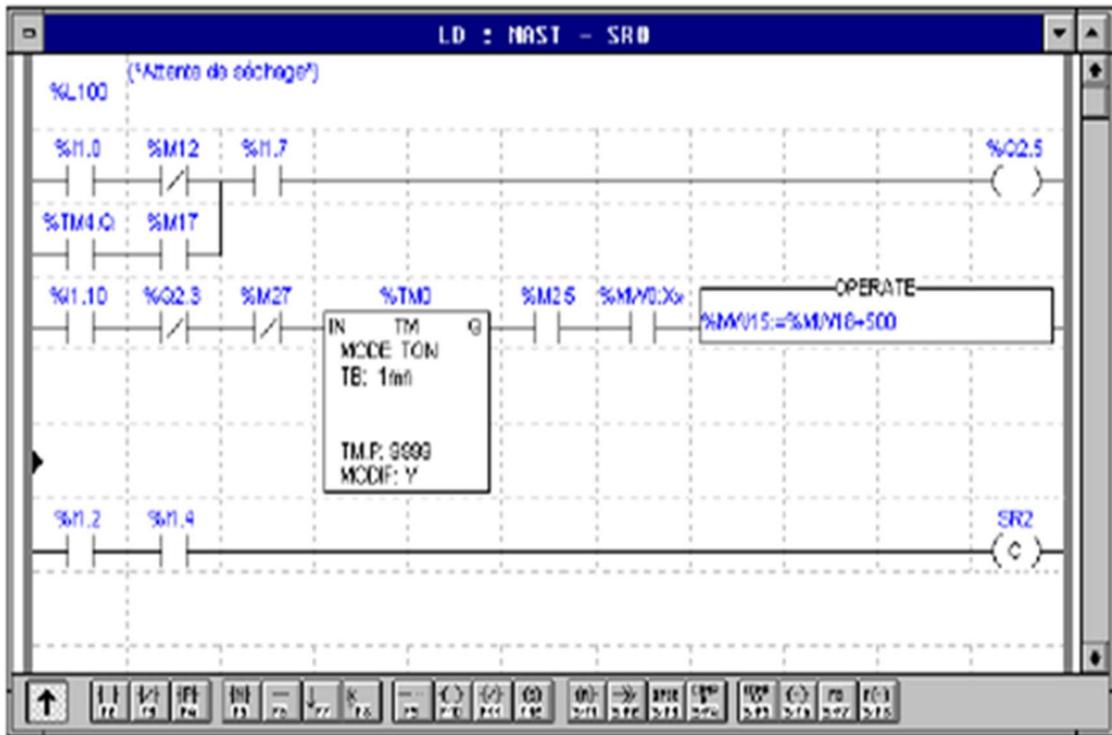
Exemples de fonctions logiques simples :



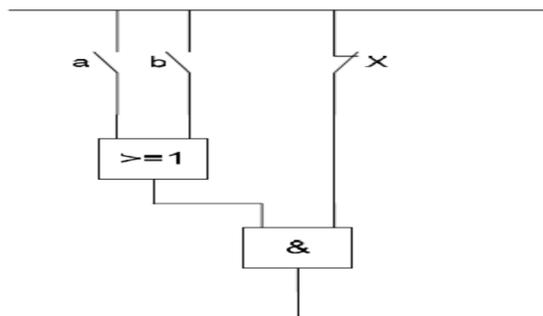
XOR (eXclusive OR) :



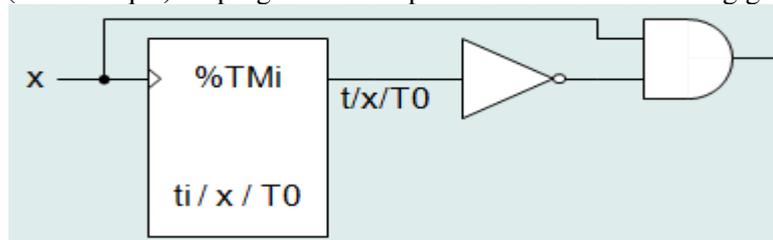
Exemple de programme :



b) Logigramme (FBD : Fonction Block Diagram)



Des blocs programmés (bibliothèque) ou programmables peuvent être associés au logigramme :

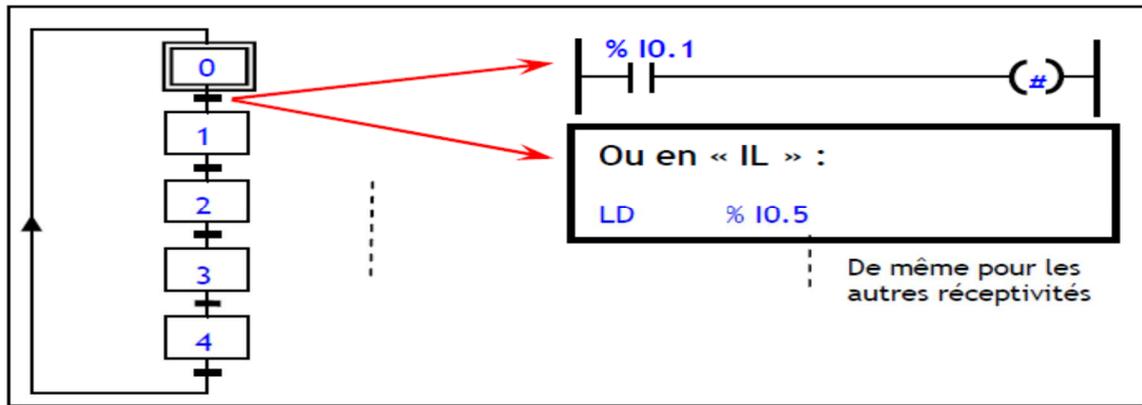


c) GRAFCET (SFC : Sequential Function Chart)

Le SFC est le langage graphique qui traduit un GRAFCET sur un API. Par abus de langage, on l'appelle aussi le langage GRAFCET. Pour éditer un programme GRAFCET on passe par les étapes suivantes :

- On commence par construire graphiquement le GRAFCET ;
- On traduit les réceptivités dans le langage IL ou le langage LADDER ;
- La programmation des actions se fait dans le traitement postérieur en LADDER ou en "IL".
- En langage GRAFCET l'activation et la désactivation des étapes se fait automatiquement.

Exemple: Poste de perçage



32

2.3 Les Langages de programmation textuels:

Un programme écrit en langage liste d'instructions (**IL**) se compose d'une suite d'instructions exécutées séquentiellement par l'automate.

Chaque instruction est composée d'un code instruction et d'un opérande.

Ces instructions agissent sur :

- Les entrées/sorties de l'automate (boutons-poussoirs, détecteurs, relais, voyants...),
- Des fonctions d'automatismes (temporisateurs, compteurs...),
- Des opérations arithmétiques et logiques et des opérations de transfert,
- Les variables internes de l'automate.

Instruction de base en langage liste

Instructions de test	
Désignation	Fonctions
LD	Le résultat est égal à l'opérande (load : lire la valeur).
LDN	Le résultat est égal à l'inverse de l'opérande (contact ouverture).
AND	ET logique entre le résultat et précédent et l'état de l'opérande.
ANDN	ET logique entre le résultat et précédent et l'état inverse de l'opérande.
OR	OU logique entre le résultat et précédent et l'état de l'opérande.
ORN	OU logique entre le résultat et précédent et l'état inverse de l'opérande.
XOR, XORN	OU exclusif.
Instructions d'action	
ST	L'opérande associé prend la valeur de la zone de test.
STN	L'opérande associé prend la valeur inverse de la zone de test.
S	L'opérande associé est mis à 1 lorsque le résultat de la zone de test est à 1.
R	L'opérande associé est mis à 1 lorsque le résultat de la zone de test est à 1.

L'adresse ou le code opérande est précédé de %

Un opérande indiquant l'objet sur lequel s'effectue l'opération, il est composé en deux parties :

- son type par exemple I pour les entrées, Q pour les sorties
- son adresse géographique sur l'automate (sa position) par exemple 0.5

0 étant le numéro du module, 5 étant la voie sur le module ; ainsi chaque entrée ou sortie à une adresse sur l'automate.

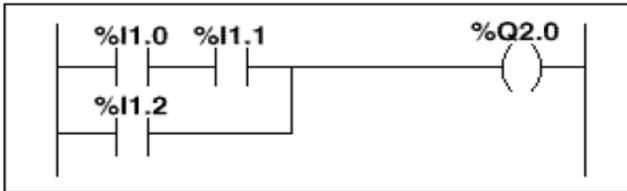
Un automate ayant 8 entrées et 8 sorties, elles seront aux adresses suivantes :

Entrées : I0,0 ; I0,1 ; I0,2 ; I0,3 ; I0,4 ; I0,5 ; I0,6 ; I0,7

Sorties : Q1,0 ; Q1,1 ; Q1,2 ; Q1,3 ; Q1,4 ; Q1,5 ; Q1,6 ; Q1,7

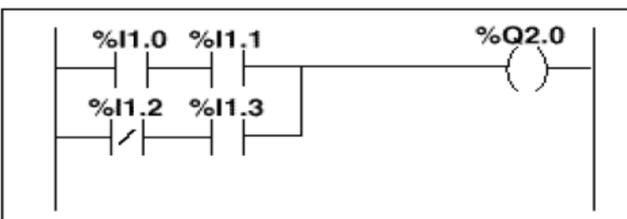
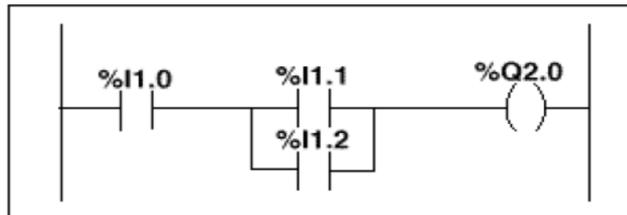
Ceci est un exemple et dépend de l'API, il faut donc consulter la notice constructeur.

Exemples:



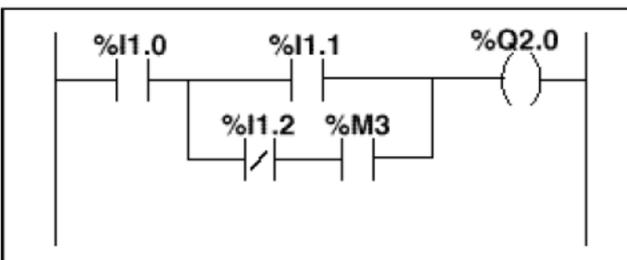
```
LD    %I1.0
AND   %I1.1
OR    %I1.2
ST    %Q2.0

LD    %I1.0
AND(  %I1.1
OR    %I1.2
)
ST    %Q2.0
```

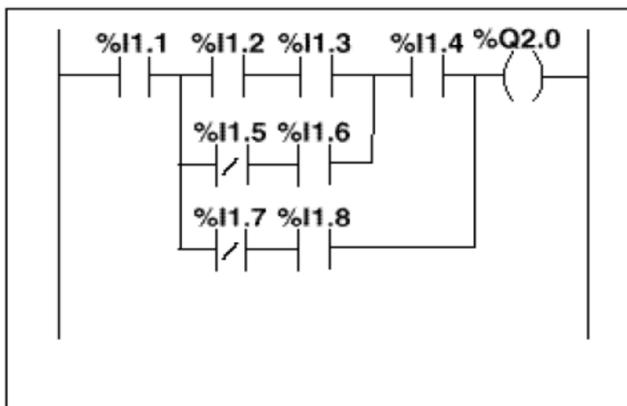


```
LD    %I1.0
AND   %I1.1
OR(N  %I1.2
AND   %I1.3
)
ST    %Q2.0
```

Il est possible d'imbriquer jusqu'à 8 niveaux de parenthèses :



```
LD    %I1.0
AND(  %I1.1
OR(N  %I1.2
AND   %M3
)
)
ST    %Q2.0
```



```
LD    %I1.1
AND(  %I1.2
AND   %I1.3
OR(N  %I1.5
AND   %I1.6
)
AND   %I1.4
OR(N  %I1.7
AND   %I1.8
)
)
ST    %Q2.0
```

Remarque : Langage littéral structuré (*ST : Structured Text*)

Langage informatique de même nature que le Pascal, il utilise les fonctions comme *if ... then ...else ...* (*si ... alors ... sinon ...*). Peu utilisé par les automaticiens.

2.4 Raccordement d'un automate:

Pour raccorder un automate, il est recommandé de suivre les spécifications du fabricant.

Exemple de raccordement des alimentations :

