

Codeurs optiques industriels

I. Codeurs incrémentaux

Les codeurs incrémentaux sont des capteurs qui convertissent des mouvements de rotation en signaux électriques. Ces signaux électriques prennent la forme d'un train d'impulsions dont le nombre est proportionnel au déplacement angulaire mesuré. Le comptage de ces impulsions permet donc de connaître la position angulaire.

Un faisceau lumineux émis par une diode électroluminescente (DEL) fixe est coupé ou non par une succession de zones opaques et transparentes tracées sur une piste (traits gravés sur un disque de verre ou de polycarbonate) d'un disque rotatif. Un récepteur fixe, sensible à la lumière émise par la DEL, complète le dispositif (A sur la figure FT 1.2).

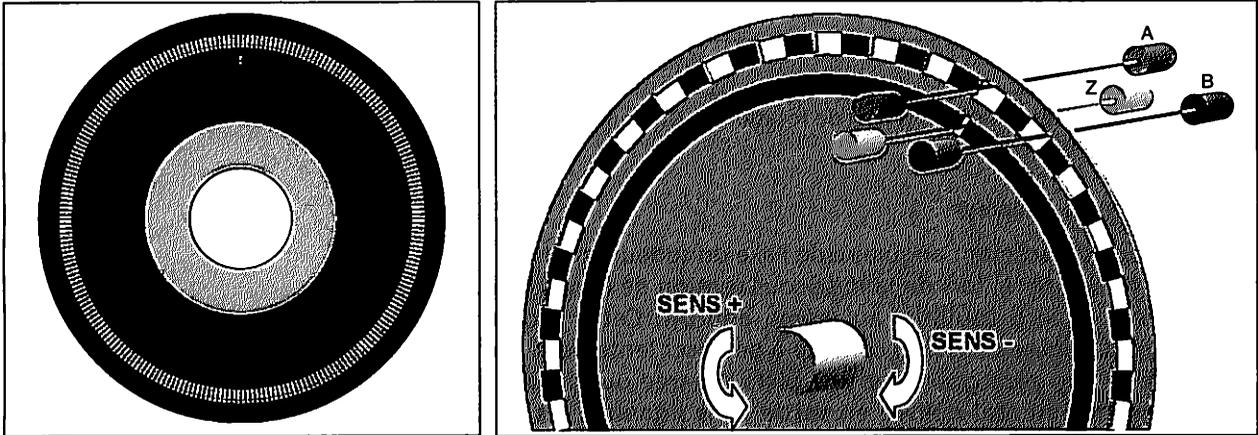


Figure FT 1.1. Disque de codeur incrémental. Figure FT 1.2. Codeur incrémental 32 points par tour : détecteurs A, B et Z.

Dans les applications, une remise à zéro du compteur d'impulsions est nécessaire afin de pouvoir réaliser des mesures angulaires absolues (à partir d'une origine appelée origine machine). Après chaque reprise secteur, il faut ainsi réaliser une prise d'origine machine (détecteur Z, Figure FT 1.2) pour s'assurer de la position angulaire obtenue.

● Traitement des signaux

Les signaux provenant d'un codeur incrémental doivent être comptés afin de connaître la valeur de la position. On utilise un compteur-décompteur dont la valeur courante est l'image de la position actuelle. Le comptage ou le décomptage se fait dès que l'un des signaux change d'état (passage de 0 à 1 ou passage de 1 à 0).

● Principe de la détection du sens de rotation

Les codeurs incrémentaux fournissent généralement deux signaux déphasés d'un quart de période afin de permettre la détection du sens de rotation, ce qui nécessite :

- soit l'ajout d'un second détecteur B, décalé par rapport au détecteur A (Figure FT 1.2) ;
- soit l'utilisation d'une deuxième piste concentrique et décalée par rapport à la première, un détecteur étant associé à chaque piste.

La figure FT 1.3 présente les formes des signaux obtenus pour les voies A, B et Z dans les deux sens de rotation du disque du codeur incrémental.

On constate que dans le sens positif (+), par rapport à la position actuelle du disque, le front descendant de A (passage de 1 à 0) est obtenu avant le front descendant de B. Dans le sens négatif (-), par rapport à la même position du disque, le front descendant de B (passage de 1 à 0) est obtenu avant le front descendant de A. Quelque soit la position du disque, le sens de rotation du disque peut être déterminé par l'ordre dans lequel les fronts montants ou descendants des signaux obtenus sur les voies A et B apparaissent.

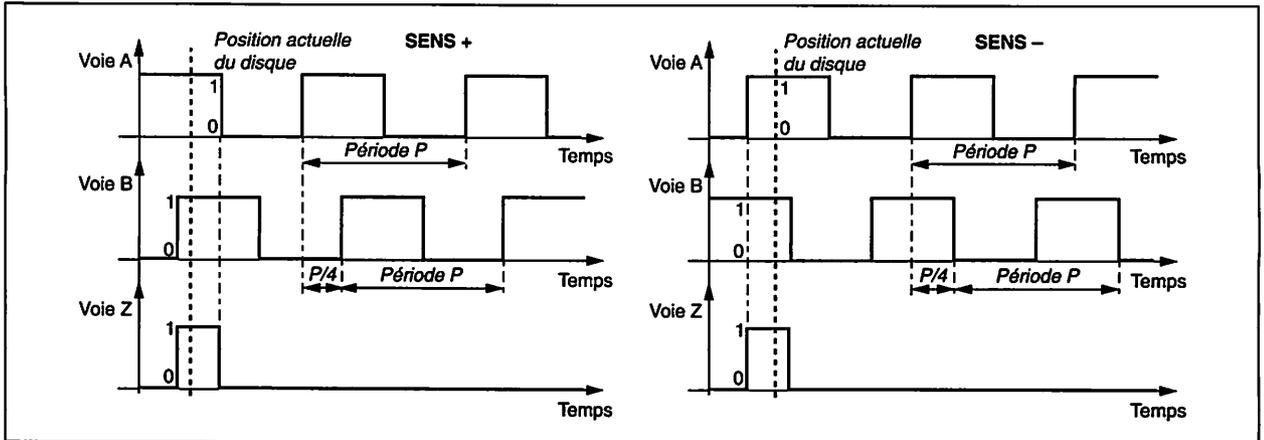


Figure FT 1.3. Détermination du sens de rotation en utilisant deux signaux déphasés d'un quart de période.

● Initialisation du compteur

La valeur du déplacement angulaire de l'axe du codeur étant connue par comptage, il est nécessaire, lors de la mise sous tension de la machine, de remettre le compteur à zéro toujours au même endroit. Cette procédure, appelée POM (prise d'origine machine) consiste à déplacer lentement le mobile jusqu'à atteindre un top zéro gravé sur une piste séparée du disque optique. Ainsi, un codeur incrémental délivre en sortie trois signaux : les deux signaux de mesure déphasés provenant des récepteurs A et B, et un signal de référence « top zéro » appelé Z (Figure FT 1.3).

Le schéma suivant présente le principe de traitement des signaux issus du codeur.

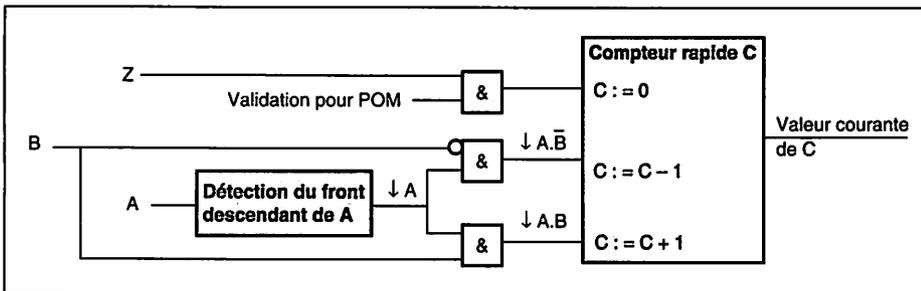


Figure FT 1.4. Comptage et décomptage des impulsions provenant d'un codeur incrémental.

● Multiplication par quatre de la résolution

La disposition des signaux A et B permet au système de traitement, s'il possède cette fonctionnalité, de multiplier par quatre la résolution du codeur, en prenant en compte chaque front montant et chaque front descendant des signaux A et B. Le codeur à 32 points représenté figure FT 1.2 peut ainsi fournir $32 \times 4 = 128$ impulsions par tour.

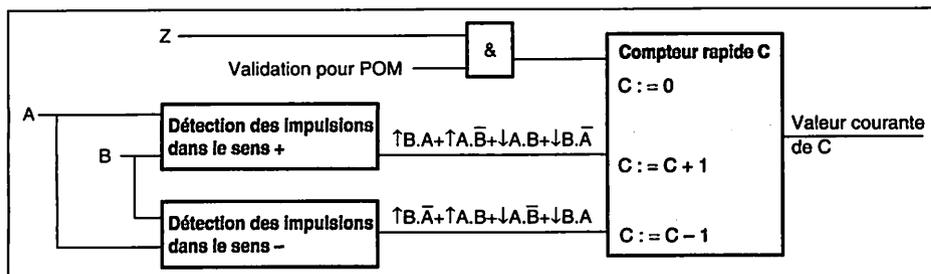


Figure FT 1.5. Principe de la multiplication par quatre de la résolution d'un codeur incrémental.

● Augmentation de la résolution par interpolation numérique

En utilisant des gravures un peu différentes et des systèmes de traitement sophistiqués, on peut actuellement atteindre une résolution numérique de 180 millions de points par tour (modèle RPN 886 Heidenhain, par exemple). Ces technologies, fort coûteuses, sont réservées aux applications nécessitant de grandes précisions.

● Performances standard

- Résolution : de 10 à 10 000 points par tour;
- Fréquence maximale : 20 à 200kHz, 100kHz étant une valeur typique;
- Vitesse de rotation : 1000 à 10 000 tr/min.

● Avantages

- Mesure précise à coût raisonnable;
- Entrées de comptage adaptées (voies A, B et Z) en standard sur les automates programmables récents;
- Obtention aisée de la vitesse par intégration numérique.

● Inconvénients

- Perte totale des informations en cas de coupure d'énergie ;
- Nécessite une procédure de prise d'origine (POM) lors de la mise sous tension.

II. Codeurs absolus

Les codeurs absolus sont des capteurs qui convertissent des mouvements de rotation en signaux électriques. Contrairement aux codeurs incrémentaux, ils délivrent un signal image de la position à mesurer sous la forme d'un code numérique binaire. Ils disposent de N pistes agencées suivant le code désiré, généralement du code GRAY, mais aussi du code binaire naturel, du code BCD ou du code EXCESS.

● Principe de fonctionnement

Un codeur générant un code sur N bits permet de distinguer 2^N positions différentes. Par exemple, le codeur dont le disque est représenté figure FT 1.6 utilise un code de 9 bits en sortie et permet donc de coder $2^9 = 512$ positions par tour, alors que le disque représenté figure FT 1.7 possède 5 bits et ne permet de coder que $2^5 = 32$ positions. À chacune des N pistes est associé un détecteur optique fournissant le signal binaire correspondant. La figure FT 1.7 montre l'implantation des cinq détecteurs associés au disque à cinq pistes codées en GRAY. Ce dernier est représenté en position 10011 correspondant au secteur 29 parmi 32 (de 0 à 31). La figure FT 1.8 donne les valeurs logiques des signaux dans et autour de la position actuelle.

Chaque secteur possédant son code unique, il est inutile de déterminer le sens de rotation. Par ailleurs, le code est connu dès la mise sous tension : il n'y a pas besoin de procédure de prise d'origine.

Dans le cas où le déplacement total est supérieur à un tour de codeur la mesure est semi-absolue (absolue sur un seul tour). Il existe à cet effet des codeurs multitours permettant d'obtenir une mesure totalement absolue. Par exemple, 2048 pas par tour (12 bits) et 4096 tours (13 bits) sur un codeur absolu multitours sur 25 bits.

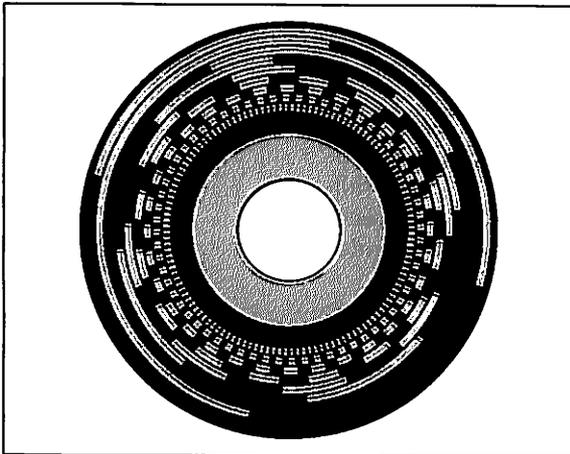


Figure FT 1.6. Disque de codeur absolu 9 bits.

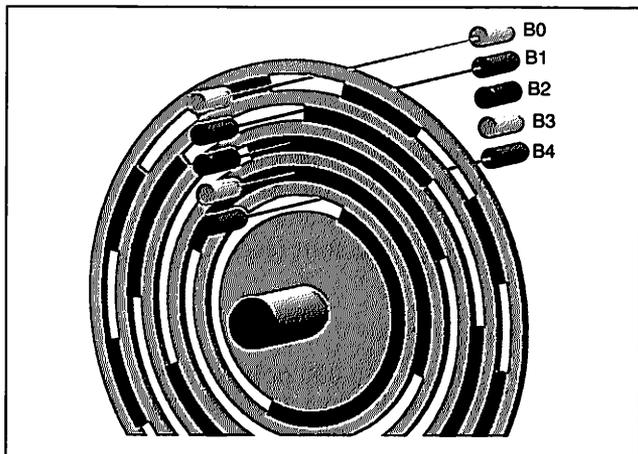


Figure FT 1.7. Principe de codage sur un disque Gray 5 bits.

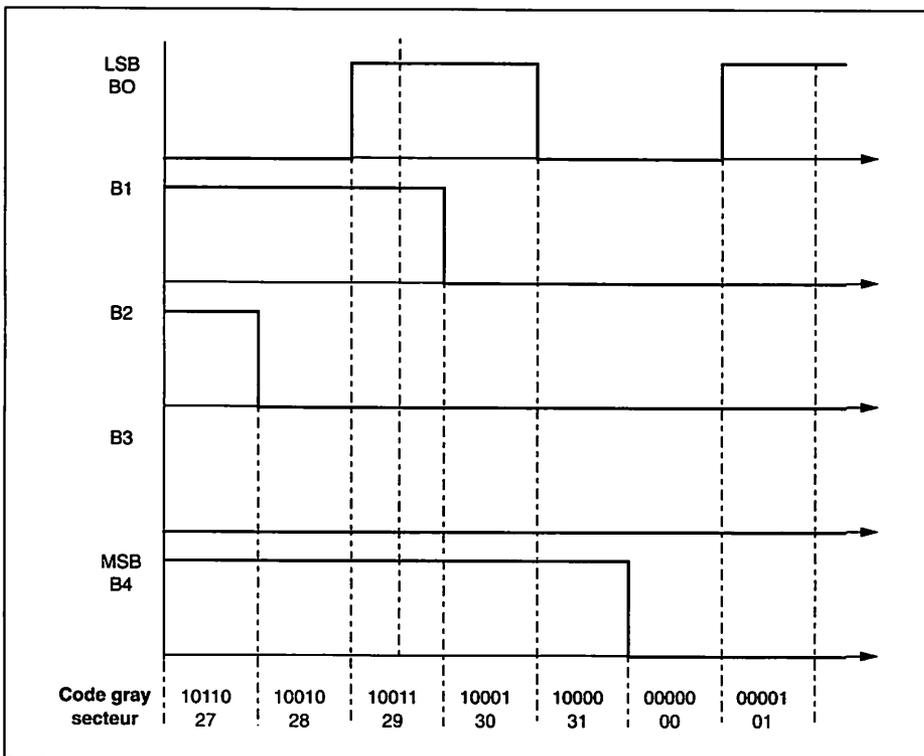


Figure FT 1.8. Code Gray correspondant à la position du codeur 5 bits figure 1.7 (zone 29).

● Performances standard

- Résolution : 8 à 17 bits, soit 256 à 131072 points par tour ;
- Fréquence maximale : 100 kHz typique sur le bit de poids faible LSB ;
- Vitesse de rotation : idem incrémental, 5000 à 10000 tr/min.

● Avantages

- Pas de perte d'information en cas de coupure d'énergie;
- Pas de procédure de POM à la mise en service.

● Inconvénients

- Prix plus élevé qu'un codeur incrémental, augmentant rapidement avec le nombre de pistes;
- Carte spécifique d'acquisition généralement nécessaire.

III. Implantation et câblage d'un codeur incrémental

Les codeurs sont des composants inadaptés à des conditions d'exploitation sévères. Ils sont sensibles aux chocs, à la poussière et leur arbre de sortie ne peut supporter aucun effort radial. Il faut utiliser un accouplement spécial permettant de compenser les défauts de coaxialité avec l'axe en rotation.

Un codeur incrémental peut s'implanter en différents endroits de la chaîne cinématique mais on les rencontre le plus souvent relié à l'arbre d'un moteur, à une vis à bille ou encore à une poulie de transmission.

EXEMPLE

Axe linéaire à vis à billes entraînée par un motoréducteur à courant continu. On désire connaître à 0,01 mm près la position d'une table entraînée par une vis à billes de pas $p = 10$ mm, sur une course totale de 1 m. La vitesse maximale du moteur est de 3000 tr/min et le rapport de réduction $\lambda = 10$. L'utilisation d'un codeur incrémental est indiquée. Deux implantations du codeur sont envisageables dans la chaîne cinématique : soit monté directement en bout d'arbre moteur (il tourne à la même vitesse que l'axe moteur), soit monté en extrémité de la vis à billes (il tourne 10 fois moins vite que l'axe moteur).

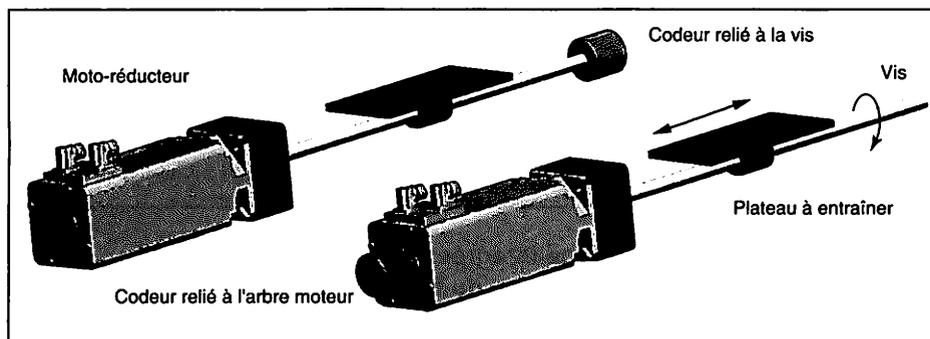


Figure FT 1.9. Implantation d'un codeur dans une chaîne cinématique (les liaisons ne sont pas représentées).

● Codeur monté sur le moteur

Avantages

- Nombre de points nécessaires : $N = \frac{p}{0,01} \frac{1}{\lambda} = 100$ pts/tour, plus faible;
- Implantation généralement effectuée par le constructeur : pas de montage à effectuer.

Inconvénients

- Les défauts (jeux, déformations) de la chaîne cinématique ne sont pas pris en compte.

● Codeur monté sur la vis à billes

Avantages

– Prise en compte (partielle) des défauts de toute la chaîne cinématique : jeux dans le réducteur, les déformations (vis à billes, ...), etc.

Inconvénients

- Nombre de points nécessaires : $N = \frac{p}{0,01} = 1\ 000$ pts/tour, plus important;
- Implantation à réaliser.

● Dans les deux cas

- Fréquence des signaux de comptage : $f = \frac{\Omega_m N}{60} = \frac{3\ 000 \times 100}{60} = 5\ 000$ pts/s
= 5 kHz, idem sur la vis;
- Nombre de points de comptage sur la totalité de la course : 100 000 pts.

● Choix du traitement

La fréquence des signaux (5 kHz) interdit l'utilisation d'entrées tout ou rien, même rapides, sur un automate programmable. Il reste deux solutions :

- utiliser des entrées spécifiques de comptage intégrées à l'automate, de performances moyennes;
- utiliser une carte spéciale de comptage rapide, de performances élevées.

Comparaison des fonctionnalités et des performances des entrées de comptage sur un automate SCHNEIDER TSX 37 :

| | Entrées TOR rapides (1, 2, 3 et 4) | Entrées de comptage intégrées (optionnelles - TSX 37-22) | Carte de comptage rapide TSX CTZ |
|--|---------------------------------------|---|-------------------------------------|
| Fréquence maximale | 500 Hz | 10 000 Hz | 40 000 Hz |
| Nombre de voies de comptage | 2 voies | 2 voies | 1 ou 2 voies |
| Format du compteur | 24 bits : 0 à 16 277 215 | 24 bits : 0 à 16 277 215 | 24 bits : 0 à 16 277 215 |
| Entrées adaptées aux codeurs (A, B, Z) | compatibles | OUI sur voie 1 | OUI sur les deux voies |
| Détection du sens de rotation | NON | OUI sur voie 1 | OUI sur les deux voies |
| Multiplication par 4 des impulsions | NON | OUI sur voie 1 | OUI sur les deux voies |

REMARQUE

Un codeur incrémental linéaire, contrairement à un codeur incrémental rotatif, permettrait la mesure directe du déplacement du plateau à entraîner et fournirait ainsi une image réelle de sa position (voir paragraphe IV).

Dans l'exemple proposé, l'utilisation des voies de comptage intégrées est indiquée, tant au niveau des fonctionnalités que de la fréquence ou du format de comptage.

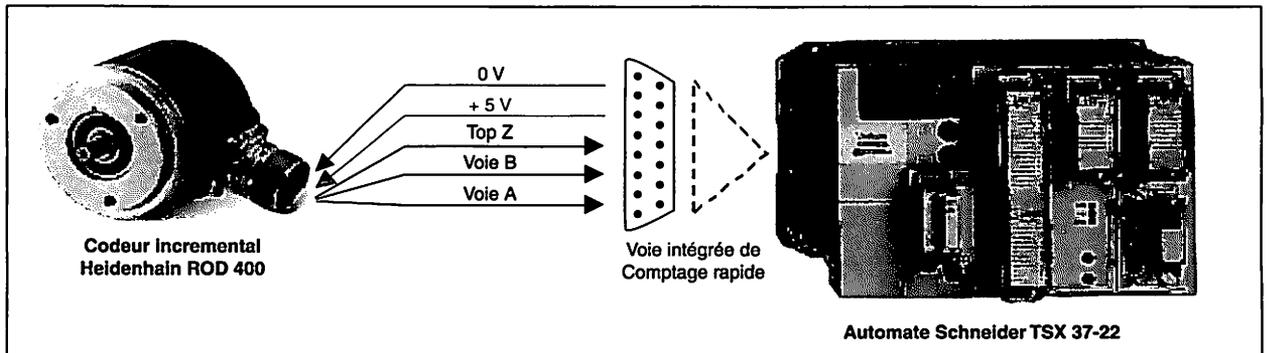


Figure FT 1.10. Câblage d'un codeur incrémental sur entrées de comptage intégrées d'un automate programmable.

IV. Tendances actuelles

1. CODEURS INTÉGRÉS AU MOTEUR

Afin d'améliorer la qualité de la transmission, la vis à billes est de plus en plus souvent montée sur l'arbre moteur, sans réducteur (entraînement direct). Le codeur incrémental est alors intégré au moteur par le constructeur, ce qui garantit une excellente qualité de montage et de mesure. La vitesse de rotation de certains moteurs pouvant être importante, les constructeurs fabriquent à cet effet des modèles de codeur pouvant tourner à 40 000 tr/min.

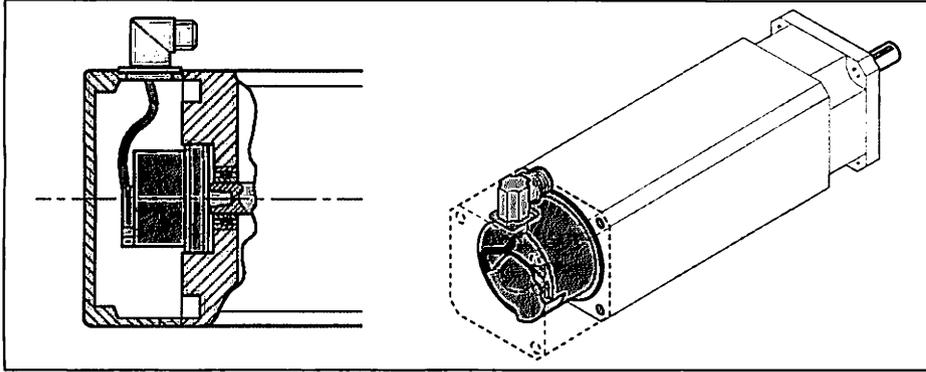


Figure FT 1.11. Codeur incrémental intégré sur son moteur (doc. Heidenhain).

2. CODEURS SUR BUS DE TERRAIN

Ces modèles permettent un câblage direct sur le réseau, sans composant intermédiaire. Les gains de temps et de matériel lors du câblage (nombre de lignes réduit au maximum) ainsi que la facilité de maintenance (auto diagnostic et état actuel) sont les principaux avantages de cette solution en plein développement. Les bus les plus répandus sont PROFIBUS, DEVICENET et INTERBUS, mais on rencontre également des codeurs sur bus FIPIO, CAN ou ASI, voire même sur réseaux propriétaires comme FANUC ou MITSUBISHI.

Certains fabricants proposent des codeurs à sortie fibre optique, permettant une transmission du signal sur des longues distances sans risque de perturbation ou de dégradation du signal.

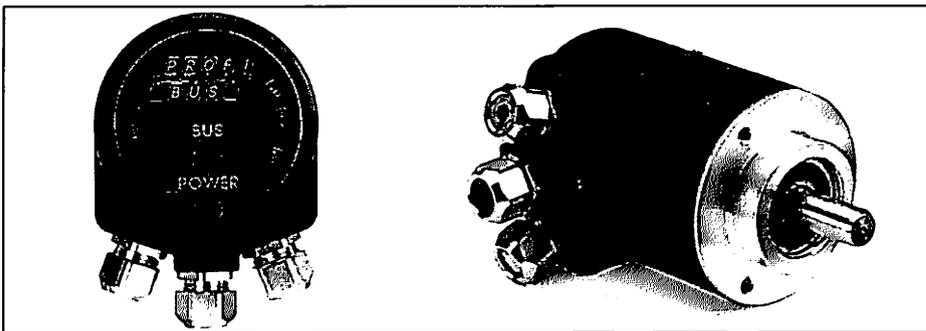


Figure FT 1.12. Codeur absolu ROC 413 (13 Bits - 8192 points) intégrable sur réseau PROFIBUS (doc. Heidenhain).

3. CODEURS PROGRAMMABLES

Il s'agit de codeurs dont le nombre de points par tour peut se programmer suivant les besoins, manuellement ou via un réseau. On peut ainsi demander une résolution de 1 000 pts/tour à un codeur de 4 096 points.

REMARQUE

Lorsque les performances requises sont élevées (machines d'usinage à grande vitesse ou machines très précises), la position de la table est mesurée directement par un codeur linéaire appelé règle optique afin de s'affranchir des déformations dans la chaîne cinématique.

Détecteurs industriels

I. Détecteurs de présence à action mécanique

● Caractéristiques des détecteurs de présence

Selon l'usage prévu, il existe de nombreuses formes et tailles de détecteurs à action mécanique. Certains d'entre eux sont monoblocs, d'autres, de construction modulaire, permettent de composer le détecteur le mieux adapté à l'application. Il s'agit alors d'associer un corps, une tête et un organe de commande choisis parmi les multiples modèles offerts par chaque constructeur.

La plupart de ces détecteurs industriels sont totalement étanches à la poussière et aux projections par jet d'eau, offrant ainsi un indice de protection important (IP 65) qui permet une utilisation dans des conditions d'exploitation difficiles (par exemple dans la sidérurgie). Voir FICHE TECHNIQUE 8 pour la définition des indices de protection IP.

Un détecteur de présence à action mécanique doit avoir des caractéristiques (Figure FT 2.1) qui permettent de répondre aux exigences d'un fonctionnement industriel, par exemple :

- une durée de vie suffisante (de un à plusieurs millions de manœuvres) dépendant de ses caractéristiques mécaniques et électriques;
- une bonne précision, une bonne fiabilité et une certaine répétabilité de la position de commutation (de $\pm 0,1$ à $0,01$ mm).

| | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|--|--|--|
| <p>Organe de commande</p> | | | | |
| <p>Mode de manœuvre</p> | | | | |
| <p>Action de manœuvre</p> | <p>De l'ordre de 0,1 Nm</p> | | <p>De 0,1 à 20 N (les détecteurs pneumatiques nécessitent les efforts les plus importants)</p> | |
| <p>Courses</p> | | | <p>Ca : Course d'approche entre la position de repos et celle provoquant le changement d'état de la sortie (position d'action). Cd : Course différentielle entre la position d'action et la position de relâchement (retour à l'état initial de la sortie). Ct : Course totale</p> | |

| | | |
|--|--|---|
| <p>Sorties</p> | | |
| <p>Limites d'emploi Energie commutable Autres caractéristiques utiles</p> | <p>Tension nominale. Nature du courant (continu ou alternatif). Intensité maximale.</p> <p>Vitesse d'attaque (0,3 à 1,5 m/s). Tension d'isolement.</p> | <p>Débit maximum (caractérisé par le facteur de débit Kv). Pression maximale.</p> <p>Vitesse d'attaque (0,1 à 1,5 m/s). Diamètres des raccords et type.</p> |

(consulter les catalogues des constructeurs pour les valeurs exactes selon les modèles)

Figure FT 2.1. Caractéristiques typiques de détecteurs électromécaniques.

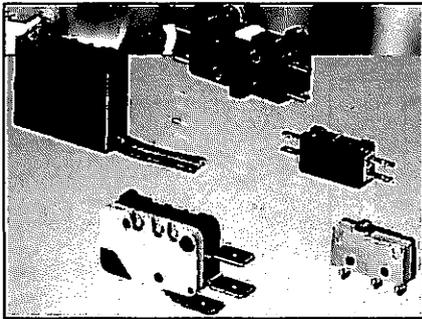


Figure FT 2.2. Exemple d'une gamme de minirupteurs électromécaniques (doc CROUZET).

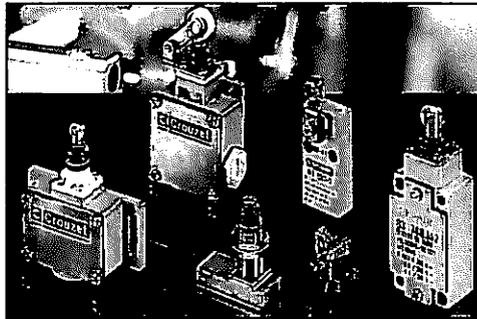


Figure FT 2.3. Exemple d'une gamme d'interrupteurs de position électromécaniques (doc CROUZET).

2. Détecteurs de proximité électroniques

1. DÉTECTEURS DE PROXIMITÉ INDUCTIFS

a) Principe de fonctionnement

Le constituant principal est un oscillateur générant un champ électromagnétique de haute fréquence à l'avant de sa face sensible (100 à 600 kHz). L'entrée d'une pièce métallique (appelée cible sur la figure FT 2.4) dans le champ rayonné entraîne un déséquilibre de l'oscillateur, qui, après amplification, commande l'étage de sortie (thyristor ou transistor) pour fournir une information logique tout ou rien.

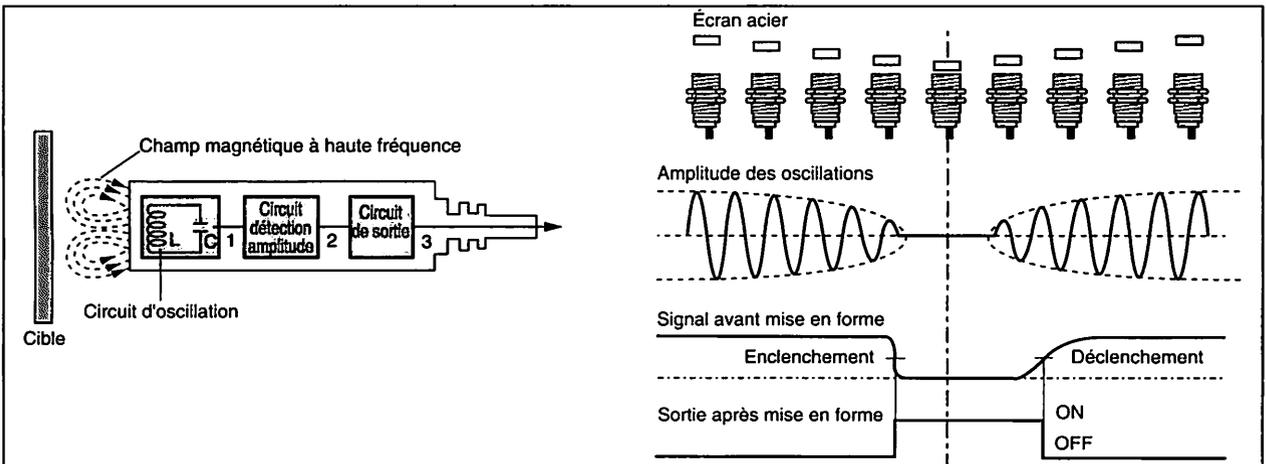


Figure FT 2.4. Structure et principe de fonctionnement d'un détecteur de proximité inductif.

b) Performances et implantation

● Matériaux détectés

Les détecteurs inductifs ne réagissent qu'aux métaux, ce qui, avec leur faible distance de détection, constitue leur limitation principale.

● Implantation et montage

Il existe principalement deux formes de détecteurs :

- cylindrique, qui permet l'insertion dans un logement d'où ils peuvent affleurer au plus près de l'objet à détecter ;
- prismatique, qui permet leur fixation sur un plan.

Selon les contraintes de montage (encombrement essentiellement), les détecteurs peuvent être noyés ou non dans leurs supports.

Les détecteurs noyés dans un support métallique sont blindés et le plan de leur face sensible peut être affleurant avec le support. Les détecteurs non noyables nécessitent, pour le maintien de leurs caractéristiques, la présence d'une zone dégagée autour de leur face sensible.

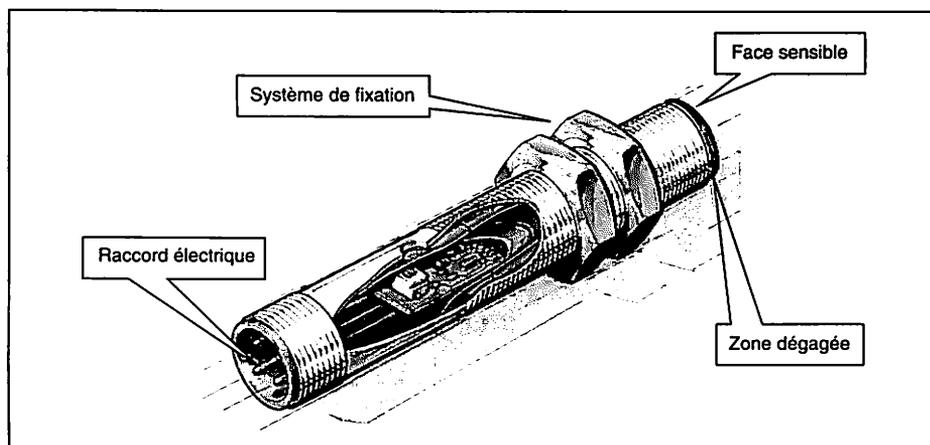


Figure FT 2.5. Vue éclatée d'un détecteur inductif cylindrique avec son circuit interne de mise en forme du signal (document BALLUF).

Les détecteurs de proximité peuvent s'influencer mutuellement, aussi convient-il de les espacer. À titre indicatif, placés côte à côte, les détecteurs noyables doivent être séparés d'une distance supérieure à un diamètre, les non-noyables d'une distance supérieure à deux diamètres.

● Fréquence de commutation

100 Hz à 3 kHz, jusqu'à 300 kHz pour les modèles spéciaux de comptage.

● Portée nominale

Elle varie de 0,5 à 70 mm, de 1 à 10 mm dans le cas usuel. La portée réelle dépend de manière importante du matériau détecté :

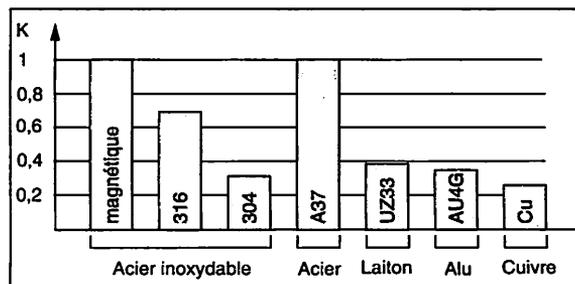


Figure FT 2.6. Facteur multiplicateur K de la portée nominale d'un détecteur inductif en fonction du matériau détecté.

EXEMPLE

Un détecteur inductif de portée nominale $S_n = 10$ mm pourra détecter une pièce d'acier à 10 mm, mais une pièce d'aluminium à 3,5 mm seulement.

● Applications

Contrôle de présence, fin de course, détection de passage, comptage, etc.

2. DÉTECTEURS DE PROXIMITÉ PHOTO-ÉLECTRIQUES

a) Principe de fonctionnement

Un détecteur de proximité photoélectrique est constitué d'un émetteur E (généralement une diode électroluminescente) et d'un récepteur de lumière R (généralement un phototransistor). Ces deux éléments peuvent être intégrés ou non dans le même constituant.

Afin de rendre le dispositif insensible à la lumière ambiante, l'émission de lumière, qui se fait soit en lumière infrarouge, soit en lumière visible, est pulsée à fréquence fixe.

● Procédés de détection

Les détecteurs photoélectriques peuvent détecter la présence d'un objet de deux manières :

– *par coupure du faisceau lumineux* : dispositif « barrage » (Figure FT 2.7);

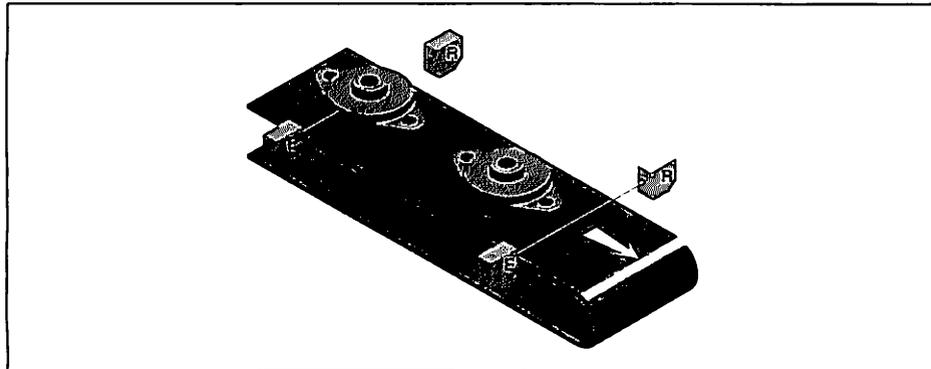


Figure FT 2.7. Détection photoélectrique par un dispositif de type barrage.

– *par réflexion directe du faisceau lumineux sur l'objet* (Figure FT 2.8) ou sur un réflecteur fixe (Figure FT 2.9) :

– *soit par l'objet* (dispositif « reflex direct » ou « de proximité »). Dans le cas d'objets brillants on utilisera de la lumière polarisée;

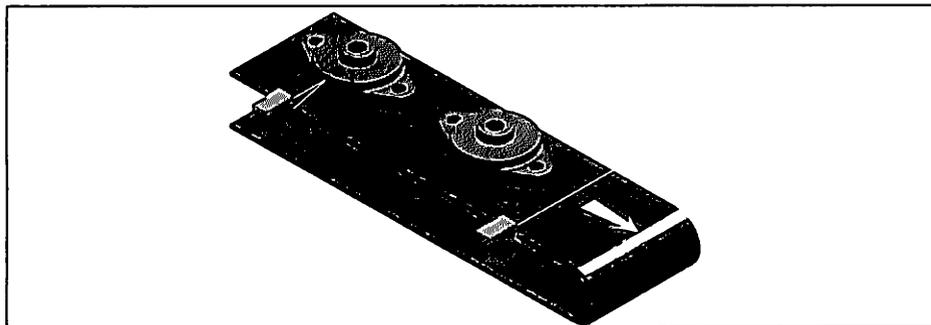


Figure FT 2.8. Détection photoélectrique par un dispositif de proximité.

– *soit par un réflecteur fixe en l'absence de l'objet* (dispositif « reflex »).

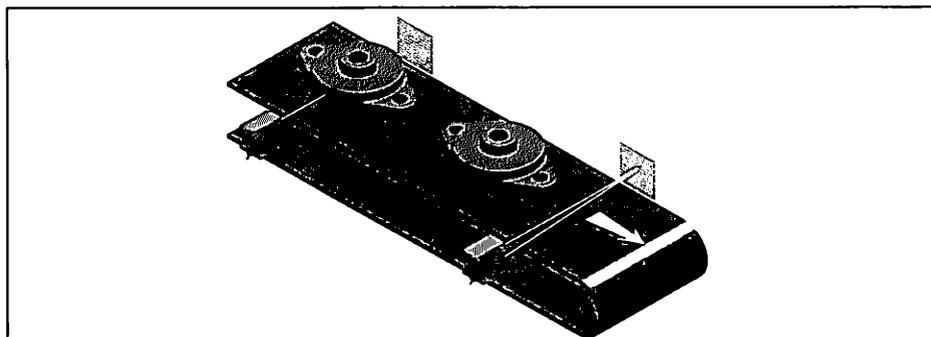


Figure FT 2.9. Détection photoélectrique par dispositif réflex.

● Fonction claire et fonction sombre

Selon l'état souhaité de l'information délivrée par le détecteur en présence de l'objet détecté (vrai ou faux), deux modes de commutation sont définis. Ces deux modes sont :

- le *mode de commutation claire* (« light on », fonction claire sur la figure FT 2.10) lorsque l'objet est détecté et que le faisceau lumineux arrive au récepteur,
- le *mode de commutation sombre* (« dark on » fonction sombre sur la figure FT 2.10) lorsque l'objet est détecté et que le faisceau lumineux n'arrive pas au récepteur.

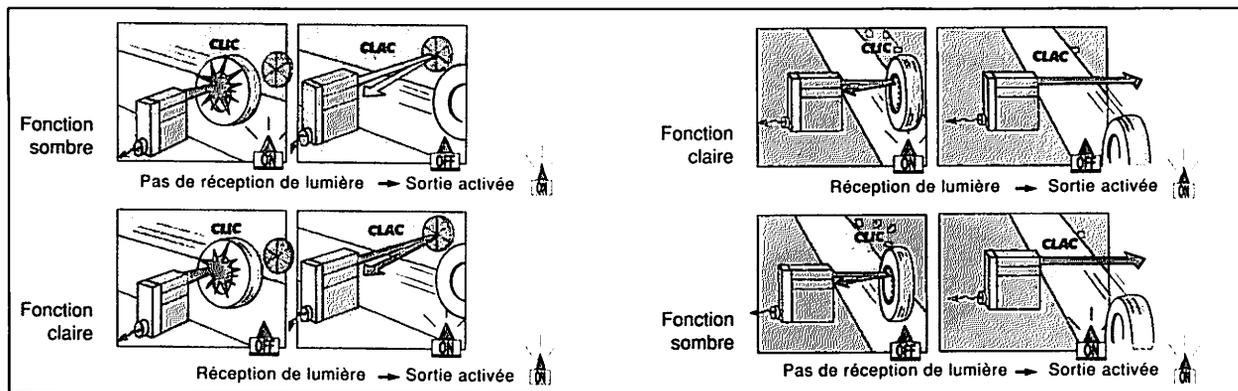


Figure FT 2.10. Commutations sombre et claire dans les dispositifs reflex (à gauche) et de proximité (à droite) (Schneider).

● Fibres optiques

Les fibres optiques permettent de véhiculer le faisceau lumineux sur une distance importante sans perte d'information. La taille réduite de ces fibres (diamètre 0,8 à 5 mm en standard), permet une implantation au plus près de l'objet à détecter.

● Faisceaux laser

L'utilisation d'un faisceau laser en lieu et place du faisceau lumineux classique permet l'obtention de performances supérieures : le faisceau plus fin (0,05 mm) et plus puissant, permet de détecter de petits objets (jusqu'à 0.01 mm de diamètre) à des distances considérables (50 mm).

b) Performances et implantation

● Matériaux détectés

Les performances des détecteurs photoélectriques ont beaucoup progressé ces dernières années. Ils sont capables de détecter à peu près tous les types de substances : solides, liquides, pulvérulents, et tous les types d'objets : brillants, réfléchissants, translucides, transparents. Certains détecteurs possédant un faisceau puissant, sont capables de traverser une ou plusieurs parois translucides et d'épaisseurs différentes. Il est possible ainsi de détecter la présence d'huile dans des bidons fermés au moyen de détecteurs photoélectriques.

Pour des exemples concernant les performances des détecteurs photoélectriques, voir FICHE MÉTHODE 7.

● Implantation et montage

La gamme des détecteurs photoélectriques est suffisamment complète pour permettre une implantation aisée. Il n'est pas rare que le catalogue d'un constructeur présente une centaine de modèles différents, qu'il s'agisse de détecteurs à fibres optiques ou de détecteurs photoélectriques classiques. Les formes des détecteurs sont parallélépipédiques ou cylindriques (d'un diamètre très petit pour les fibres optiques).

● Fréquence de commutation

La plupart des constructeurs fournissent plutôt un temps de réponse qui varie de 20 microsecondes pour les plus rapides, à 1 à 10 ms pour les modèles standard.

● Portée nominale

Elle dépend du type de détection. En standard, on obtient :

- dispositif barrage, 7 m avec des modèles classiques et 1m avec de la fibre optique;
- dispositif reflex, 2 m maxi;
- dispositif de proximité, 700 mm avec des modèles classiques et 130 mm avec de la fibre optique.

● Applications

À de rares exceptions près, elles couvrent l'ensemble des applications industrielles de détection sans contact. Les optiques restent sensibles aux ambiances très poussiéreuses, mais certains détecteurs sont capables d'informer la partie commande de l'encrassement de l'optique.

3. DÉTECTEURS DE PROXIMITÉ CAPACITIFS ET ULTRASONIQUES

a) Détecteurs de proximité capacitifs

Leur structure est identique à celle d'un détecteur inductif : un circuit provoque un champ électromagnétique oscillant qui est perturbé par la variation de capacité provoquée par la présence d'un objet en face du détecteur.

● Matériaux détectés

Les détecteurs capacitifs sont capables de détecter des éléments non conducteurs (bois, carton, verre, etc.). Ils réagissent également aux produits liquides ou pulvérulents (eau, huile, farine, granulé, etc.) et aux métaux.

● Implantation et montage

Les détecteurs capacitifs sont sensibles à l'environnement puisqu'ils détectent tous les types de matériaux et de substances. À titre d'exemple, un environnement très humide peut perturber la mesure. Le nombre de modèles proposés par les constructeurs est souvent réduit, ce qui limite les possibilités de choix. Les possibilités de montage sont les mêmes que pour les détecteurs inductifs.

● Fréquence de commutation

Beaucoup plus faible que celle des détecteurs inductifs : typiquement entre 10 et 100 Hz.

● Portée nominale

Elle est faible et varie de 1 à 15 mm dans les cas usuels. La portée réelle dépend du matériau détecté, la figure FT 2.11 donnant le facteur Fc de correction de portée nominale en fonction de divers matériaux de l'objet détecté :

| MATERIAUX | Facteur Fc |
|--|------------|
| Téflon, Farine, Huile, Essence, Paraffine | 0,2 |
| Plexiglas, Polystyrène, Caoutchouc, Sucre, Sable | 0,3 |
| Porcelaine, Sel, marbre | 0,5 |
| Alcool, Acétone, ammoniac | 0,8 |
| Eau | 1 |

Figure FT 2.11. Variation de portée d'un détecteur capacitif en fonction du matériau détecté.

● Applications

Détection de présence de matériaux non conducteurs, de pulvérulents (chimie et agroalimentaire), détection de liquides, détection à travers une paroi (mince ou ayant une faible influence sur la mesure), etc. La figure FT 2.12 montre un exemple typique d'utilisation pour laquelle le détecteur capacitif est bien adapté.

b) Détecteurs de proximité ultrasoniques

Leur principe de fonctionnement est identique à celui des détecteurs photo-électriques, l'onde lumineuse étant remplacée par une onde sonore. On retrouve les modes de fonctionnement « barrage », « reflex », « de proximité » avec un émetteur et un récepteur.

● Matériaux détectés : Tous.

● Implantation et montage

Les détecteurs ultrasoniques se présentent sous forme cylindrique ou parallélépipédique. Leur grande distance de détection permet de les implanter facilement.

● Fréquence de commutation : Assez faible : 10 Hz environ.

● Portée nominale

Très grande, elle est l'une des raisons d'être de ces détecteurs : jusqu'à 6m en standard. Par contre, ils possèdent une zone morte dans laquelle toute détection est impossible. À titre d'exemple, pour un détecteur d'une portée nominale 3 m en mode reflex, la zone morte est comprise entre 0 et 300 mm.

● Applications

Détection de présence de matériaux non conducteurs, tri d'objets de différentes tailles, contrôle de remplissage de silos de pulvérulents (grains, sable, graviers, charbon, etc.), détection de hauteur de liquide, contrôle de fuites de liquides, détection de personnes, etc.

La figure FT 2.13 montre un exemple typique d'utilisation de détecteur ultrasonique permettant de détecter un bourrage de produit pulvérulent sur un convoyeur à bandes.

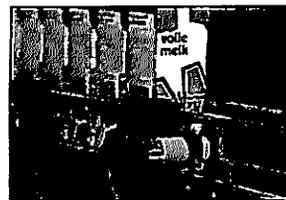


Figure FT 2.12. Détection de présence de lait à l'intérieur d'une brique opaque (doc SICK).



Figure FT 2.13. Détection de bourrage sur convoyeur à bandes (doc PEPPERL & FUCHS).

3. Détecteurs implantables sur vérin

La prise d'information se fait autant que possible au niveau du produit sur lequel la partie opérative agit. En effet, cela permet de s'assurer de la réalisation effective de la fonction opérative et donc de l'apport de valeur ajoutée. Parfois, soit la prise d'information sur le produit n'est pas possible (encombrement, montage impossible,...), soit la prise d'information sur l'actionneur peut être suffisante. Dans ce cas, les constructeurs proposent une gamme de détecteurs implantables sur vérins, aisés à monter et à régler.

1. DÉTECTEURS ILS

● Principe

Un interrupteur possédant une lame souple métallique se ferme lorsqu'il est soumis à un champ magnétique, la lame souple venant établir le circuit par contact. Dans le cas des vérins, un anneau magnétique (Figure FT 2.14) est installé sur le piston afin de permettre l'utilisation de ce type de détecteur.

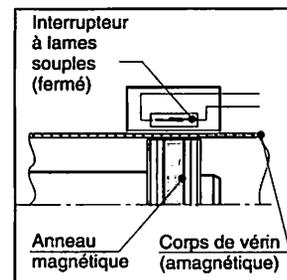


Figure FT 2.14. Détecteur ILS à lame souple.

● Caractéristiques mécaniques principales

- Ils peuvent être montés sur des vérins dont la course active (CA) varie de 7,2 à 18,5 mm (selon le vérin \varnothing 10 à 100).
- L'hystérésis (H) varie de 0,7 à 3,5 mm selon le vérin (\varnothing 10 à 100).
- La répétabilité est généralement de $\pm 0,1$ mm.

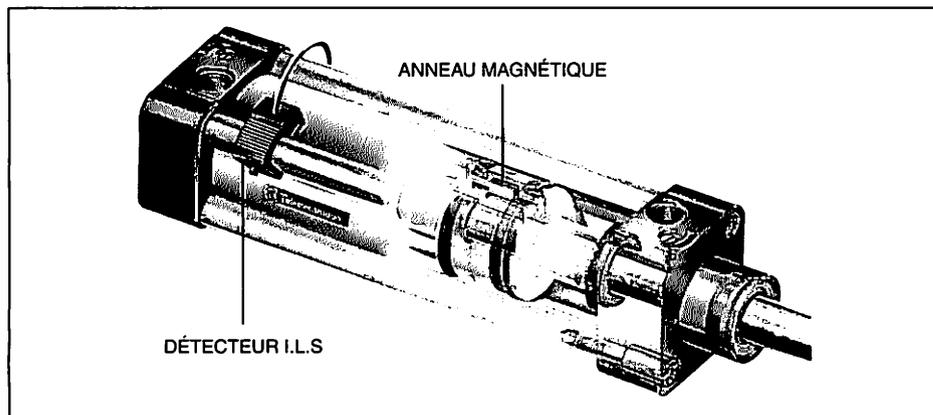


Figure FT 2.15. Montage d'un détecteur ILS sur un vérin équipé d'un piston magnétique (Schneider).

Ces détecteurs sont très simples à implanter et à régler, car ils sont fournis par les constructeurs de vérins et prévus pour être montés sur ces derniers avec un outillage minimal. Les coûts d'achat, d'étude, de réalisation, de mise au point et de maintenance sont plus faibles que pour les autres détecteurs qu'il faut fixer et régler. Leur prix étant par ailleurs modique, on comprend aisément qu'ils soient la première solution technique à envisager lorsque l'on veut contrôler les fins de course d'un vérin linéaire ou rotatif.

2. DÉTECTEURS À SEUIL DE PRESSION

L'observation de la pression dans la chambre d'un vérin qui est reliée à l'échappement, après l'instant de basculement de son distributeur, montre que cette contre-pression P_2 reste relativement élevée jusqu'à l'arrivée en fin de course (Figure FT 2.16). Cette contre-pression chute rapidement lorsque le piston est arrêté en fin de course. Ce phénomène est utilisé afin de détecter la fin du mouvement d'un vérin.

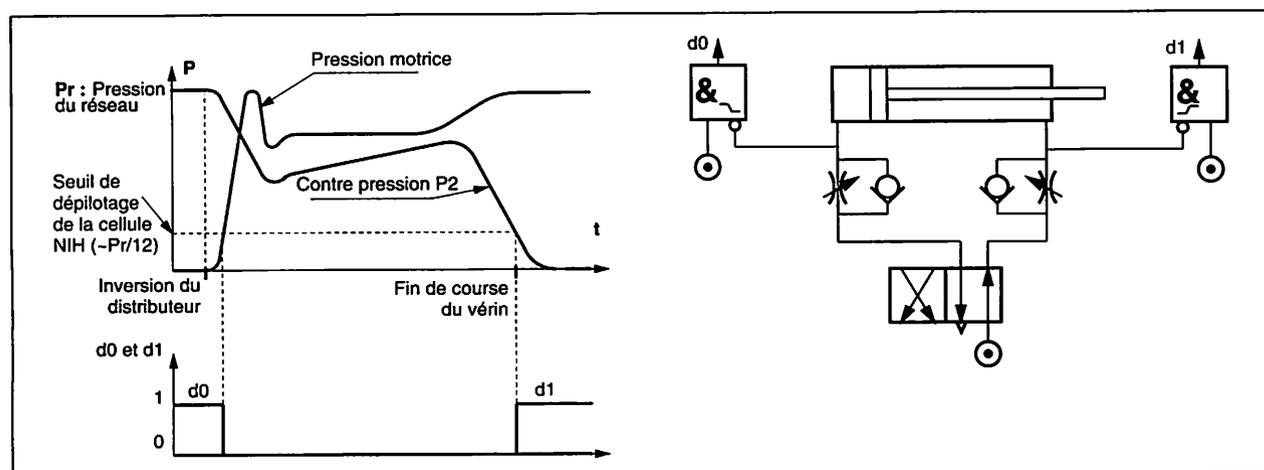


Figure FT 2.16. Détecteur à seuil de pression (principe).

Structure et fonctionnement des automates programmables

I. Généralités

L'automate programmable industriel (en abrégé API) est le constituant programmable de base des commandes de systèmes automatiques industriels. Il est apparu dans les années soixante-dix à la demande des constructeurs automobiles qui souhaitaient disposer pour l'automatisation des usines d'un matériel pouvant s'adapter à l'évolution des fabrications plus simplement et à un coût moindre que les ensembles câblés. Initialement destiné au traitement des signaux logiques, un automate programmable est capable de traiter des tâches de plus en plus complexes : calculs, asservissements, gestion, etc.

1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

C'est un système de traitement de l'information spécifique, qui se distingue des micro-ordinateurs de bureau par plusieurs caractéristiques :

- il est conçu pour fonctionner dans des ambiances industrielles qui peuvent être sévères;
- il peut gérer un grand nombre de signaux d'entrées/sorties en temps réel (ou avec des contraintes de temps précises) et de tous types : analogiques, logiques et numériques;
- sa programmation se réalise à l'aide de langages normalisés (CEI 61131-3) adaptés aux fonctions d'automatisme.

2. STRUCTURE

L'automate peut être :

- soit de conception *monobloc* (nano-automates ou micro-automates). Les capacités d'association et de communication des matériels récents, même parmi les gammes les plus basses, offrent de nombreuses possibilités de mise en réseau de ces constituants monoblocs;
- soit de conception *modulaire* (automates multifonctions). Cette organisation réunit un module d'alimentation et une unité centrale dans un bac pouvant accueillir divers types de modules allant des modules d'entrées/sorties TOR aux plus complexes (coupleurs de communication, carte d'axe, carte PID, ...). Elle permet ainsi des configurations évolutives et personnalisées. On distingue généralement les automates dits « petit format » ou moyen de gamme et ceux dits « grand format » ou haut de gamme, qui possèdent des fonctionnalités plus importantes et surtout un très grand nombre d'entrées sorties.

3. DIFFUSION DES API DANS L'INDUSTRIE

La répartition du marché français, proche de celle du marché européen, est globalement celle de la figure FT 3.1 (chiffres arrondis).

Il est à noter que l'utilisation de PC industriels reste marginale et souvent limitée à de la supervision. Il existe aussi des cartes électroniques embarquant toutes les fonctionnalités d'un automate programmable qui peuvent être montées dans un micro-ordinateur.

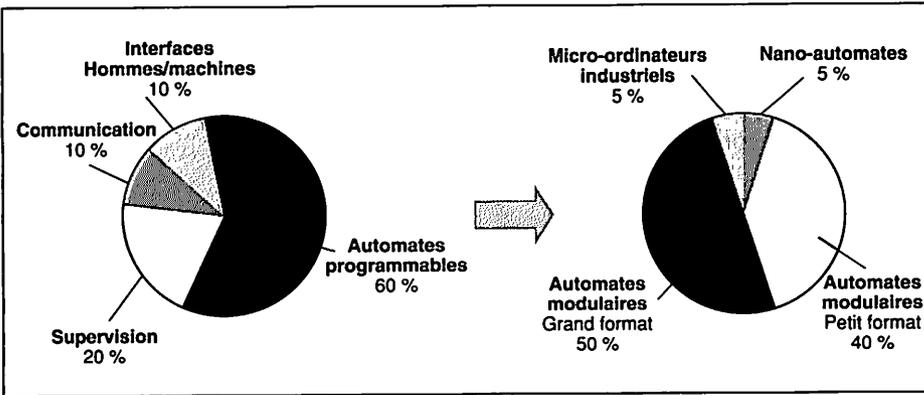


Figure FT 3.1. Répartition des ventes d'API au sein du marché des automatismes (source GIMELEC).

II. Architecture

La structure de base d'un automate programmable comprend plusieurs ensembles fonctionnels :

- pour les automates modulaires, un rack dans lequel viennent s'enficher les cartes électroniques;
- le bloc d'alimentation;
- l'unité centrale bâtie autour d'un ou plusieurs processeurs qui gèrent le fonctionnement de l'automate;
- la mémoire utilisateur qui sert au stockage du (des) programme(s) et des données;
- les entrées/sorties, interfaces entre les signaux électriques échangés avec la partie opérative et les interfaces homme-machine, et l'unité centrale;
- les coupleurs de communication avec certains organes de dialogue (imprimante, lecteur de codes à barres, ...) ou d'autres constituants programmables (automates, ordinateurs, etc.).

Les tensions nécessaires au bon fonctionnement des composants sont fournies par une alimentation qui peut comporter des dispositifs de surveillance de la qualité des tensions pour garantir un niveau de sûreté requis.

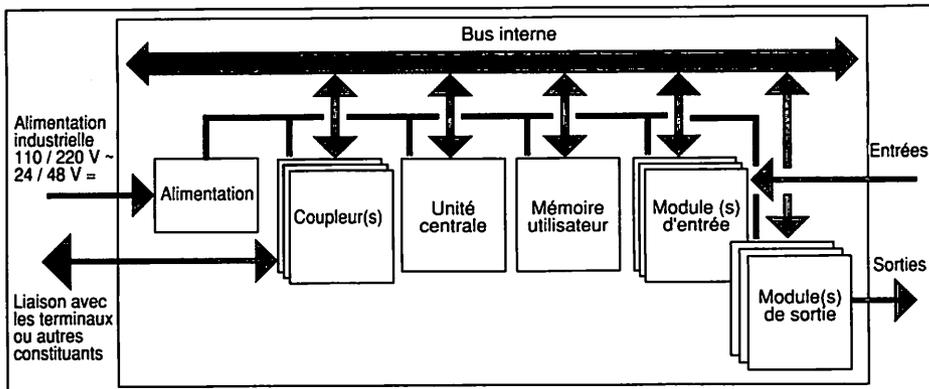


Figure FT 3.2. Structure d'un API.

1. UNITÉ CENTRALE

Elle réalise tous les traitements logiques et arithmétiques de base. Elle intègre un logiciel « moniteur » (système d'exploitation) gérant les fonctionnalités de l'automate programmable. Ce système d'exploitation proposé par le constructeur et qui peut être mis à jour, est à distinguer du programme utilisateur. Selon les modèles d'automates et le constructeur, la mémoire programmes utilisateurs

et données peut être soit directement intégrée à l'unité centrale (avec extensions possibles), soit proposée sous forme de cartouches de différentes capacités. L'offre est variée, permettant des traitements les plus élémentaires (travail sur bits) aux plus élaborés (travail sur mots, gestion de modules « intelligents » : positionnement, asservissements, régulation, communication, etc.).

2. MÉMOIRE(S) UTILISATEUR

● Fonction

C'est l'élément qui stocke le programme de l'application et les données nécessaires au fonctionnement (programmes nécessaires aux traitements des données, durées de temporisations, présélection de compteurs, paramètres divers, etc.).

● Nature des mémoires

Durant la phase d'étude et de mise au point du programme, les mémoires utilisées sont généralement des mémoires RAM supportant facilement les modifications. Afin de ne pas perdre les contenus en cas de coupure d'alimentation, un dispositif de sauvegarde par batterie est nécessaire.

En phase d'exploitation, le programme définitif est stocké dans des mémoires reprogrammables (EPROM) qui permettent néanmoins des modifications. Une mémoire de type RAM reste nécessaire pour les données temporaires.

Ces mémoires se présentent soit sous la forme de cartouches insérables dans des logements prévus à cet effet, soit sous la forme de composants enfichables sur des circuits.

● Taille des mémoires

La taille mémoire s'exprime en nombre d'instructions (1024, 2048, etc.) ou en kilomots (en abrégé kmots). Les valeurs vont de quelques kilo-octets à plusieurs centaines pour des applications importantes : jusqu'à 512 kmots de 16 bits pour un automate Schneider Premium par exemple.

3. ENTRÉES/SORTIES

● Entrées

Les caractéristiques des entrées sont :

- le nombre et la nature (TOR, numérique, analogique, etc.);
- les spécifications électriques de raccordement (tension, courant, alimentation);
- le filtrage, c'est-à-dire la capacité à ne pas laisser passer les parasites ou signaux d'une durée inférieure à une valeur définie. Les valeurs standard vont jusqu'à quelques dizaines de millisecondes.

● Sorties

Les caractéristiques des sorties sont :

- le nombre et la nature;
- la technologie, à contact mécanique (relais) ou statique (composant électronique), et les temps de commutation associés (de la milliseconde pour les contacts à quelques dizaines de microsecondes pour les transistors);
- les spécifications électriques de raccordement (tension, courant, etc.).

● Les entrées et les sorties sont proposées :

- soit par quantités imposées (10, 16, 24 E/S pour les nano-automates par exemple). Ces configurations de base peuvent être étendues en connectant des blocs d'extensions ou d'autres appareils;
- soit sous forme de cartes ou modules à 4, 8, 16, ou 32 entrées ou sorties embrochables dans des racks.

4. EXEMPLE DE STRUCTURE D'UN API ET DE SON ENVIRONNEMENT MATÉRIEL

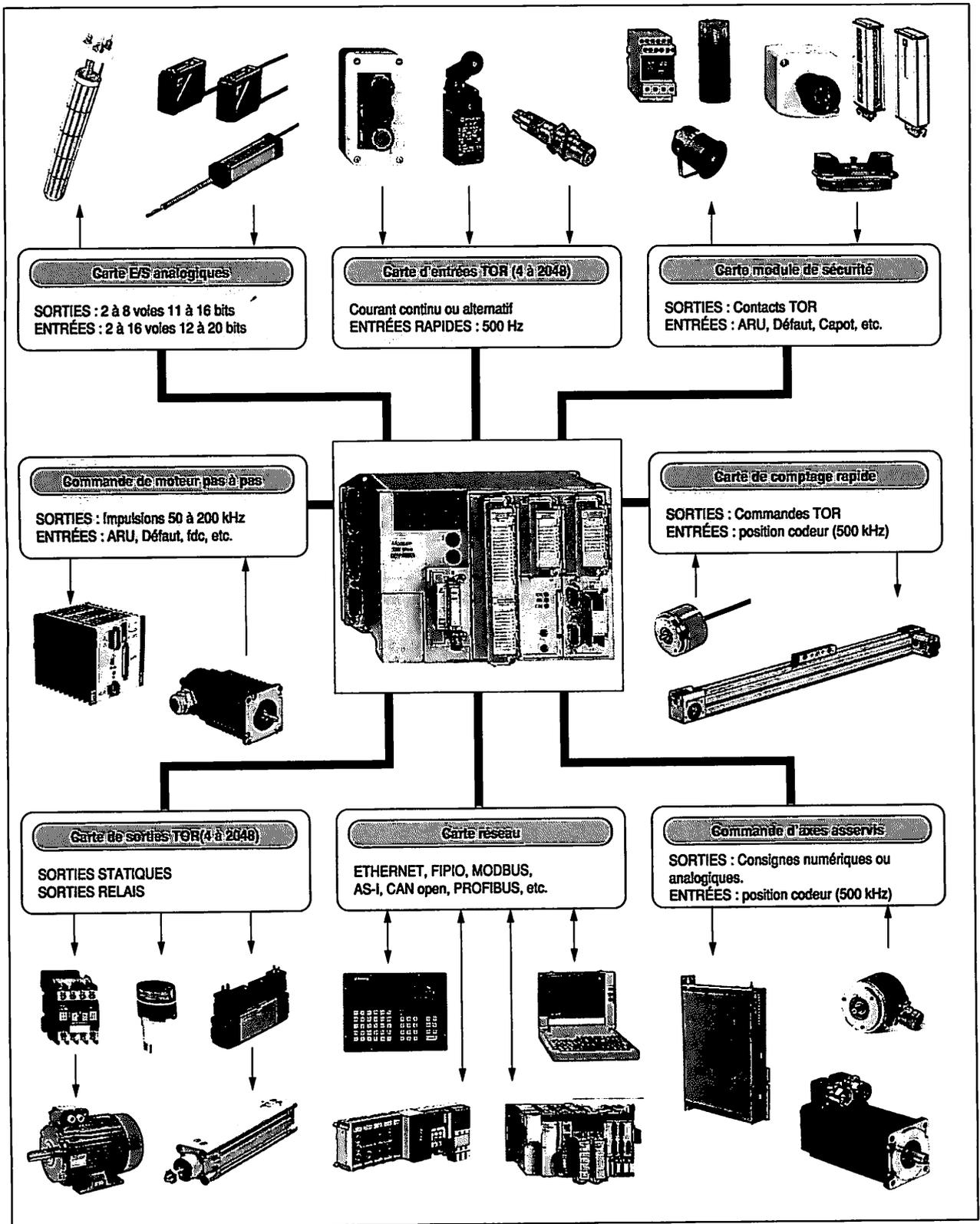


Figure FT 3.3. Exemple de structure d'un API modulaire et des constituants qui peuvent être reliés aux coupleurs, cartes d'E/S et rack.

5. CARACTÉRISTIQUES

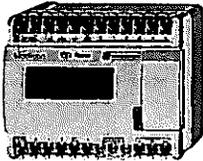
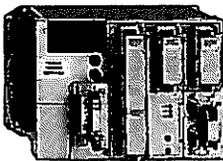
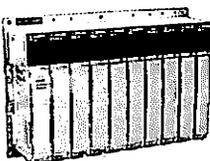
| | NANO-AUTOMATES | AUTOMATES MODULAIRES « MOYEN DE GAMME » | AUTOMATES MODULAIRES « HAUT DE GAMME » |
|-----------------------------------|---|---|--|
| UTILISATION | Modules logiques ou automates permettant la commande de petits équipements d'automatismes. Ils tendent à remplacer les solutions à base de logique câblée ou de cartes spécifiques. | Ce sont des automates permettant d'effectuer le contrôle et la commande de machines industrielles de complexité moyenne. Leur modularité permet de les adapter à la plupart des cas de figure, par ajout de cartes spécifiques dites « cartes métiers » | Ces automates sont destinés aux applications exigeantes en termes d'entrées sorties et de puissance de calcul. Les entrées sorties peuvent être décentralisées à grande distance (plusieurs kilomètres). |
| CARACTÉRISTIQUES TYPIQUES | De 4 E/S à 24 E/S | Jusqu'à 480 E/S Comptage rapide Régulation analogique Fonctionnalités réseau RAM interne : 8k à 64k | Jusqu'à 64 000 E/S Commande multiaxes Communication par nombreux protocoles RAM interne : jusqu'à 512K |
| EXEMPLES (constructeur SCHNEIDER) | Modules ZELIO LOGIC TSX NANO  | TSX MICRO TSX PREMIUM  | TSX QUANTUM  |

Figure FT 3.4. Typologie et caractéristiques générales des automates industriels.

Le tableau, Figure FT 3.4, décrit les principales caractéristiques suivant le type d'automate, les limites entre deux catégories étant parfois difficiles à cerner. Les caractéristiques que l'on peut trouver dans les automates programmables Schneider se retrouvent chez les autres fabricants connus, Siemens par exemple.

III. Mise en œuvre

La mise en œuvre d'un automate programmable nécessite : le raccordement aux diverses chaînes d'acquisition et d'action ainsi qu'aux sources d'énergie et l'implantation d'un programme utilisateur avant sa mise en exécution.

Il est possible de distinguer, pour la mise en œuvre d'un automate programmable, trois fonctions de liaisons avec l'environnement qui concernent :

- la programmation ou dialogue de programmation pour une première mise en œuvre ou des évolutions. Celle-ci a pour but d'écrire dans la mémoire le programme de l'application (mémoire programmes et mémoire données) et le relire soit dans une mémoire RAM en phase de mise au point, soit dans une mémoire EPROM en phase définitive;
- l'aide à l'exploitation ou dialogue d'exploitation (conduite de machine, réglages des paramètres, dépannages);
- la supervision ou dialogue de supervision (dialogue avec d'autres équipements périphériques à des fins de coordination et de gestion).

La tendance est à l'heure actuelle à l'utilisation d'ateliers logiciels (que l'on peut installer sur un ordiporteur portable) proposés par les constructeurs, basés sur la norme CEI 61131-3 des langages de programmation des API.

IV. Fonctionnement cyclique de l'unité centrale : exécution d'un programme

La mise en mémoire étant réalisée (implantation du programme et des données), la phase d'*exécution* est alors possible. Elle est généralement obtenue après un passage en mode « RUN » (commande logicielle ou matérielle d'exécution du programme). La phase d'arrêt ou de non exécution du programme correspond au mode « STOP ».

1. CYCLE DE FONCTIONNEMENT D'UNE UNITÉ CENTRALE D'AUTOMATE PROGRAMMABLE EN TRAITEMENT MONOTÂCHE

Le traitement est cyclique, c'est-à-dire qu'il est relancé à la fin de chaque *exécution*. Le processeur exécute les instructions, l'une après l'autre, dans l'ordre de la liste. Ce cycle est réalisé en trois étapes principales (Figure FT 3.5) :

- acquisition des entrées, en général globale (écriture en mémoire des bits d'entrées, des messages coupleurs, etc.) dans l'état qui reste figé durant toute la durée du cycle, évitant les aléas de fonctionnement. L'acquisition est effectuée par transfert de l'état logique des entrées physiques dans une mémoire spéciale appelée Mémoire Intermédiaire d'Entrée (MIE);
- traitement du programme écrit par l'utilisateur d'une durée variable selon les instructions (type et nombre);
- mise à jour ou affectation des sorties quand toutes les commandes sont définies (écriture des bits de sortie, émission des messages coupleurs, etc.). La mise à jour est réalisée par transfert des états logiques d'une mémoire spéciale appelée Mémoire Intermédiaire de Sortie (MIS) vers les sorties physiques de l'automate.

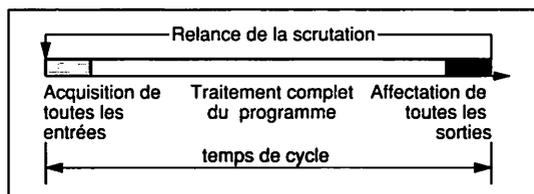


Figure FT 3.5. Cycle de fonctionnement d'une unité centrale API (traitement monotâche).

Le temps de cycle dépend de nombreux paramètres (type et importance du traitement, caractéristiques logicielles et matérielles de l'automate, etc.). Il peut atteindre plusieurs dizaines de millisecondes (typiquement de 0,1 à 150 ms). Ce mode de fonctionnement de nombreux automates est appelé cyclique asynchrone. Il en existe d'autres qui ne sont pas développés ici.

Le fonctionnement cyclique entraîne un certain nombre de contraintes :

- **Temps de réponse d'un API à l'apparition d'une entrée** : le cas le plus défavorable correspond à l'apparition d'une entrée en fin d'acquisition : il faut attendre l'acquisition suivante afin que l'entrée soit prise en compte, soit presque un temps de cycle, plus un autre temps de cycle afin que cette information soit traitée et que les sorties soient mises à jour. Le temps de réponse à un événement donné est donc compris entre un et deux temps de cycle automate.
- **Informations invisibles pour l'automate** : dans certains processus, par exemple le comptage rapide, les informations d'entrée possèdent une durée inférieure au temps de cycle de l'automate : elles ne sont pas prises en compte.
- **Dépassement de temps de cycle** : dans le cas où le programme est trop lourd, le temps de calcul peut dépasser la valeur impartie de temps de cycle. Un dispositif appelé « chien de garde » surveille en permanence la durée d'exécution du programme et met l'automate en défaut le cas échéant. Certains automates autorisent un réglage de la durée de cycle afin de l'adapter à la taille du programme.

2. TRAITEMENT MULTITÂCHE

Avec un automate à structure multitâche, le programme est organisé en tâches correspondant chacune à une fonction : positionnement d'un mobile, régulation de niveau, etc. (Figure FT 3.6).

Ces tâches peuvent être périodiques (ordre et périodicité définis par l'utilisateur) ou d'interruption (du programme en cours d'exécution) en vue d'une exécution immédiate et prioritaire.

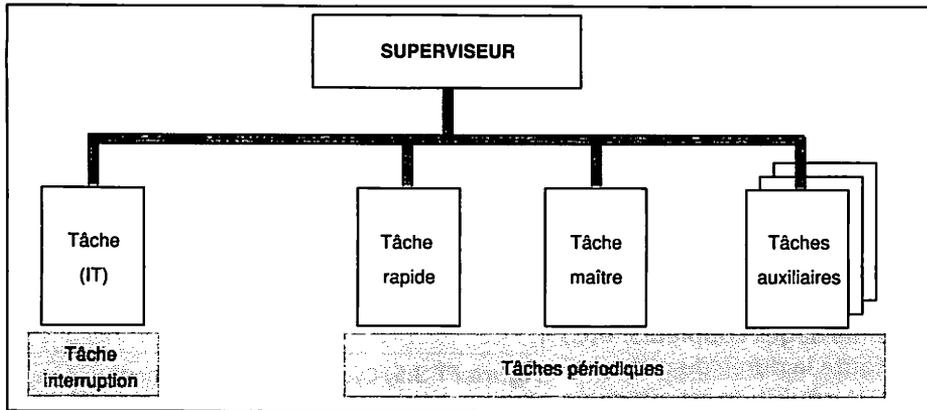


Figure FT 3.6. Structure multitâche.

La structure logicielle bitâche rencontrée dans les API TSX-37 de Schneider en est un exemple. À côté d'une tâche principale ou tâche maître exécutée de manière cyclique, l'utilisateur peut programmer une tâche non périodique et événementielle (dite tâche d'interruption). À l'apparition d'un état sur une entrée spécifique ou quand la valeur de présélection du compteur rapide est atteinte, le programme principal est momentanément interrompu, un programme court est alors exécuté. Puis, le programme principal est relancé de là où il s'était arrêté (Figure FT 3.7).

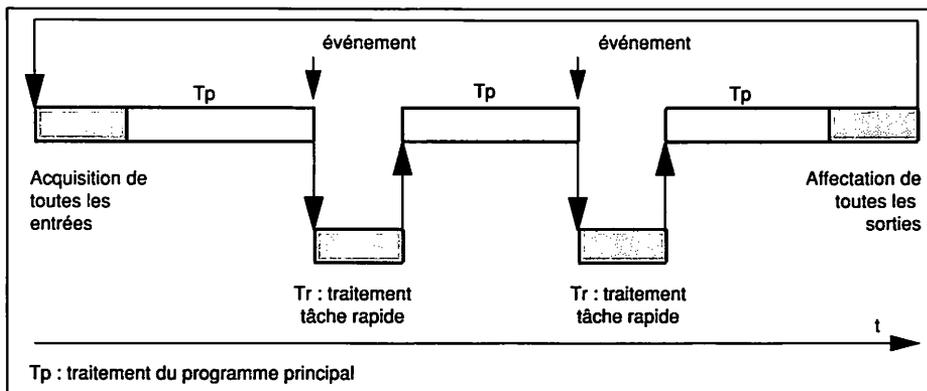


Figure FT 3.7. Traitement bitâche d'un cycle.

Le constructeur garantit un temps de réponse inférieur à deux millisecondes entre la détection de l'événement et l'activation d'une sortie rapide. Destinée à des traitements de courte durée à fréquence élevée, cette tâche convient bien au contrôle de position d'un mobile.

EXEMPLE

La prise en compte des impulsions du capteur incrémental contrôlant la course du moteur de l'élévateur du palettiseur est réalisée par une programmation de type tâche rapide à partir des entrées événementielles I 1,0 et I 1,1 (voir FICHE SYSTÈME 1).

REMARQUE

Dans l'exemple ci-contre, le constructeur du palettiseur a conservé une solution développée à l'origine sur un automate TSX-17 et qui nécessite l'utilisation d'une petite interface électronique. Le TSX-37, utilisé actuellement, dispose d'entrées optionnelles de comptage rapide qui permettraient un câblage direct du codeur incrémental, ainsi qu'une gestion transparente du comptage (modèle TSX37-22) : cette solution serait évidemment à privilégier dans une conception actuelle.

3. STRUCTURE MULTITRAITEMENT

Les structures multitraitement permettent de séparer les fonctions de traitement et d'affecter à chacune un processeur spécialisé (Figure FT 3.8). Cette solution augmente la performance du système grâce à la simultanéité des traitements.

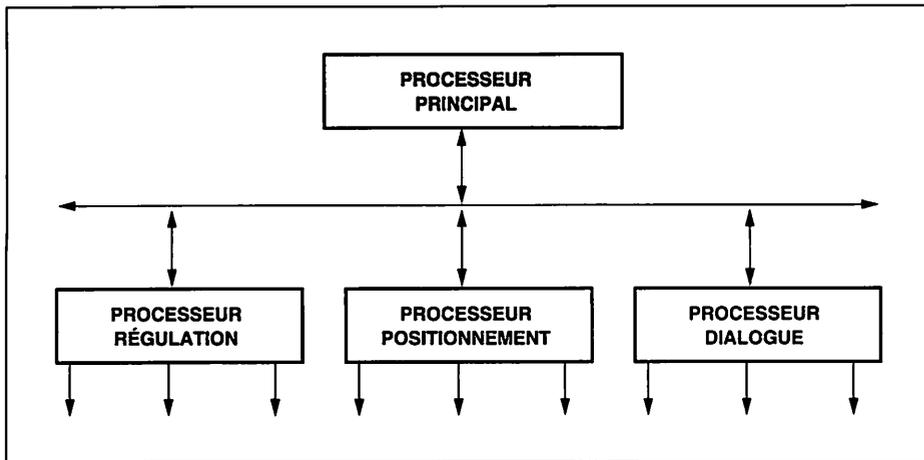


Figure FT 3.8. Structure multitraitement.

EXEMPLE

Le coprocesseur mathématique qui décharge le processeur principal des tâches de calcul, les processeurs de positionnement, de régulation, de communication et dialogue dans les automates multifonctions.

Ateliers logiciels pour A.P.I.

I. Ateliers logiciels de programmation des API

La programmation d'un A.P.I. s'effectue à l'aide d'une console de programmation, constituée aujourd'hui essentiellement par un ordinateur, souvent un portable et un atelier logiciel.

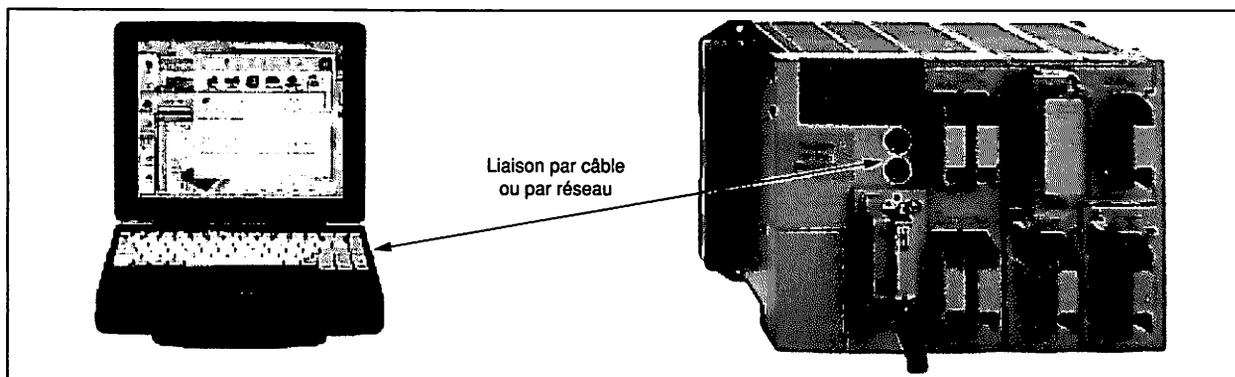


Figure FT 4.1. Liaison entre une console de programmation et un automate programmable (Schneider).

La liaison avec l'automate peut être réalisée par un câble (liaison locale point à point) ou par réseau pour des connexions distantes.

L'atelier logiciel équipant la console permet essentiellement de développer les programmes qui seront implantés dans les A.P.I. et d'en assurer la maintenance.

Les ateliers logiciels, qui s'appuient sur la norme CEI 61131, ne sont aujourd'hui compatibles qu'avec une gamme d'A.P.I. et pour un constructeur donné.

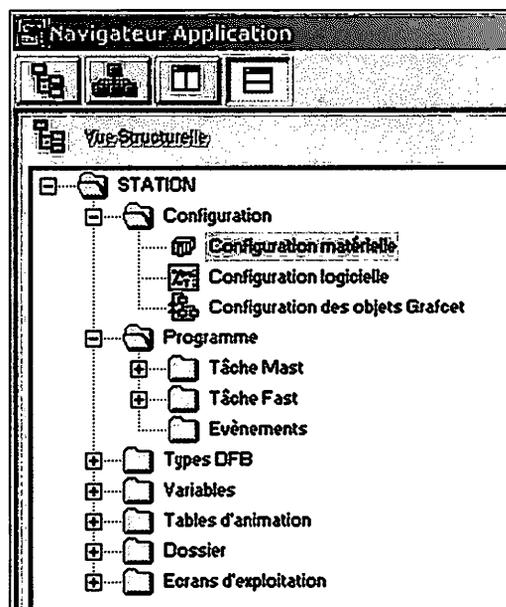
II. Fonctionnalités d'un atelier logiciel

Celles-ci peuvent se répartir en 3 familles principales qui permettent :

- de développer les programmes et les implanter;
- de faire la mise au point, la surveillance du fonctionnement, l'aide au diagnostic de pannes, et les évolutions;
- d'assurer des fonctions annexes telles que la réalisation de la documentation, l'exportation et importation de données (format texte, tableaux ou issus de logiciels de C.A.O électrique,...) ou de fichiers (programmes existants,...).

L'accès aux fonctionnalités se fait à l'aide d'un « navigateur d'application » (Figure FT 4.2).

Figure FT 4.2. Navigateur d'application permettant d'accéder aux diverses fonctionnalités de l'atelier logiciel Schneider.



1. LES FONCTIONNALITÉS DE DÉVELOPPEMENT DES PROGRAMMES

● Architecture matérielle de la commande

Certaines applications nécessitent fréquemment l'utilisation de plusieurs automates reliés en réseau. L'atelier logiciel permet alors la définition des liaisons, des adresses et des divers paramètres des constituants reliés au réseau.

● Configuration matérielle d'A.P.I.

Cette fonctionnalité permet de préciser :

- le ou les tiroirs (voir FICHE TECHNIQUE 3) automates utilisés (tiroir 0 dans le cas de la figure FT 4.3);
- les types cartes (carte d'entrée TOR, carte de sortie TOR, coupleur de communication, ...) montées dans le tiroir concerné par leurs références constructeur, et leurs emplacements respectifs dans le tiroir.

Le résultat de cette configuration est affiché sur un schéma représentatif de la structure de l'A.P.I. (Figure FT 4.3).

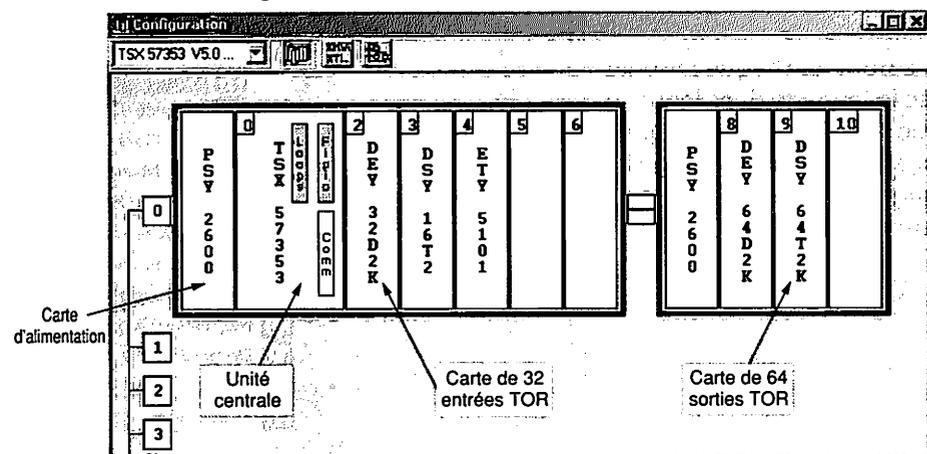


Figure FT 4.3. Liaison entre une console de programmation et un automate programmable (Schneider).

Il est possible également de cliquer directement sur les cartes du schéma afin de pouvoir les configurer (temps de filtrage pour une carte d'entrées « tout ou rien », sorties maintenues en l'état en cas de reprise secteur, ...).

● Configuration logicielle d'A.P.I.

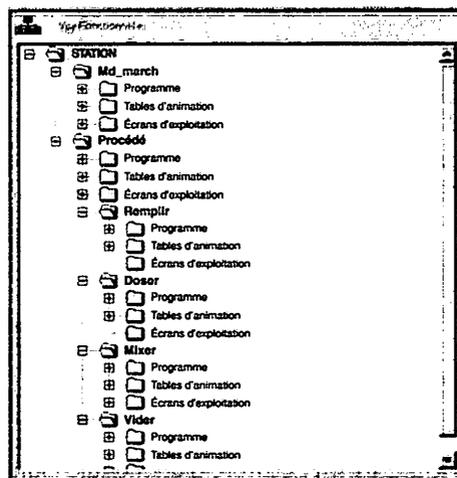
Il est utile de pouvoir préciser quels sont les droits d'accès au programme qui sera implanté dans l'automate programmable : certains personnels n'ayant accès par exemple qu'à la configuration de temporisateurs ou de compteurs, à certaines parties de programmes, ou encore n'ayant accès au programme qu'en mode lecture. Le temps de cycle peut parfois être configuré, de même que l'organisation de la « mémoire programme » et « la mémoire donnée », ainsi que le nombre de temporisateurs et de compteurs utilisés.

● Structuration fonctionnelle de l'application logicielle

Les ateliers logiciels offrent la possibilité de définir les programmes, les tables d'animations et les écrans d'exploitation à partir du découpage fonctionnel retenu par l'automaticien pour décrire le comportement de la commande du système automatique.

Cette fonctionnalité garantit la cohérence des solutions produites et utilisées lors des phases de conception, de réalisation programmée et d'exploitation.

Figure FT 4.4. Vue fonctionnelle de l'application logicielle (Schneider).



● Déclaration des variables

Il est nécessaire de pouvoir déclarer pour chaque variable utilisée (entrée, sortie, mémoire, ...) : le type (Booléen, entier signé, ...) et le symbole utilisé.

Le symbole et le commentaire (Figure FT 4.5) facilitent l'écriture du programme en permettant de travailler avec des mnémoniques ayant un sens vis-à-vis de l'application pour le programmeur (plutôt que des codes comme %M0 par exemple).

| Rechte | Type | Symbole | |
|--------|-------|------------|--|
| xM0 | EBOOL | Dcy | Départ de cycle |
| xM1 | EBOOL | Evt_1 | Vanne silo A (=0 fermée =1 ouverte) |
| xM2 | EBOOL | Evt_2 | Vanne silo B (=0 fermée =1 ouverte) |
| xM3 | EBOOL | Evt_3 | Vanne silo C (=0 fermée =1 ouverte) |
| xM4 | EBOOL | Evt_4 | Vanne trémie B1 (=0 fermée =1 ouverte) |
| xM5 | EBOOL | Evt_5 | Vanne trémie B2 (=0 fermée =1 ouverte) |
| xM6 | EBOOL | Evt_6 | Vanne mélangeur (=0 fermée =1 ouverte) |
| xM7 | EBOOL | Tre_b1_vid | Trémie B1 vide |
| xM8 | EBOOL | Tre_b2_vid | Trémie B2 vide |
| xM9 | EBOOL | Mel_mlx_a | Mixer poste A |

Figure FT 4.5. Déclaration des variables utilisées (Schneider).

● Structure logique du programme (modules logiciels)

Le navigateur d'application autorise la définition de l'ensemble des modules logiciels (voir chapitre 8) qui seront implantés dans l'A.P.I..

Dans l'exemple figure FT 4.6, le nom de chaque module logiciel apparaît en clair avec le langage dans lequel il est écrit. Par exemple, le module logiciel « remplir : remplissage » est écrit en langage LD, le module logiciel « procédé » est écrit en langage SFC et le module logiciel « Md_march : Diag_system » en langage ST.

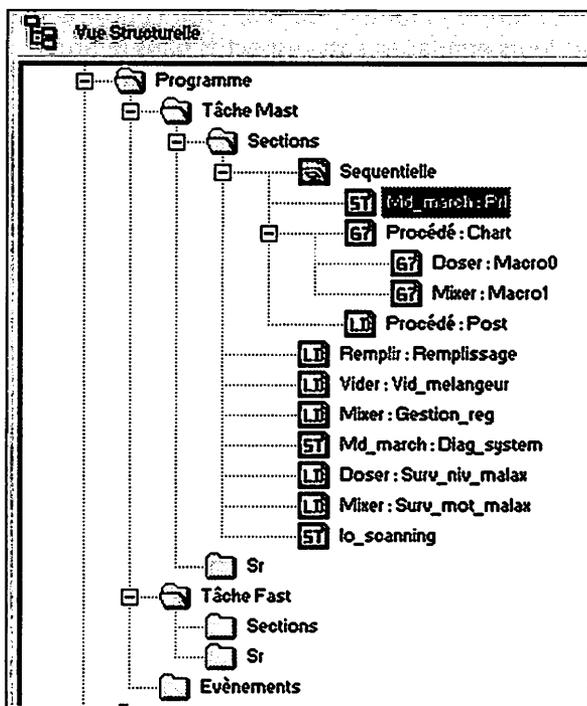


Figure FT 4.6. Définition des modules logiciels et de la structure du programme de l'application (Schneider).

● La programmation des modules logiciels

Chaque module logiciel est écrit dans le langage choisi par le programmeur. Dans le cas de la figure FT 4.7, le module logiciel Md_march : PrI est écrit en langage ST (chapitre 8).

REMARQUE

Le développement des programmes se fait quasiment toujours hors ligne (automate non connecté).

Le diagramme 'Vue Structurelle' à gauche montre la hiérarchie jusqu'à 'Md_march:PrI' (langage ST). À droite, une fenêtre de code affiche le contenu de ce module :

```

(* Mise à jour du voyant cycle en cours *)
IF Dcy THEN
SET Status_cycle;
ELSE RESET Status_cycle;
END_IF;
    
```

Figure FT 4.7. Écriture d'un module logiciel dans le langage ST (Schneider).

2. LES FONCTIONNALITÉS DE MISE AU POINT ET DE MAINTENANCE

● Diagnostic du fonctionnement de l'automate programmable industriel (A.P.I.)

Pour pouvoir faciliter la maintenance, l'accès à différentes informations caractérisant le fonctionnement des différentes cartes montées dans les tiroirs de l'A.P.I. est possible (temps de cycle moyen automate, bon fonctionnement d'une carte d'entrées « tout ou rien », ...).

● Passage du mode arrêt au mode exécution du programme et inversement

Pour pouvoir passer du mode « STOP » (non-exécution du programme) au mode « RUN » (exécution du programme), la solution la plus couramment utilisée est de le faire depuis l'atelier logiciel. Il est également possible de le faire depuis l'A.P.I. lui-même.

● Visualisation dynamique

En cours de fonctionnement (mode « RUN »), dans la phase de mise au point du programme et en phase de diagnostic, l'accès à la visualisation de l'évolution des variables (Figure FT 4.8) est indispensable. Le type (booléen, décimal, ...) de chaque variable est alors affiché ainsi que sa valeur courante. Cette valeur est réactualisée en temps réel en cours d'exécution du programme.

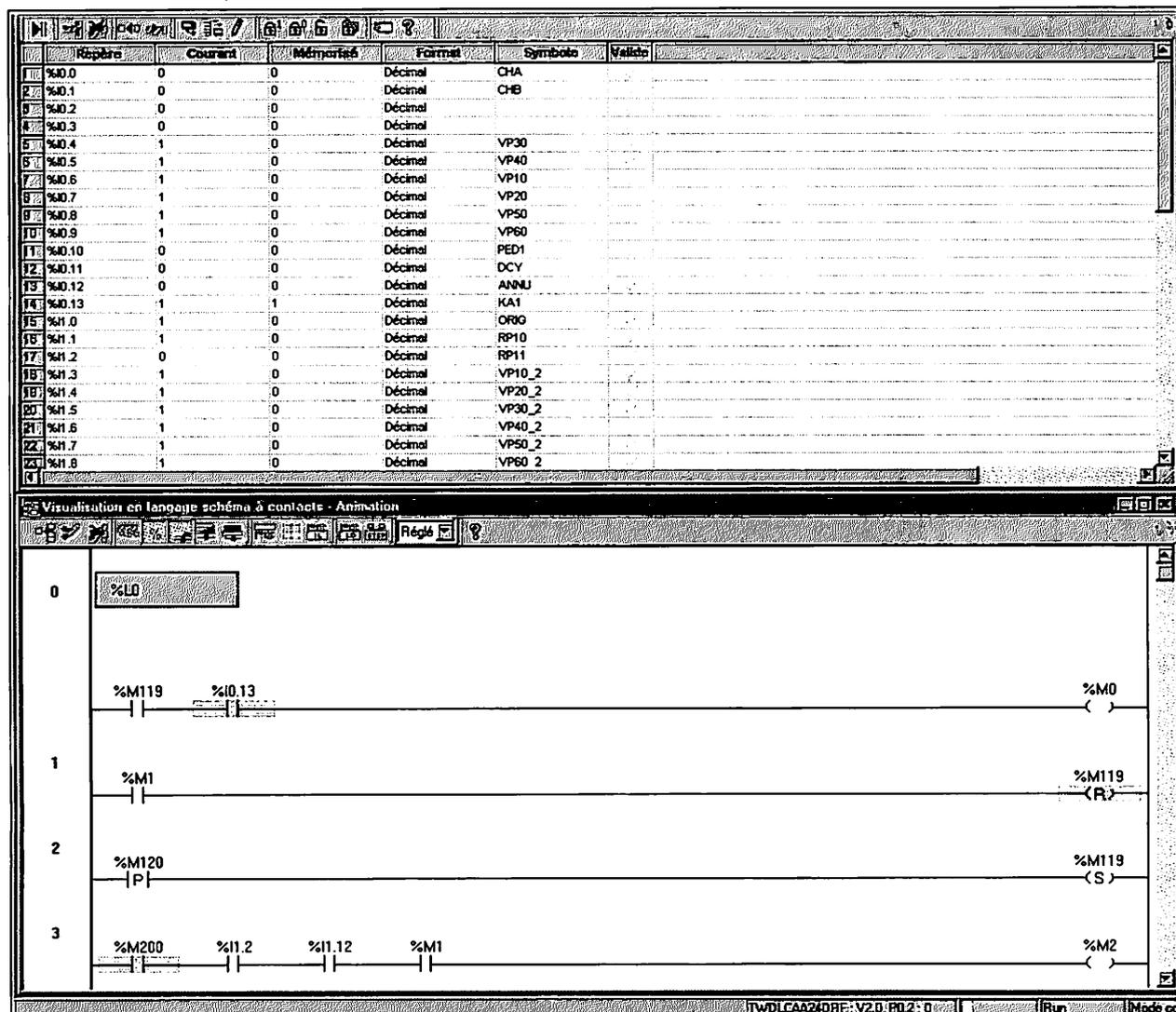


Figure FT 4.8. Visualisation dynamique de l'évolution de variables (mode RUN) (doc. Schneider).

Le « multi-fenêtrage » autorise l'ouverture d'une fenêtre de visualisation dynamique de tables de variables et simultanément d'une fenêtre de visualisation dynamique de modules logiciels (Figure FT 4.8).

La mise en évidence de l'évolution de variables dans un module logiciel peut se faire quel que soit le langage utilisé (SFC dans le cas de la figure FT 4.9).

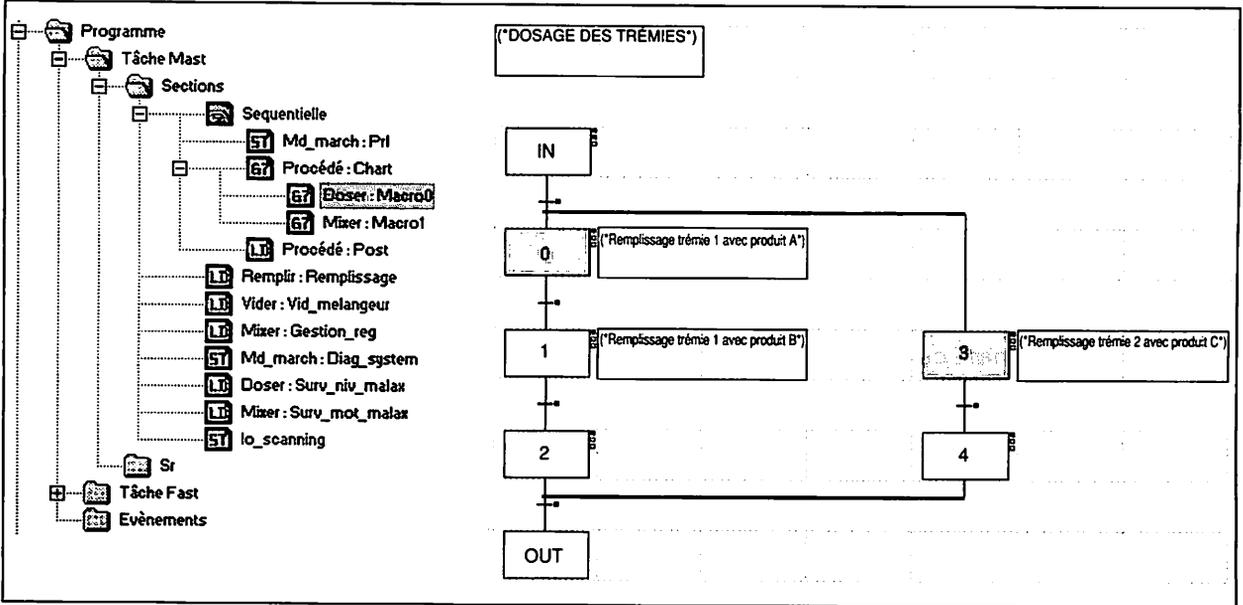


Figure FT 4.9. Visualisation dynamique de la situation de l'expansion d'une macro-étape (module logiciel procédé) (Schneider).

● Écrans d'exploitation

En phase de mise au point d'un programme, il est possible de créer des écrans rappelant un pupitre opérateur et qui permettent d'agir sur des entrées choisies pour pouvoir vérifier un comportement. En agissant par clics sur les boutons poussoirs, des curseurs ou des interrupteurs apparaissant à l'écran (Figures FT 4.10 et FT 4.11), les tests consistent en des paramétrages et des scénarios qui facilitent la vérification de certains modules logiciels du programme.

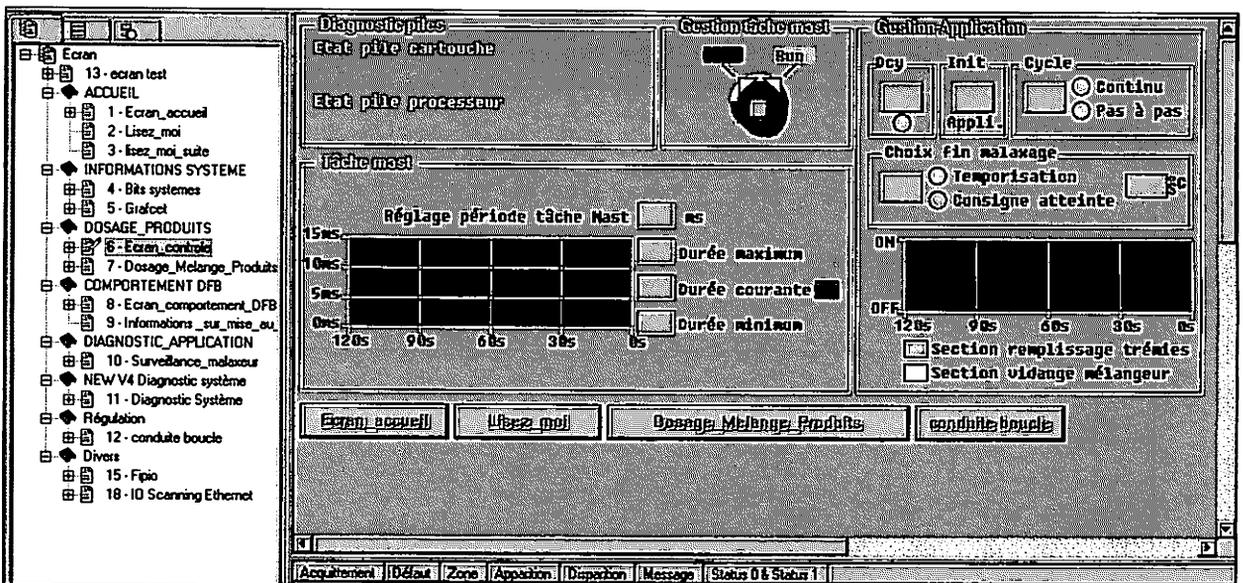


Figure FT 4.10. Écran de contrôle permettant la mise au point de modules logiciels (Schneider).

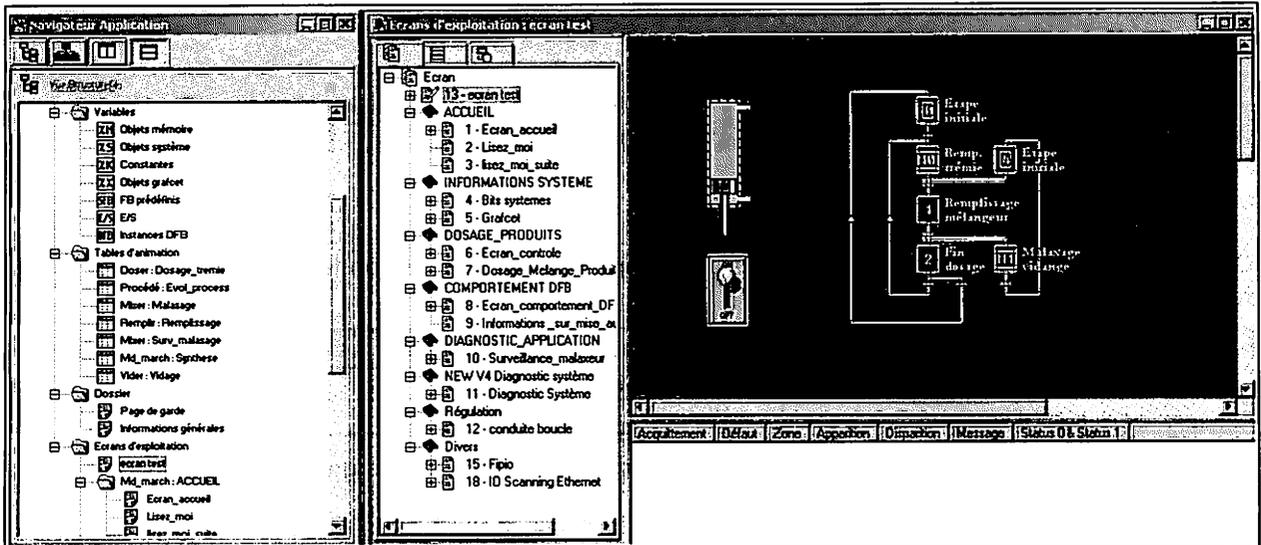


Figure FT 4.11. Écran d'exploitation pour la vérification d'un comportement séquentiel (doc. Schneider).

Ces écrans d'exploitation peuvent être utilisés aussi lorsque la console de programmation est connectée à l'A.P.I. et que le système automatique fonctionne. Ils sont alors utilisés pour faire de la surveillance.

3. LES FONCTIONNALITÉS ANNEXES

● Élaboration de la documentation

Cette fonctionnalité permet au programmeur d'éditer un document personnalisé (programme, module logiciel particulier, variables, écrans, ...).

● Exportation de données et fichiers

La grande majorité des ateliers logiciels permettent de récupérer des programmes écrits avec des versions antérieures de ce même atelier logiciel.

Par ailleurs, toutes les données issues de logiciels de conception électrique assistée par ordinateur (C.A.O. Électrique), les écrans ou images élaborées avec certains logiciels de C.A.O., les données au format texte et issues de tableaux peuvent être importées sans difficultés.

REMARQUE

Ces fonctionnalités sont utilisables en lignes. Certaines modifications mineures de programmes sont possibles, elles demandent de grandes précautions avant de les effectuer, ceci pour éviter de provoquer des dommages au système en fonctionnement.

Actionneurs électriques

On peut distinguer deux classes principales d'actionneurs électriques selon la fonction technique souhaitée :

| Fonction technique assurée | Classe d'actionneur électrique |
|---|---------------------------------------|
| Entraîner une charge en rotation continue | Moteurs rotatifs |
| Entraîner en translation | Vérins linéaires ou moteurs linéaires |

Tous ces actionneurs électriques transforment l'énergie électrique en énergie mécanique.

I. Moteurs rotatifs

Le moteur rotatif est l'actionneur électrique par excellence. Un moteur est un actionneur utilisant de l'énergie électrique pour produire un déplacement angulaire limité ou non.

Selon la nature des courants d'alimentations, les moteurs sont de divers types et offrent des caractéristiques différentes (Figure FT 5.1).

Les choix de la solution s'effectueront en fonction de :

- la relation couple, vitesse (C, ω) (Figure FT 5.2) ;
- le besoin de contrôler l'accélération (ou la décélération) ;
- le besoin de régler la vitesse maximale ;
- le besoin de régulation ou d'asservissement de la vitesse (Figure FT 5.3).

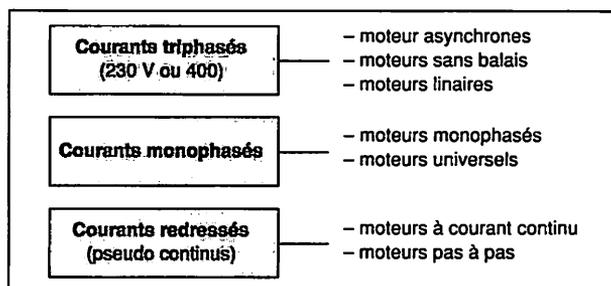


Figure FT 5.1. Panorama des principaux moteurs électriques.

| Couple résistant | Allure du couple | Puissance | Exemple |
|------------------|------------------|------------------------------|---|
| constant | | proportionnelle à ω | Pompes, compresseurs volumétriques, levage, machines-outils, etc. |
| linéaire | | proportionnelle à ω^2 | Identiques aux précédents, mais à grande vitesse. |
| parabolique | | proportionnelle à ω^3 | Pompes, compresseurs centrifuges, ventilateurs, agitateurs, etc. |
| hyperbolique | | constante | Bobineuses, enrouleuses, dérouleuses, tours, etc. |

Figure FT 5.2. Typologie des couples des machines entraînées.

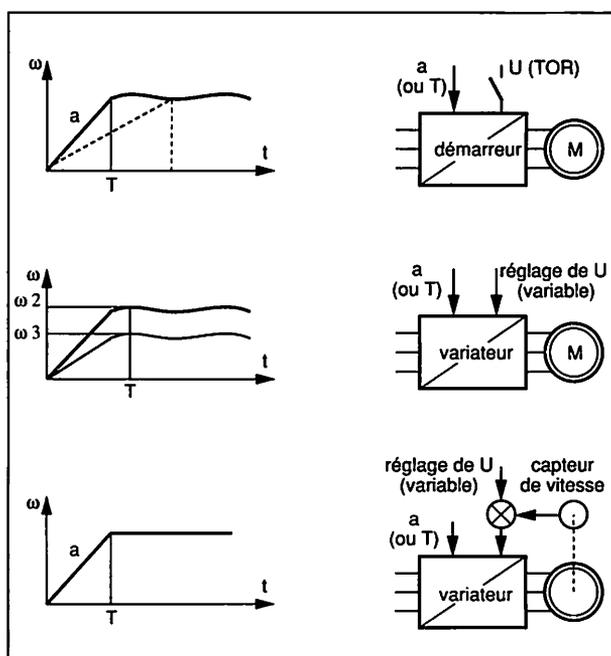


Figure FT 5.3. Besoins de contrôle en vitesse.

Les réponses pourront être multiples, d'autres critères interviennent alors expérience de l'entreprise, préoccupation de maintenance,... (voir FICHE MÉTHODE 7)

1. CARACTÉRISTIQUES COMMUNES

Les moteurs empruntant l'énergie à un réseau pouvant être considéré comme infiniment puissant, ils sont à même de répondre à une demande énergétique dépassant leurs capacités. C'est pour cette raison qu'il est essentiel d'accompagner l'alimentation des moteurs d'une protection adaptée (chapitre 11 et FICHE MÉTHODE 7).

a) Constitution

Les moteurs sont constitués généralement d'une partie fixe le stator ou inducteur (repère 1 sur la figure FT 5.4) et d'une partie mobile (le rotor, repère 3 sur la figure FT 5.4) fournissant l'énergie mécanique.

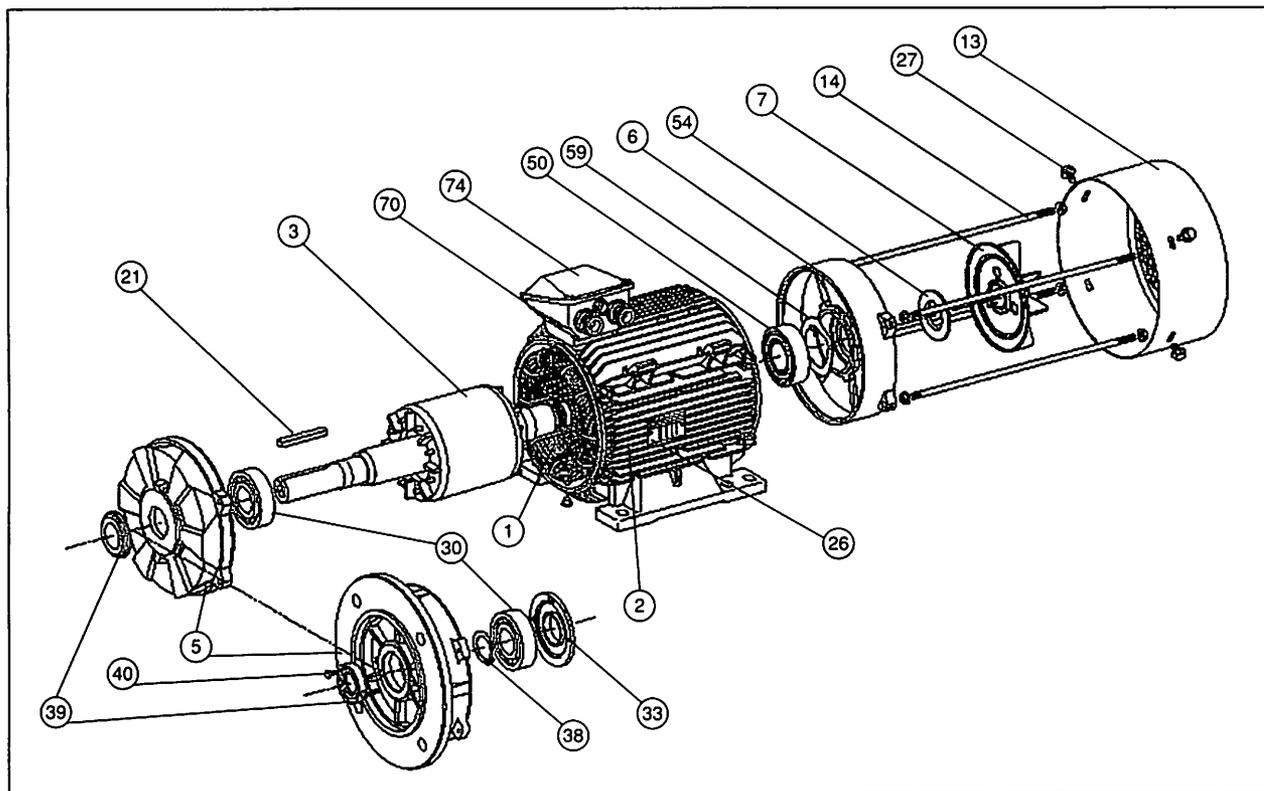


Figure FT 5.4. Moteur asynchrone triphasé (doc. Leroy-Somer).

b) Éléments périphériques

De plus en plus, la demande de réponse globale conduit à envisager à côté de la nécessaire motorisation, nombre de fonctions complémentaires intégrées dès la construction pour garantir une stabilité et une qualité des performances (variateurs, mesure de vitesse et de position, freins, réducteurs, ensembles cinématiques,...).

2. PANORAMA DES PRINCIPALES SOLUTIONS

Le tableau suivant (Figure FT 5.5) présente les solutions les plus utilisées ainsi que la fonction technique correspondante.

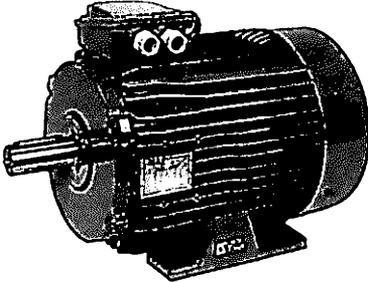
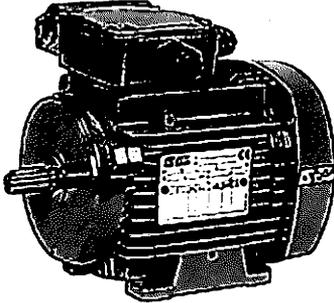
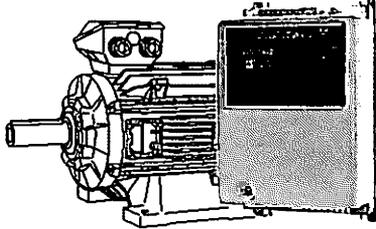
| Caractéristique fonctionnelle souhaitée | Solutions typiques | Caractéristiques techniques usuelles | Commentaires |
|---|--|---|--|
| FAIRE TOURNER LA CHARGE À VITESSE CONSTANTE | <p>Moteur asynchrone triphasé (doc. LEROY-SOMER)</p>  | <p>Puissance : de 0,09 à 900 kW. Alimentation en 230 V / 400 V triphasé Fréquences de rotation standard : 1 000 min⁻¹, 1 500 min⁻¹, 3 000 min⁻¹</p> | <p>C'est le moteur le plus répandu. Sa robustesse et sa simplicité d'entretien en font un actionneur de référence.</p> |
| | <p>Moteur monophasé (doc. LEROY-SOMER)</p>  | <p>Puissance : de 0,09 à 1,8 kW. Alimentation en 230 V monophasé Fréquences de rotation standard : 1 000 min⁻¹, 1 500 min⁻¹, 3 000 min⁻¹</p> | <p>Intéressant pour des puissances faibles et dans le cas d'alimentations monophasées.</p> |
| ADAPTER LA VITESSE | <p>Moteur asynchrone et réducteur mécanique (doc. LEROY-SOMER)</p>  | <p>Moments de couples de sortie jusqu'à 70 000 Nm. Indices de réduction : de 1,6 à plusieurs milliers (possibilité de mettre plusieurs réducteurs en cascade).</p> | <p>Possibilité de sortie axiale (cliché) ou radiale. Existents sous divers principes : engrenages parallèles, hélicoïdaux, trains planétaires, roue et vis sans fin, engrenage à couple conique.</p> |
| CONTRÔLER LE DÉMARRAGE ET L'ARRÊT | <p>Moteur asynchrone et démarreur (doc. LEROY-SOMER)</p>  | <p>De 6 à 900 A. De 2,2 à 500 kW. Appareils multi-tensions. Le produit standard peut être raccordé sur n'importe quel réseau dont la tension est comprise entre 220 et 500 V (50 ou 60 Hz).</p> | <p>Le démarreur permet : – de limiter l'appel de courant ; – diminuer les chocs mécaniques ; – ralentir progressivement.</p> |

Figure FT 5.5. Fonctions et caractéristiques des principales solutions de motorisations de rotation.

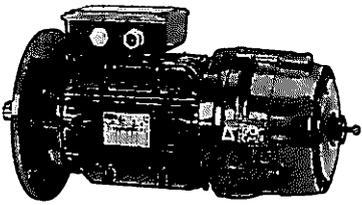
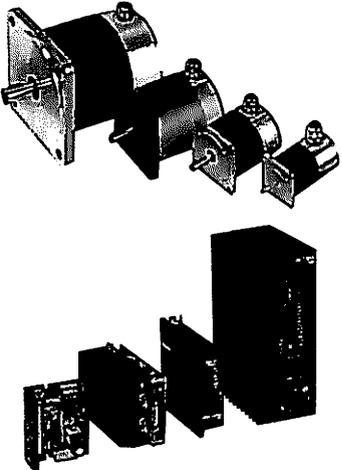
| Caractéristique fonctionnelle souhaitée | Solutions typiques | Caractéristiques techniques usuelles | Commentaires |
|--|--|--|---|
| <p>ASSURER UN ARRÊT RAPIDE OU UN MAINTIEN EN POSITION</p> | <p>Moteur frein (asynchrone) (doc. LEROY-SOMER)</p>  | <p>Moment du couple de freinage de 1,5 Nm à 2 400 Nm</p> | <p>Le moteur frein associé en un seul ensemble le moteur et le frein. Le frein permet d'arrêter le moteur et la cinématique entraînée et de les maintenir immobiles.</p> <p><i>Utilisation :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – temps d'arrêt réduit et précis; – immobilisation en cas d'arrêt d'urgence; – maintien d'un organe sous charge. <p>La majorité des freins sont actionnés au repos et libérés quand la tension est appliquée.</p> |
| <p>CONTRÔLER LA VITESSE ET LA POSITION EN BOUCLE OUVERTE</p> | <p>Moteur pas à pas et commande (doc. SOCITEC)</p>  | <p>Gamme :</p> <p>Typique : 100 à 1 000 pas par tour en standard. Il est possible d'aller jusqu'à 50 000 pas par tour.</p> <p>Couple : 15 Nm.</p> | <p>Les moteurs pas à pas présentent des avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> – commande plus simple (boucle ouverte) ; – couple à l'arrêt très élevé (freins inutiles), élevé à basse vitesse. <p>Toutefois, les moteurs pas à pas offrent les inconvénients suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> – gamme de puissance limitée ; – faibles performances à basse vitesse ; – diminution du couple avec la vitesse ; – risque de calage ou de perte de position en fonctionnement. |
| <p>CONTRÔLER LA VITESSE ET LA POSITION EN BOUCLE FERMÉE</p> | <p>Ensemble à moteur à courant continu à aimants permanents haute performances (doc. PARVEX AUTOMATION)</p>  <p>Ensemble à moteur à courant continu discoïde (doc. PARVEX AXEM)</p>  | <p>Jusqu'à 13 Nm en couple.</p> <p>Jusqu'à 20 Nm en couple.</p> <p>Son rotor disque, composé uniquement de cuivre et d'isolant, autorise une haute dynamique, une excellente régularité de marche à basse vitesse, ainsi qu'un fonctionnement silencieux et exempt de vibration.</p> | <p>Utilisés fréquemment avec des variateurs, ces moteurs offrent une solution économique pour la réalisation de très nombreux servomécanismes. Ils sont particulièrement destinés aux systèmes de faible puissance en ambiance propre.</p> <p>Type de moteur très utilisé durant de nombreuses années en robotique, le moteur discoïde conserve sa supériorité dans les applications requérant une très bonne qualité de rotation. Ses atouts sont principalement liés à sa fiabilité, son niveau sonore et son aspect économique.</p> |

Figure FT 5.5. Fonctions et caractéristiques des principales solutions de motorisations de rotation (suite).

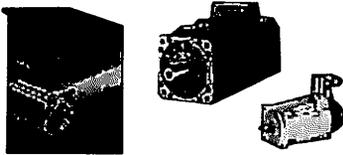
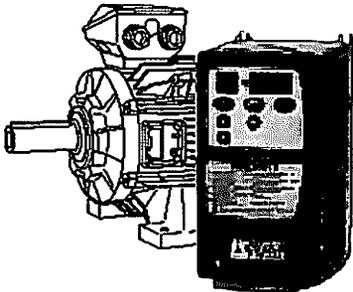
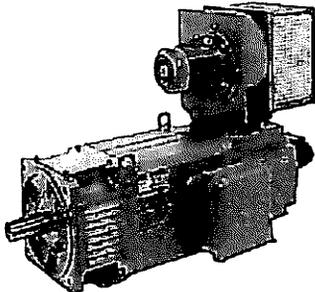
| Caractéristique fonctionnelle souhaitée | Solutions typiques | Caractéristiques techniques usuelles | Commentaires |
|---|---|---|--|
| <p>CONTRÔLER LA VITESSE ET LA POSITION EN BOUCLE FERMÉE</p> | <p>Ensemble à moteur brushless (doc. PARVEX)</p>  | <p>Moment du couple de 1 à 320 Nm.</p> | <p>Solution très intégrée (variateur, mesure) qui présente de nombreux avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> – couple élevé à haute vitesse ; – régularité de marche aux basses vitesses ; – bande passante élargie et dynamique élevée ; – grande raideur à l'arrêt. <p>Initialement destinées aux applications exigeantes, cette solution se développe fortement dans nombre de secteurs.</p> |
| FAIRE VARIER LA VITESSE | <p>Moteur asynchrone avec variateur (doc. LEROY-SOMER)</p>  | <p>Gamme de variation de vitesse de 5 à 200 % de la vitesse nominale.</p> | <p>L'association variateur de vitesse en E/f encore appelé variateur de fréquence et le moteur asynchrone a largement supplanté sur ce domaine les moteurs à courant continu, plus difficiles d'entretien.</p> <p>Toutefois, cette technique n'est pas adaptée aux très basses vitesses.</p> |
| | <p>Moteur à courant continu (doc. LEROY-SOMER)</p>  | <p>Gamme de puissance : de 0,06 kW à 1 000 kW. Tensions nominales d'alimentation : 190 V (réseau mono : 230 V) ; 440 V (réseau tri 400 V)</p> | <p>Solution conventionnelle par excellence pour les applications nécessitant de la vitesse variable, notamment le travail à couple constant en basse vitesse.</p> <p>Les moteurs sont à inducteur bobiné, sauf pour des puissances < 3 kW, où des moteurs à aimants permanents sont proposés.</p> |
| FAIRE TOURNER À VITESSE ÉLEVÉE | <p>Moteur broche (doc. PARVEX AUTOMATION)</p>  | <p>Pilotés par les variateurs et compacts ces moteurs offrent une gamme de couple de 4 à 1 250 Nm (1 500 Nm crête) pour des vitesses jusqu'à 50 000 tr/min.</p> | <p>Utilisation principale pour les broches des machines d'usinage à grande vitesse (UGV).</p> |

Figure FT 5.5. Fonctions et caractéristiques des principales solutions de motorisations de rotation (suite).

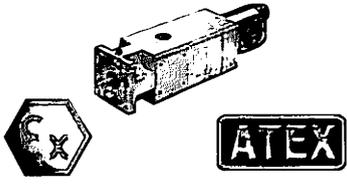
| Caractéristique fonctionnelle souhaitée | Solutions typiques | Caractéristiques techniques usuelles | Commentaires |
|---|---|---|--|
| UTILISER DANS DES MILIEUX DÉFLAGRANTS | <p>Moteur antidéflagrant (doc. PARVEX AUTOMATION)</p>  | <p>Couple 10 Nm. Vitesse maximale : 4 000 tours/min</p> | <p>Matériel antidéflagrant « d » selon la directive ATEX 94/9/CE. Très compact, bien adapté pour les systèmes embarqués. Dynamique élevée. Resolver intégré ne nécessitant pas de codeur supplémentaire.</p> |

Figure FT 5.5. Fonctions et caractéristiques des principales solutions de motorisations de rotation (fin).

II. Vérins électriques et moteurs linéaires

Deux techniques principales sont utilisées pour réaliser la fonction « assurer un mouvement de translation ». La première utilise une motorisation classique et associe une chaîne cinématique de transformation de mouvement (vérin électrique). La seconde utilise un moteur linéaire.

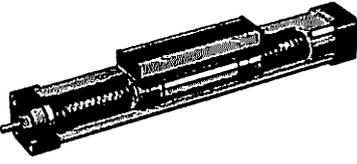
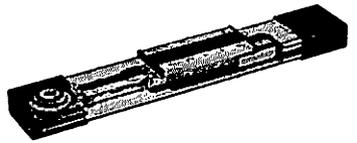
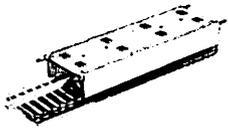
| Caractéristique fonctionnelle souhaitée | Solutions typiques | Caractéristiques techniques usuelles | Commentaires |
|---|---|---|--|
| RÉALISER UN MOUVEMENT DE TRANSLATION ENTRE DEUX POSITIONS | <p>Vérin électrique à vis (doc. HOERBIGER ORIGA)</p>  <p>Vérin électrique à courroie crantée (doc. HOERBIGER ORIGA)</p>  | <p>Vitesse jusqu'à 1,25 m/s. – Précision de $\pm 0,05$ mm. – Protection IP 54. – Course au mm près jusqu'à 3,2 mètres en standard. – Plusieurs pas de vis possibles 5, 10, 25 et 50 mm.</p> <p>Vitesse jusqu'à 5 m/s. Précision de $\pm 0,05$ mm.</p> <p>Course au mm près jusqu'à 5 mètres en standard. Plusieurs sorties d'arbre en option.</p> | <p>Ces vérins, à palette ou à système vis écrou à billes pouvant entraîner une charge en translation, entre deux positions réglables par détecteurs. La motorisation peut être réalisée par les différents moteurs (asynchrone, pas à pas continu, brushless) en désaxé ou dans le prolongement.</p> |
| RÉALISER ET CONTRÔLER UN MOUVEMENT DE TRANSLATION | <p>Moteur linéaire cylindrique (doc. TRANSTECHNIK)</p>  <p>Moteur linéaire plat (doc. TRANSTECHNIK)</p>  | <p>– Force jusqu'à 200 N. – Vitesse max : 4 m/s. – Accélération maxi : 280 m/s^2. – Course maxi : 1 500 mm. – Capteur de mesure : interne.</p> <p>– Force jusqu'à 5 000 N. – Vitesse max : 15 m/s. – Course max : illimitée. – Règle de mesure : externe.</p> | <p>Existe en version complètement intégrée avec embases, guidages, capteurs de déplacement, etc. Cette solution commence à se développer notamment dans les machines automatiques d'assemblage.</p> |

Figure FT 5.6. Principales solutions de motorisation pour déplacement linéaire.

Actionneurs pneumatiques

Les actionneurs pneumatiques, loin d'appartenir à une technologie en voie de disparition, sont actuellement très utilisés au sein des systèmes automatiques pour leur robustesse, leur souplesse d'utilisation et leur simplicité de mise en œuvre. On distingue trois classes principales d'actionneurs pneumatiques selon la fonction technique souhaitée.

| Fonction technique assurée | Classe d'actionneur pneumatique |
|---|---|
| Entraîner en translation ou en rotation Maintenir en position un objet | Vérins linéaires ou rotatifs <i>Les courses sont limitées</i> |
| Saisir un objet | Préhenseurs tels que pinces et ventouses <i>L'effecteur est souvent intégré à l'actionneur</i> |
| Entraîner un objet en rotation continue | Moteurs pneumatiques |

I. Vérins linéaires et rotatifs

Un vérin est un actionneur utilisant de l'énergie pneumatique pour produire un déplacement linéaire limité à sa course. Les vérins pneumatiques sont alimentés par de l'air comprimé (éventuellement un gaz neutre) filtré sous une pression comprise entre 1 et 10 bars (0,1 à 1 MPa). Certains vérins nécessitent l'utilisation d'air lubrifié pour fonctionner dans de bonnes conditions. Les caractéristiques cinématiques des vérins sont limitées par la taille des raccords d'alimentation, des tuyauteries, des distributeurs, par les caractéristiques intrinsèques du vérin et des divers composants intégrés dans le circuit (voir FICHE MÉTHODE B).

1. CARACTÉRISTIQUES COMMUNES

a) Vérins simple effet et vérins double effet

Un *vérin simple effet* ne peut produire un effort significatif que dans un seul sens, le rappel de tige vers sa position de repos étant assuré par un ressort lorsque la chambre de travail est reliée à l'air libre. Un *vérin double effet* (Figure FT 6.1) doit être rappelé en position initiale par inversion d'alimentation des deux chambres. Un tel vérin peut produire un effort dans le sens de la sortie de tige comme dans le sens inverse. Dans ce dernier cas, cette force est inférieure à la précédente en raison de la présence de la tige qui réduit la surface de poussée sur laquelle agit l'air comprimé.

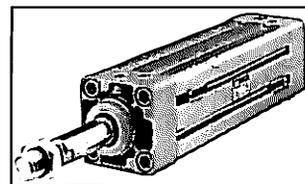
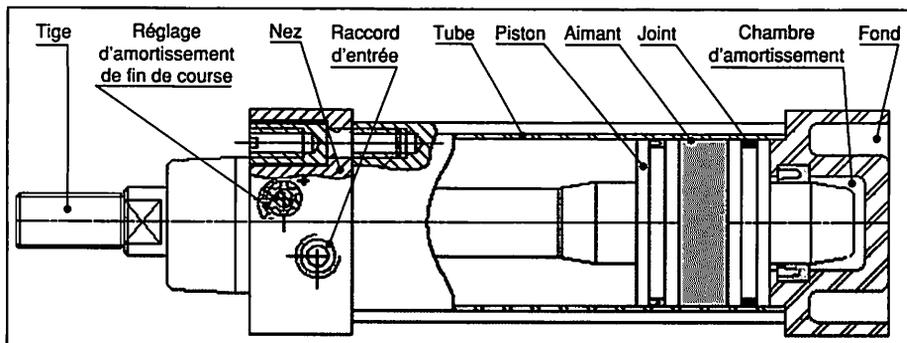


Figure FT 6.1. Structure d'un vérin linéaire standard double effet (à droite : SMC).

b) Détecteurs associés

La plupart des vérins sont maintenant équipés d'un piston magnétique capable d'activer des détecteurs à lame souple (ILS) ou des détecteurs inductifs montés directement sur le vérin (voir FICHE TECHNIQUE 2).

c) Amortissement intégré

En utilisation dynamique, un vérin doit être en mesure de dissiper l'énergie cinétique de l'ensemble des éléments mobiles liés à sa tige à l'arrivée en fin de course. Pour cela, les vérins sont dotés de dispositifs d'amortissement pneumatique réglables, réalisant un laminage de l'air en fin de course. Les chocs lors des arrêts répétés sont alors amoindris, augmentant la durée de vie du vérin et de la mécanique associée. Pour les micro ou mini vérins, le dispositif se limite à une butée élastomère. Il est parfois nécessaire de prendre en compte la capacité d'amortissement d'un vérin lors de son dimensionnement.

d) Vérins standard

De nombreuses normes (AFNOR NFE 49 001, CNOMO 06-07-02, ISO6431 et 6432, CETOP RP 52P, UNI 10290, VDMA 24 562) définissent précisément l'encombrement des vérins standard ainsi que celui de leurs fixations de manière à les rendre totalement interchangeables. D'une manière générale, la quasi-totalité des vérins standard utilisés actuellement répondent au standard ISO. Il en existe deux types :

| | Micro vérins ou mini vérins | Vérins standard |
|-----------|-----------------------------|-------------------|
| Norme : | ISO 6432 | ISO 6431 |
| Diamètres | 8, 10, 12, 20 et 25 mm | 32 à 320 mm |
| Course | de 10 à 500 mm | de 25 à 1 000 mm |
| Effort | jusqu'à 30 daN | jusqu'à 4 800 daN |
| Vitesse | 0,05 à 1,5 m/s | 0,05 à 0,5 m/s |

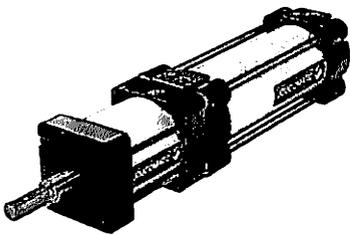
REMARQUE

Les constructeurs proposent également une gamme de micro vérins, généralement simple effet dont les diamètres sont compris entre 2,5 et 6 mm, les courses entre 5 et 25 mm, les efforts entre 1,7 et 14 N pour des masses allant de 1,7 à 21 grammes.

Pour le dimensionnement des vérins standard (voir FICHE MÉTHODE 8).

2. VÉRINS LINÉAIRES SPÉCIAUX

Il existe de très nombreuses architectures de vérins répondant à des besoins particuliers. Le tableau suivant présente les plus utilisés ainsi que la fonction technique correspondante. Certains vérins associent plusieurs fonctions, « sans tige » + « guidage » par exemple.

| Caractéristique fonctionnelle souhaitée | Vérin adapté | Caractéristiques techniques usuelles <i>D</i> : diamètre, <i>V</i> : vitesse | Commentaires |
|---|--|---|--|
| IMMOBILISER LA CHARGE EN TOUTE POSITION | Vérin à frein mécanique intégré (doc. JOUCOMATIC)  | <i>D</i> = 32 à 100 mm. Course = 25 à 1 000 mm. Capacité de maintien statique : 1 000 à 8 000 N. Capacité de blocage dynamique pour une charge verticale : 500 kg à 0,5 m/s en 50 mm pour un diamètre 100 mm. | Le système de blocage est mécanique, le déverrouillage du frein étant piloté pneumatiquement (commande à manque de pression). <i>Généralement utilisé pour des raisons de sécurité, sur des mouvements potentiellement dangereux.</i> |

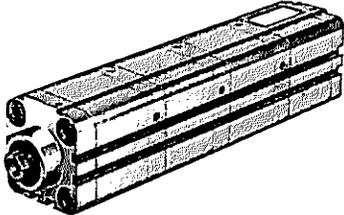
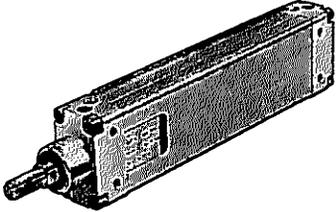
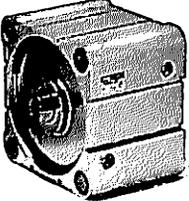
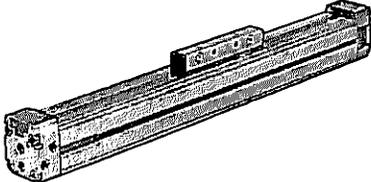
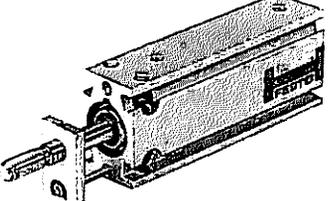
| Caractéristique fonctionnelle souhaitée | Vérin adapté | Caractéristiques techniques usuelles <i>D</i> : diamètre, <i>V</i> : vitesse | Commentaires |
|--|--|--|--|
| FOURNIR UN EFFORT IMPORTANT | Vérin tandem (doc. FESTO)  | $D = 25$ à 100 mm. Course = 1 à 150 mm. $F_{\max} = 18\,000$ N pour un diamètre de 100 mm. | Il s'agit en fait de deux, trois ou quatre vérins associés sur la même tige et fournissant un effort double, triple ou quadruple. <i>Adaptés aux opérations de marquage, poinçonnage, formage, etc.</i> |
| POSSÉDER UN ENCOMBREMENT MINIMAL | Vérin plat, vérin à corps rectangulaire (doc. FESTO)  | $D = 25$ à 63 mm. Course = 5 à $1\,000$ mm. Si anti-rotation : couple axial maxi sur la tige 2 Nm. | L'encombrement radial est faible dans une direction (jusqu'à trois fois moindre que celui d'un vérin standard de même diamètre), permettant une implantation dans des zones étroites. Le piston à section ovale permet d'éviter la rotation de la tige autour de son axe (anti-rotation). |
| | Vérin compact (doc. SMC)  | $D = 4$ à 125 mm. $D = 140$ à 200 mm pour les modèles « gros diamètre ». Course = $2,5$ à 80 mm, jusqu'à 300 mm pour les gros diamètres. | La faible course de ces vérins permet un encombrement axial minimal. La tige peut être carrée (anti-rotation) ou creuse et traversante (passage de fluides). Le temps de réponse est faible. <i>Utilisations : serrage, blocage, éjection, indexage, etc.</i> |
| | Vérin sans tige (doc. FESTO)  | $D = 6$ à 80 mm. Course = 10 à $4\,000$ mm. $V_{\max} = 1$ m/s. | Les vérins sans tige possèdent un encombrement axial réduit de moitié pour une course donnée. L'entraînement est magnétique, à câble ou à doigt coulissant dans une rainure du tube. En l'absence de tige, les efforts fournis sont identiques dans les deux sens. <i>Ils sont systématiquement utilisés pour les courses importantes.</i> |
| INTERDIRE LA ROTATION DE LA TIGE AUTOUR DE SON AXE | Vérin anti-rotation (doc. FESTO)  | Généralement sur vérins compacts. Couple maxi = $0,04$ à $0,45$ Nm si tige anti-rotation, 2 Nm si piston ovale. Les vérins compacts à deux tiges supportent des efforts radiaux importants (30 daN à 100 mm de sortie). | L'immobilisation en rotation de la tige est réalisée soit par une ou deux tiges parallèles fixées sur une pièce mobile, soit par la forme particulière de la tige (section carrée) ou du piston (section ovale). ATTENTION : D'une manière générale, les systèmes anti-rotation de tige ne sont pas dimensionnés pour assurer le guidage d'une charge. |

Figure FT 6.2. Fonctions et caractéristiques principales des vérins linéaires spéciaux.

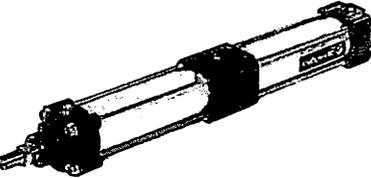
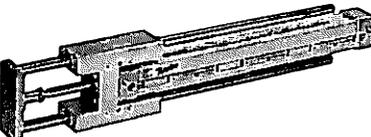
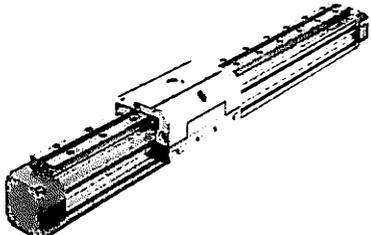
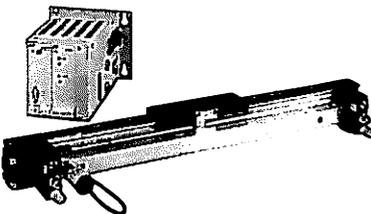
| Caractéristique fonctionnelle souhaitée | Vérin adapté | Caractéristiques techniques usuelles <i>D</i> : diamètre, <i>V</i> : vitesse | Commentaires |
|--|---|---|--|
| RÉSISTER À LA CORROSION | Vérin inox (doc. SMC)  | $D = 25$ à 100 mm. Résiste bien aux solutions acides ou alcalines ainsi qu'aux solvants. | Leur conception (surfaces lisses permettant l'écoulement des fluides) et les matériaux utilisés permettent à ces vérins de résister à des environnements très agressifs : industries chimiques, engins marins, etc. |
| PERMETTRE TROIS OU QUATRE POSITIONS D'ARRÊT | Vérin multi-positions (doc. JOUCOMATIC)  | $D = 25$ à 200 mm. Course totale jusqu'à 2000 mm. Positions d'arrêt fixes. | Les trois ou quatre positions fixes sont réalisées par l'association interne de deux ou trois vérins de courses différentes. <i>Utilisation</i> : manipulateurs préhenseurs, palettiseurs, etc. |
| GUIDER LA CHARGE | Vérin à guidages intégrés (doc. HOERBIGER)  | $D = 32$ à 100 mm. Course jusqu'à 500 mm. $V_{\max} = 1$ m/s. Effort radial en bout de tige : 1000 N à 100 mm de sortie pour un diamètre 100 mm. | La tige d'un vérin standard ne peut supporter que des efforts radiaux faibles. Dans le cas contraire, il est nécessaire de reprendre ces efforts au moyen d'un guidage approprié. Les constructeurs proposent des ensembles vérin + guidage intégré prêts à monter. |
| | Module de translation (doc. FESTO)  | $D = 8$ à 80 mm. Course = 10 à 3000 mm. $V_{\max} = 1$ m/s avec guidage lisse ; $V_{\max} = 3$ m/s avec guidage à recirculation de billes. | Ces modules sont constitués d'un vérin sans tige autour duquel d'autres fonctions ont été intégrées : guidage de la charge, détection de fin de course, amortissement pneumatique ou hydraulique en fin de course, connectique électrique et pneumatique. Leur faculté d'assemblage modulaire simplifie considérablement la conception et la réalisation. |
| CONTRÔLER LA VITESSE ET LA POSITION EN BOUCLE FERMÉE | Vérin asservi (doc. REXROTH)  | $D = 25$ à 32 mm. Courses = 1 m et plus. $V_{\max} = 1$ m/s. Fidélité : $0,2$ mm sur la course maxi. | Ce vérin est piloté par une servo-valve pneumatique. Un capteur intégré renseigne la commande numérique associée sur la position et la vitesse de déplacement. Cette technologie est fortement concurrencée par les axes motorisés électriques. |

Figure FT 6.2. Fonctions et caractéristiques principales des vérins linéaires spéciaux (suite).

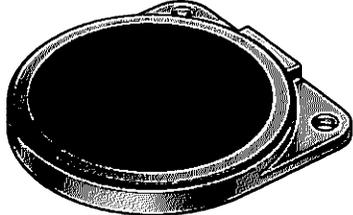
| Caractéristique fonctionnelle souhaitée | Vérin adapté | Caractéristiques techniques usuelles <i>D</i> : diamètre, <i>V</i> : vitesse | Commentaires |
|--|--|--|---|
| SERRER EN S'ADAPTANT À DES SURFACES INÉGALES | Vérin à soufflets, module de serrage (doc. FESTO)  | Vérin à soufflets <i>D</i> = 145 à 250 mm. Course = 60 à 185 mm Effort = 1 300 à 18 500 N. Module de serrage <i>D</i> = 12 à 63 mm. Course = 3 à 5 mm. Effort : 55 à 1 700 N. Pas de pièces mobiles et de joints d'étanchéité. | Leur souplesse permet le serrage ou le levage de pièces de formes inégales et/ou de dimensions légèrement variables. Les efforts développés sont très importants. Ces vérins ne possédant pas de limitation de leur course, ils doivent fonctionner au contact d'une pièce. |

Figure FT 6.2. Fonctions et caractéristiques principales des vérins linéaires spéciaux (fin).

3. VÉRINS ROTATIFS

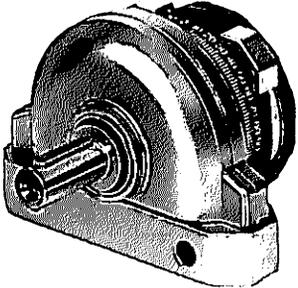
| Type de ventouse | Exemple | Caractéristiques | Utilisation |
|-----------------------------------|--|---|---|
| RÉALISER UN MOUVEMENT DE ROTATION | Vérin oscillant (doc. FESTO)  | <i>D</i> = 10 à 40 mm. Rotations entre 0 et 184°. Couple = 0,5 à 20 Nm. Fréquence maxi = 3 Hz. | Ces vérins, à palette ou à système pignon crémaillère peuvent entraîner une charge en rotation entre deux positions angulaires réglables. Indiqué pour les opérations de retournement ou d'orientation. Ils peuvent assurer le guidage en rotation. |

Figure FT 6.3. Fonctions et caractéristiques principales des vérins rotatifs usuels.

II. Préhenseurs pneumatiques

1. PINCES PNEUMATIQUES

Une pince pneumatique comprend généralement les composants suivants :

- un actionneur pneumatique intégré dans un corps cylindrique ou parallélépipédique possédant des surfaces prévues pour la fixation de l'actionneur ;
- des doigts de serrage ou pré-mors guidés en rotation ou en translation et percés de trous de fixation de manière à pouvoir y fixer des mors adaptés à la géométrie spécifique de la pièce à manipuler ;
- des butées réglables ;
- des détecteurs de fin de course réglables ;
- un système de maintien du serrage en cas de coupure d'énergie.

Les pinces permettent un positionnement très précis de la pièce à manipuler ce qui autorise leur utilisation dans les procédés d'assemblage et les procédés de manipulation où les contraintes de positionnement sont importantes.

On peut classer les pinces par type de serrage, le mode parallèle étant le plus répandu (Figure FT 6.4).

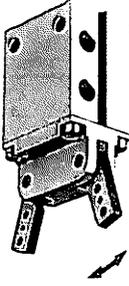
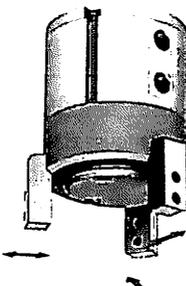
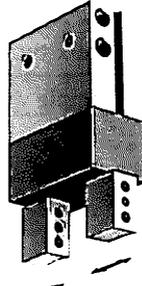
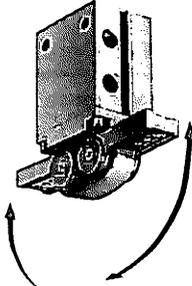
| Type de serrage | Serrage angulaire extérieur ou intérieur | Serrage concentrique intérieur ou extérieur | Serrage parallèle extérieur ou intérieur | Serrage angulaire à ouverture totale |
|-----------------------|---|---|---|---|
| Diamètre de piston | $D = 10 \text{ à } 40 \text{ mm}$ | $D = 16 \text{ à } 125 \text{ mm}$ | $D = 6 \text{ à } 40 \text{ mm}$ | $D = 10 \text{ à } 50 \text{ mm}$ |
| Couple ou effort | $C = 0,10 \text{ à } 1,4 \text{ N.m}$ | $F = 30 \text{ à } 1200 \text{ N}$ | $F = 10 \text{ à } 250 \text{ N}$ | $C = 0,07 \text{ à } 8 \text{ N.m}$ |
| Course d'ouverture | $30 \text{ à } 40^\circ$ | $5 \text{ à } 32 \text{ mm}$ au diamètre | $4 \text{ à } 28 \text{ mm}$ | 180° |
| Commentaire | Couple constant | Grande précision effort de préhension élevé | Bonne répétabilité ($\pm 0,01 \text{ mm}$) | Couple constant, libère la pièce sans faire obstacle |
| Exemples (doc. FESTO) |  |  |  |  |

Figure FT 6.4. Pinces pneumatiques : types de serrages et performances courantes.

2. VENTOUSES

Ce sont des préhenseurs agissant par dépression et qui possèdent de nombreux avantages : coût modique, masse faible, compliance due à leur forme et à leur souplesse, aucune trace laissée sur la pièce manipulée. En revanche, les ventouses sont fragiles, fonctionnent bruyamment, consomment de l'air comprimé et ne permettent pas un positionnement très précis. En tout état de cause, cette technologie est en constante expansion dans les industries faisant appel à la manipulation (magasinage, levage, transport, montage, etc.)

Une ventouse développe un effort qui est le produit de la surface (s) de contact avec la pièce saisie et soumise à la dépression par la pression relative (P_r), soit : $F = P_r \cdot S$.

EXEMPLE

Une ventouse de diamètre 100 mm, alimentée sous une pression de 50 % de la pression atmosphérique développe un effort théorique de 392 N.

La dépression est couramment obtenue par un « éjecteur » à buse ou venturi lorsque la ventouse est isolée (Figure FT 6.5). Les avantages des éjecteurs à effet venturi sont les suivants : simplicité, durée de vie (pas de pièce mobile), compacité, légèreté, modicité du coût. Les inconvénients résident dans la consommation importante d'air comprimé et dans le bruit en fonctionnement normal qu'il convient d'évaluer avant de choisir ce type d'actionneur. Si le nombre de ventouses mises en œuvre est important, il est préférable de produire la dépression au moyen d'une pompe à vide mécanique (à palettes par exemple) ou d'une turbine aspirante, afin d'assurer un débit suffisant.

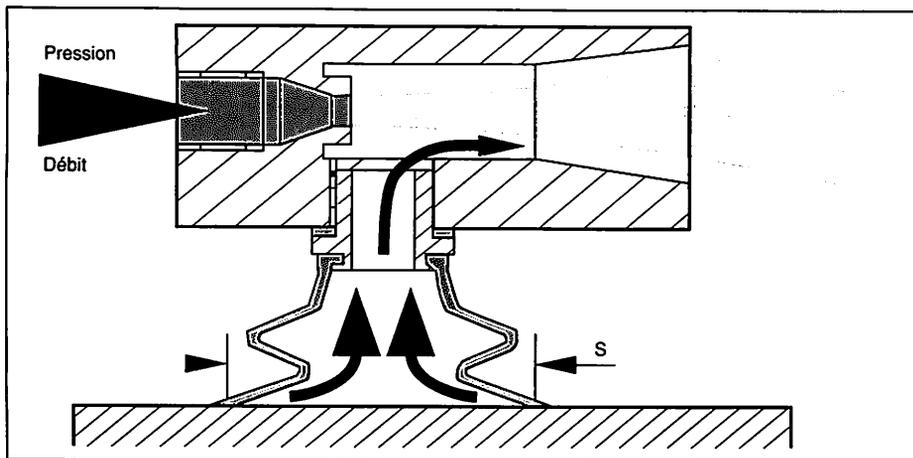


Figure FT 6.5. Principe de fonctionnement d'un système pneumatique «ventouse + éjecteur».

La figure FT 6.6 présente les principaux types de ventouses.

| Type de ventouse | Exemple | Caractéristiques | Utilisation |
|----------------------|---------|--|--|
| Ventouse plate | | Ventouse classique. Diamètre 2 mm à 200 mm. Force d'aspiration de 0,1 à 1 600 N sous une dépression relative de - 0,7 bars. | Pièces non déformables, à surface lisse et plane. |
| | | Ventouse nervurée. Les nervures intérieures font butée, empêchant la déformation de l'objet lors de l'aspiration. | Pièces minces et déformables : papier, carton, plastique, etc. |
| Ventouse à soufflets | | Le soufflet permet une compensation de niveau ainsi qu'un rotulage d'environ 5°. | Pièces de taille ou d'orientation variable, compensation de hauteur. |
| Ventouse ovale | | La largeur de la ventouse est faible devant sa longueur. | Pièces étroites et longues : profilés, tubes, etc. |
| Ventouse profonde | | Sa hauteur plus importante lui permet des grandes déformations. | Pièces cylindriques ou de surface irrégulière. |

Figure FT 6.6. Typologie des ventouses industrielles (Doc. FESTO).

La détermination d'une ventouse est une opération délicate, puisqu'il faut quantifier les accélérations, les inerties et surtout la force de maintien (particulièrement difficile lorsque la surface de la pièce à saisir est poreuse ou bien irrégulière). En pratique, on utilise des coefficients de sécurité variant entre 2 et 4 lors des calculs des forces de maintien. Certains constructeurs, comme FESTO, proposent des logiciels d'aide au dimensionnement des ventouses pneumatiques. (voir FICHE SYSTÈME 2), pour un exemple d'utilisation de ventouse pneumatique.

III. Moteurs pneumatiques

Il existe plusieurs moyens pour produire un mouvement de rotation continu à l'aide d'un débit d'air comprimé. Le plus courant est le moteur à palettes qui est fréquemment utilisé dans les outillages portables ainsi que dans les broches d'usinage (visseuses, meuleuses, perceuses, etc.). Le principe d'un tel moteur est décrit par la figure FT 6.7.

Les moteurs pneumatiques présentent de nombreux avantages :

- légèreté (bonne puissance massique);
- fonctionnement permanent sans limitations dues à l'échauffement;
- robustesse vis à vis de l'environnement;
- protection du moteur inutile (calage sans danger intrinsèque);
- vitesses très élevées (jusqu'à 30 000 rpm).

En revanche, ils sont limités en puissance (10 kW environ), et ne permettent pas une variation contrôlée de la vitesse.

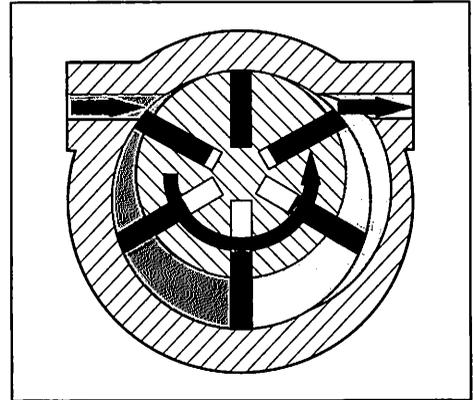


Figure FT 6.7. Principe du moteur pneumatique à palettes.

Interfaces homme machine (IHM)

I. Les dialogues opérateur – partie commande

Les différentes phases du dialogue entre les opérateurs et la partie commande d'un système automatique peuvent se classer en deux grandes familles :

- une famille qui correspond à la phase de développement, de programmation, de mise au point et de d'évolution de l'équipement. Elle nécessite de la part du personnel, la maîtrise et la compréhension des modèles de comportement et des langages de programmation. Elle se traduit par l'élaboration et ou la modification du programme. Il s'agit d'un dialogue de nature technique réclamant une connaissance des structures et des fonctionnements des matériels mis en œuvre dans la partie commande, ainsi que des ateliers logiciels permettant de développer les applications;

- une famille qui correspond à l'exploitation du système. Il s'agit d'un dialogue de type utilisateur qui doit permettre la conduite et la surveillance du processus et qui ne demande pas une connaissance technique de la partie commande. Les consignes utilisateur (modes de marche et d'arrêt) et les signalisations (messages alphanumériques, signaux sonores et visuels, etc.) sont inventoriées par l'analyse du GEMMA. C'est en fonction de différents critères technico-économiques que le type de constituant de dialogue sera ensuite choisi (boutons poussoirs, voyants, afficheurs, écrans tactiles, etc.).

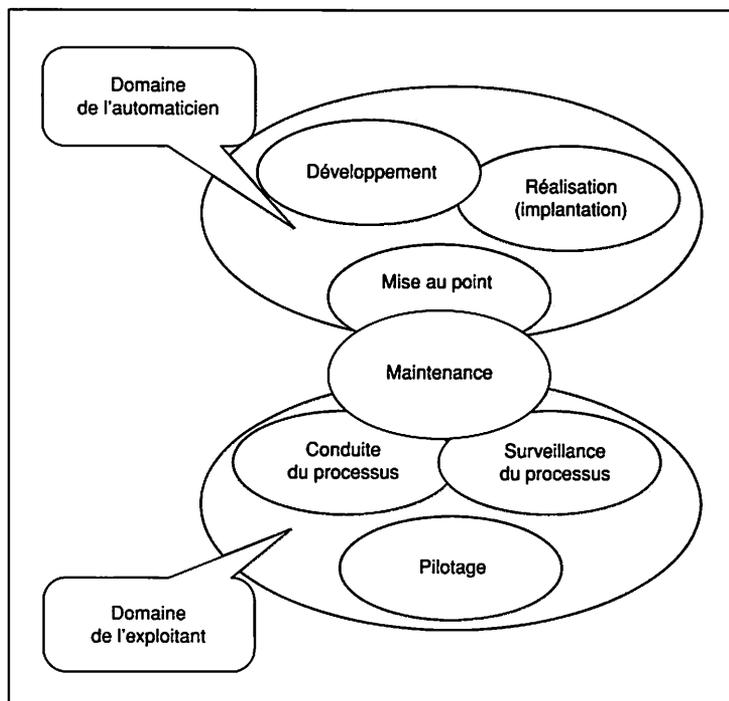


Figure FT 7.1. Principales composantes d'un dialogue homme machine.

Il existe ainsi des boutons-poussoirs, affleurant ou non, des boutons coup de poing, verrouillables ou non, déclenchables par pivotement ou par clef, des boutons tournants à deux ou trois positions, des boutons basculants, etc.

De tels boutons-voyants ou voyants, se montent sur pupitre en tôle percé au préalable d'un trou cylindrique (couramment : \varnothing 22 mm). Ils peuvent recevoir une étiquette personnalisable d'identification au montage. Ils se câblent généralement en fil à fil pour être reliés à la partie commande. Dans certains cas, les constructeurs proposent des liaisons de type bus de terrain et des liaisons radio.

Ils permettent la réalisation de pupitres câblés simple et sont très adaptés à la réalisation des fonctions de sécurité de la commande.

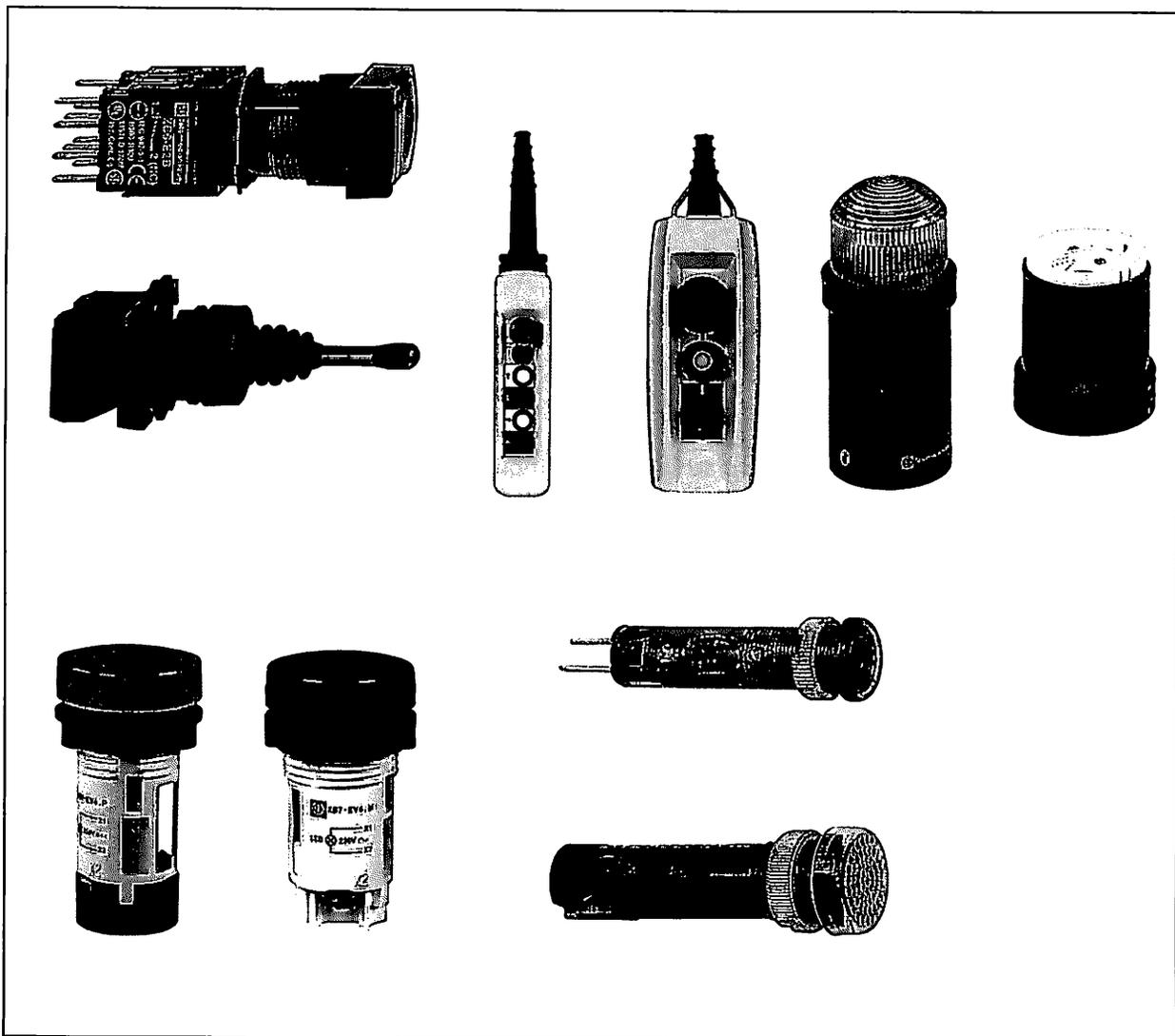


Figure FT 7.4. Quelques composants du dialogue homme machine (doc. Schneider Electric).

b) Couleurs des boutons poussoirs et voyants

Afin de permettre une intervention adaptée à une situation donnée, les formes et les couleurs des boutons-poussoirs et des voyants lumineux sont définies à partir des connaissances en physiologie et psychologie. Les principales préconisations concernant cet aspect sont indiquées dans le tableau 1.

Ces données ont été formalisées par la norme EN 60 204, de nombreuses publications de l'I.N.R.S. fournissent des indications utiles.

| Couleur | Signification pour les boutons-poussoirs | Signification pour les voyants lumineux |
|---------|--|--|
| ROUGE | Arrêt ou mise hors tension | Danger ou alarme |
| VERT | Mise en service ou mise sous tension Autorisation de démarrer | Situation sûre, condition normale |
| JAUNE | Interventions | Attention Changement en cours ou imminent |
| BLANC | Pas de signification spécifique | Confirmation – Information générale |

Figure FT 7.5. Signification des couleurs des boutons poussoirs et voyants lumineux.

c) Claviers et afficheurs

Dans le cas d'un dialogue plus complexe, notamment ceux nécessitant l'introduction de données numériques, il est nécessaire de mettre en œuvre des composants tels que : roue codeuse, claviers,...

● Roues codeuses

Elles permettent l'élaboration d'un code binaire à partir de l'affichage de chiffres décimaux (Figure FT 7.3 : « Nb comprimés, N° actionneurs »).

● Claviers

Ils disposent de boutons pré-identifiés par gravure ou sérigraphie (numériques et alphanumériques) ou personnalisables pour l'utilisateur. Les claviers industriels sont protégés contre les agressions extérieures (IP65).

Les claviers industriels standard courants comportent 12, 16, 20, 54 ou 102 touches et peuvent être (Figure FT 7.6) :

- câblés avec point commun et une borne accessible pour chaque touche ;
- câblés « en matrice ».

● Afficheurs

Ils sont destinés à indiquer à l'opérateur soit des valeurs numériques, sur quelques chiffres, soit des messages alphanumériques qui peuvent être enregistrés dans l'afficheur ou provenir de la partie commande. Les indications délivrées correspondent aux valeurs des grandeurs à surveiller pendant le fonctionnement, à des messages de demande d'action ou encore d'alerte.

Il existe des afficheurs simples généralement à quatre ou six digits (voire plus) permettant d'afficher des chiffres et des lettres à partir d'une entrée codée BCD, multiplexée ou non. Ces afficheurs sont souvent des afficheurs à sept segments à diodes électroluminescentes ou cristaux liquides. Il existe, d'autre part, des afficheurs plus performants, ou « boîtes à messages », qui peuvent afficher, sur une ou plusieurs lignes, des messages défilants préenregistrés (jusqu'à plusieurs milliers de messages de caractères complexes).



Figure FT 7.6. Clavier simple (doc. Schneider Electric).

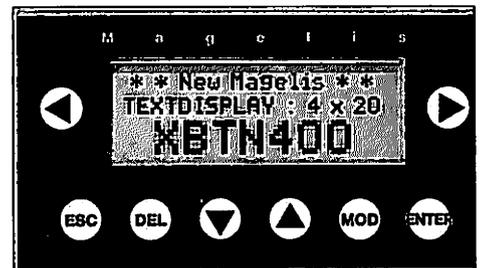


Figure FT 7.7. Afficheur Magellis (Schneider Electric).

2. TERMINAUX ET PUPITRES D'EXPLOITATION

Les constructeurs proposent des matériels et logiciels variés, offrant de nombreuses possibilités d'affichage et de commande et adaptés aux communications homme/machine plus élaborées.

● Fonctions élémentaires des terminaux d'exploitation

Celles-ci concernent :

- la visualisation de messages en langage d'exploitant (sur l'état de la machine, les défauts, les paramètres de fonctionnement, les menus d'aide à l'opérateur, etc.);
- l'émission de consignes (marche, arrêt, avant, arrière, etc.), l'affectation de paramètres de fonctionnement (nombre de pièces, température voulue, etc.), la sélection de modes de fonctionnement (manuel, automatique, réglage, etc.);
- la mémorisation d'événements, l'impression d'écrans ou d'historiques, etc.

Ils peuvent comporter :

- un dispositif d'affichage (afficheur ou écran);
- un clavier comportant des touches de fonctions paramétrables, des touches de service (entrée, RAZ, aide, effacer, etc.), des touches alphanumériques. Les constructeurs proposent également des écrans tactiles;
- un sélecteur de mode de marche à clef ou à touches verrouillables.

Ils sont fréquemment associés à des pupitres avec des composants de types boutons poussoirs et voyants pour la réalisation des fonctions de sécurité de la commande (Figure FT 7.8, pupitre réalisé autour d'un terminal Magellis de Schneider Electric).

Ils sont reliés à la partie commande par liaison série asynchrone, par bus de terrain ou par réseau local industriel.

● Configuration des terminaux d'exploitation

Ces terminaux doivent pouvoir être configurés et câblés de manière la plus simple possible. Leur adaptation à chaque système automatique s'obtient par programmation. La programmation des messages peut être manuelle ou assistée par un logiciel spécialisé implanté dans un micro-ordinateur. Ils sont accessibles à partir du terminal lui-même, à l'initiative de l'opérateur, ou à partir de l'automate programmable sur émission d'un numéro de code correspondant au message à visualiser. Les messages sont mémorisés dans le terminal afin de simplifier les échanges avec la partie commande (automate programmable industriel).

À chaque message est associé un code, de type « un parmi n », qui est sélectionné depuis la partie commande pour affichage lorsque cela est nécessaire. Ils sont dotés des moyens de stockage de l'information (mémoires reprogrammables ou mémoire vive).

La liaison série asynchrone ou le protocole de réseau industriel sont paramétrables par les mêmes moyens.

● Fonctions évoluées du dialogue de supervision

La supervision couvre un domaine très large qui peut aller de l'animation de quelques icônes et l'échange de quelques données dans le cas d'un besoin simple, à un traitement beaucoup plus important. La partie visible par le pilote de l'installation doit être la plus simple possible, même si parfois le système d'informations nécessite l'élaboration d'un environnement complexe pour piloter par exemple des lignes de production.

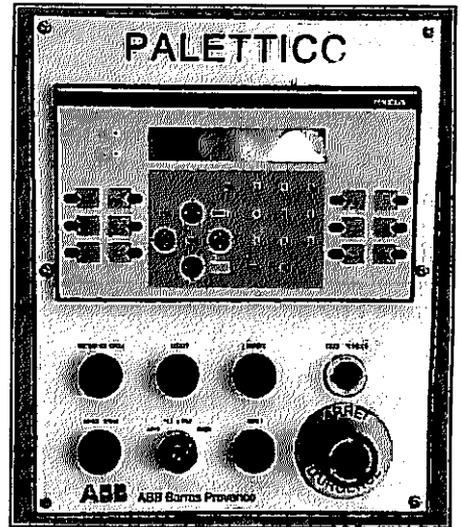


Figure FT 7.8. Pupitre du palettiseur (Cybernetix).

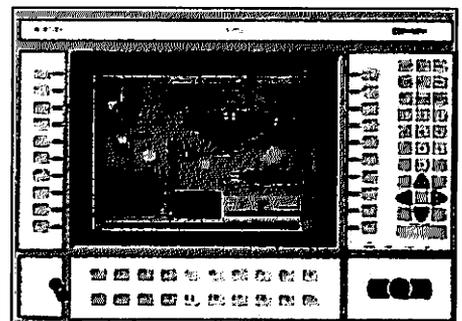


Figure FT 7.9. Exemple d'un écran de supervision (doc. Schneider Electric).

La supervision peut faire appel à des traitements permettant :

- la gestion d'alarmes et d'écrans souvent complexes;
- la gestion de la maintenance (GPAO);
- la gestion de la production (GPAO);
- l'élaboration, le calcul et l'affichage des variables de tendance, de suivi de personnel, ...;
- la gestion des recettes et le chargement et déchargement de programmes automatés;
- l'archivage, la génération de rapports;
- etc.

L'élaboration d'une supervision évoluée s'appuie sur des logiciels généralement sophistiqués et des matériels performants. Les équipements matériels de supervision peuvent être de simples terminaux à écran (Figure FT 7.9), des micro-ordinateurs équipés de logiciels de supervision ou encore des micro-ordinateurs industriels dédiés.

La figure FT 7.10 montre la connexion de plusieurs terminaux en réseau et assurant différentes tâches de supervision.

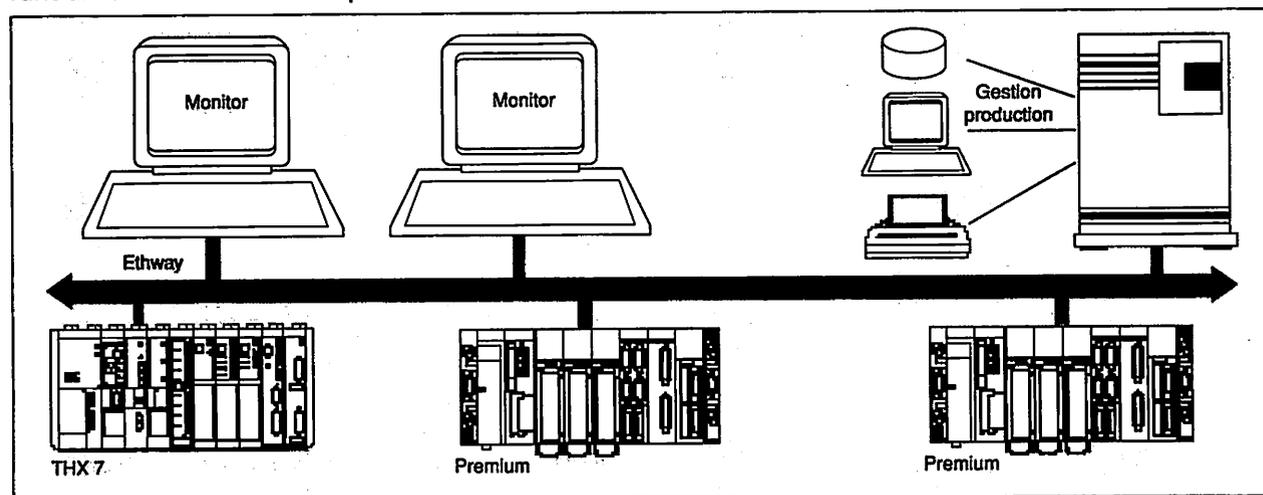


Figure FT 7.10. Connexion de plusieurs superviseurs (doc. Schneider Electric).

Normes, définitions, caractéristiques

I. Système international d'unités

Le système international d'unité comporte sept unités de base, dont dérivent toutes les autres par combinaison. Il s'agit du mètre, du kilogramme, de la seconde, de l'ampère, du kelvin, de la mole et du candéla. Le tableau ci-après définit grandeurs et unités dans le système international ou selon les normes françaises (NF X 02...)

| Grandeur | | | | Unité | | |
|---|--|---|------------------|---|---------------------------|---|
| Nature | Grandeur | Symbole | Dimension | Unité | Symbole | Commentaires |
| Géométrique et temporelle NF X 02 201 (extraits) | angle | $\alpha, \beta, \gamma, \varphi, \dots$ | sans | radian, degré, minute, seconde tour | rad ' " tr | $1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$ $1' = 1^\circ/60$ $1'' = 1'/3\,600$ $1 \text{ tr} = 2\pi \text{ rad}$ |
| | longueur | L, l | L | mètre | m | |
| | aire, superficie | A, S | L ² | mètre carré are | m ² a | $1 \text{ a} = 100 \text{ m}^2$ |
| | volume | V | L ³ | mètre cube | m ³ | |
| | temps | t | T | seconde minute heure jour | s min h d | $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3\,600 \text{ s}$ $1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 86\,400 \text{ s}$ |
| | vitesse angulaire | ω | T ⁻¹ | radian par seconde | rad/s | $\omega = d\varphi/dt$ |
| | accélération angulaire | α | T ⁻² | radian par seconde carrée | rad/s ² | $\alpha = d\omega/dt$ |
| | vitesse | u, v, c, \dots | LT ⁻¹ | mètre par seconde | m/s | $v = dl/dt$ |
| | accélération | a, γ | LT ⁻² | mètre par seconde carrée | m/s ² | $a = d\ell/dt = d^2\ell/dt^2$ accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ |
| | Phénomènes périodiques NF X 02 202 (extraits) | période | T | T | seconde | s |
| fréquence | | F, ν | T ⁻¹ | hertz | Hz | |
| pulsation | | ω | T ⁻¹ | radian par seconde | rad/s | |
| déphasage | | φ | sans | radian | rad | |
| Thermique NF X 02 202 (extraits) | température | t, θ | Θ | degré celsius | °C | |
| | | T | Θ | degré kelvin | K | |

| Grandeur | | | | Unité | | |
|---|---|-----------------|--|------------------------------|---------------------|---|
| Nature | Grandeur | Symbole | Dimension | Unité | Symbole | Commentaires |
| Mécanique NF X 02 203 (extraits) | masse | <i>m</i> | M | kilogramme | kg | |
| | quantité de mouvement | <i>p</i> | LMT ⁻¹ | kilogramme mètre par sec. | kg . m/s | |
| | moment d'inertie | <i>I, J</i> | L ² M | kilogramme mètre carré | kg . m ² | |
| | force | <i>F</i> | LMT ⁻² | newton | N | 1 N = 1 m . kg/s ² |
| | moment d'une force | <i>M, C</i> | L ² MT ⁻² | newton mètre | N . m | |
| | pression mouvement | <i>p</i> | L ⁻¹ MT ⁻² | pascal bar | Pa bar | 1 Pa = 1 N/m ² 1 bar = 10 ⁵ Pa |
| | coefficient de frottement | <i>μ, f</i> | sans | | | |
| | travail | <i>W, A</i> | L ² MT ⁻² | joule | J | 1 J = 1 m ² . kg/s ² |
| | puissance | <i>P</i> | L ² MT ⁻³ | watt | W | 1 W = 1 J/s = 1 m ² . kg/s ³ |
| Électrique NF X 02 205 | courant | <i>I</i> | I | ampère | A | |
| | champ électrique | <i>E, K</i> | LMT ⁻³ I ⁻¹ | volt par mètre | V/m | 1 J = 1 m ² . kg/s ² 1 V/m = 1 m . kg/A . s ³ |
| | potentiel, différence de potentiel, tension, force électromotrice | <i>V, u</i> | L ² MT ⁻³ I ⁻¹ | volt | V | 1 V = 1 W/A |
| | flux électrique | <i>φ</i> | TI | coulomb | C | 1 C = 1 A . s |
| | capacité | <i>C</i> | L ⁻² M ⁻¹ T ⁻⁴ I ² | farad | F | 1 F = 1 CV |
| | champ magnétique | <i>H</i> | L ⁻¹ I | ampère par mètre | A/m | 1 V/m = 1 m . kg/A . s ³ |
| | induction magnétique | <i>B</i> | MT ⁻² I ⁻¹ | tesla | T | 1 T = 1 V . s/m ² |
| | flux magnétique | <i>Φ</i> | L ² MT ⁻² I ⁻¹ | weber | Wb | 1 Wb = 1 V . s |
| | inductance propre | <i>L</i> | L ² MT ⁻² I ⁻² | henry | H | 1 H = 1 Wb/A |
| | résistance (impédance) | <i>R</i> | L ² MT ⁻³ I ⁻² | ohm | Ω | 1 Ω = 1 V/A |
| | puissance (instantanée) | <i>P</i> | L ² MT ⁻³ | watt | W | 1 W = 1 J/s = 1 V . A |

Des unités de base ou dérivées découlent des multiples et sous multiples. Ceux-ci s'en déduisent par la multiplication par une puissance de 10 et sont indiqués par l'adjonction d'un préfixe au nom de l'unité concernée, soit :

| Préfixe | Symbole (devant celui de l'unité) | Facteur |
|---------|--------------------------------------|-------------------|
| déci | d | 10 ⁻¹ |
| centi | c | 10 ⁻² |
| milli | m | 10 ⁻³ |
| micro | μ | 10 ⁻⁶ |
| nano | n | 10 ⁻⁹ |
| pico | p | 10 ⁻¹² |
| femto | f | 10 ⁻¹⁵ |
| atto | a | 10 ⁻¹⁸ |

| Préfixe | Symbole (devant celui de l'unité) | Facteur |
|---------|--------------------------------------|------------------|
| déca | da | 10 ¹ |
| hecto | h | 10 ² |
| kilo | k | 10 ³ |
| méga | M | 10 ⁶ |
| giga | G | 10 ⁹ |
| téra | T | 10 ¹² |
| peta | P | 10 ¹⁵ |
| exa | E | 10 ¹⁸ |

EXEMPLE

La nanoseconde est égale à 1×10^{-9} seconde (0,000 000 001 s).
 Le micromètre (micron) est égal à 1×10^{-6} mètre (0,000 001 m). Le décimètre est égal à 10 mètres. L'hectare est égal à 1×10^2 ares (100 a). Le kilogramme est égal à 1×10^3 grammes (1 000 g).

II. Protection des appareils (degré de protection)

Les normes NF 20010, EN 60529 et les normes voisines (DIN 40050, DIN VDE 0470 et publication IEC 529) permettent d'indiquer par le code IP (indice de protection) les degrés de protection procurés par une enveloppe contre l'accès aux parties dangereuses et contre pénétration de corps solides étrangers ou de l'eau.

Ces normes ne sont pas à considérer pour la protection contre les risques d'explosion ou des conditions d'humidité, de vapeurs corrosives, de champignons ou de vermines. Le premier chiffre du code IP a deux significations. Il peut être étendu au moyen d'une lettre additionnelle lorsque la protection réelle des personnes contre l'accès aux parties dangereuses est meilleure que celle indiquée par le premier chiffre.

| Premier chiffre caractéristique | | Deuxième chiffre caractéristique | Lettre additionnelle |
|---|--|--|---|
| Protection du matériel contre la pénétration de corps étranger solides | Protection des personnes contre l'accès aux parties dangereuses avec : | Protection du matériel contre la pénétration de l'eau avec effet nuisible | Protection des personnes contre l'accès aux parties dangereuses avec : |
| 0 non protégé 1 de $\varnothing \geq 50$ mm 2 de $\varnothing \geq 12,5$ mm 3 de $\varnothing \geq 2,5$ mm 4 de $\varnothing \geq 1$ mm 5 contre la poussière 6 étanche à la poussière | non protégé dos de la main doigt outil $\varnothing 2,5$ mm fil $\varnothing 1$ mm fil $\varnothing 1$ mm fil $\varnothing 1$ mm | 0 non protégé 1 gouttes d'eau verticales 2 gouttes d'eau inclinées à 15° 3 pluie 4 projection d'eau 5 projection à la lance 6 projection puissante à la lance 7 immersion temporaire 8 immersion prolongée | A dos de la main B doigt C outil $\varnothing 2,5$ mm D fil $\varnothing 1$ mm |

La norme NF 20 010 mentionne que le degré de protection contre les chocs mécaniques peut être indiqué par un chiffre faisant suite aux deux chiffres des degrés IP (exemple IP55-9), ou indiqué séparément du code IP.

Ce chiffre correspond à une classe d'influence externe AG des règles d'installation NF C 15 100.

| Chiffre caractéristique | | |
|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| | Classe d'influence correspondante | Énergie de choc au plus égale à |
| 1 | AG choc faible | 0,225 joule |
| 3 | — — | 0,5 joule |
| 5 | AG2 choc moyen | 2 joules |
| 7 | AG3 choc important | 6 joules |
| 9 | AG4 choc très important | 20 joules |

Déterminer les équations d'un circuit combinatoire

I. Méthodes de simplification des fonctions logiques

1. OPTIMISATION DE L'EXPRESSION D'UNE FONCTION LOGIQUE

Les fonctions logiques décrivant les expressions combinatoires des différentes sorties en fonction des entrées sont généralement établies à partir de tables de vérité. Cela conduit à des expressions avec des redondances qui sont simplifiables. La simplification de ces expressions permet d'en alléger l'écriture ou d'en optimiser l'implantation.

Dans l'exemple donné chapitre 5, il est possible de déduire de la table de vérité l'expression logique de la sortie « Enrouler le store » (de même pour « dérouler le store ») :

| S_e | S_d | D_e | D_d | Enrouler le store | Dérouler le store |
|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

Figure FM 1.1. Table de vérité caractérisant le fonctionnement du store équipé uniquement des boutons poussoirs de droite.

$$\text{Enrouler store} = \overline{S_e} \cdot \overline{S_d} \cdot D_e \cdot \overline{D_d} + \overline{S_e} \cdot S_d \cdot D_e \cdot \overline{D_d}$$

L'expression logique de cette sortie est obtenue en réalisant un OU entre les combinaisons des entrées pour lesquelles la sortie est vraie. Il est aisé de constater que cette expression est simplifiable.

$$\begin{aligned} \text{Enrouler store} &= \overline{S_e} \cdot \overline{S_d} \cdot D_e \cdot \overline{D_d} + \overline{S_e} \cdot S_d \cdot D_e \cdot \overline{D_d} \\ &= \overline{S_e} \cdot D_e \cdot \overline{D_d} (\overline{S_d} + S_d) = \overline{S_e} \cdot D_e \cdot \overline{D_d} \end{aligned}$$

Si la sortie est plus souvent à l'état 0 qu'à l'état 1, il est préférable de prendre en compte les combinaisons d'entrées pour lesquelles la sortie est à 0. L'expression obtenue correspond alors au complément de la sortie concernée.

La simplification des expressions logiques permet de répondre à un ou plusieurs objectifs.

● Pour les réalisations câblées :

- diminuer le nombre de composants (coût);
- simplifier la maintenance;
- utiliser un seul type de composant (standardisation, coût);
- maximiser la vitesse de traitement du circuit (performances).

● Pour les réalisations programmées :

- simplifier l'écriture des programmes;
- faciliter la maintenance (débugage) et l'évolution des programmes.

Seule la simplification d'une fonction logique est abordée dans ce chapitre. Elle consiste à réduire le nombre de termes de la fonction et, dans chacun, réduire le nombre de variables utilisées et/ou à réduire le nombre d'opérateurs nécessaires pour réaliser la fonction.

Deux techniques sont utilisées : la simplification algébrique et le tableau de Karnaugh.

2. SIMPLIFICATION ALGÈBRIQUE

● Formes canoniques des fonctions combinatoires

Toute fonction logique combinatoire à n variables, telle $S = f(e_1, e_2, \dots, e_n)$ peut s'écrire sous la forme :

- soit d'un ensemble de monômes (plusieurs variables séparées par des fonctions ET) reliés par des OU logiques. Cette forme d'équation, la plus utilisée, est

appelée forme canonique en OU, également appelée forme canonique disjonctive. Par exemple, avec trois variables : $S = e_1.e_2 + \overline{e_1}.e_2 + e_1.e_2.e_3$.

– soit d'expressions logiques reliées par des fonctions ET, ces expressions logiques étant constituées de variables séparées par des OU. Cette seconde forme canonique est également appelée forme canonique conjonctive. Par exemple : $L = (\overline{e_4} + e_5).(e_4 + \overline{e_5}).(\overline{e_4} + e_5 + e_6)$.

● **Méthode de simplification algébrique**

La technique de simplification algébrique exploite l'ensemble des propriétés présentées dans le chapitre 5 : associativité, distributivité, idempotence, inclusion, élément neutre et complément.

EXEMPLE

Simplification de la fonction : $S = e_1.\overline{e_2} + \overline{e_1}.e_2 + e_1.e_2.e_3$

$$S = (e_1.\overline{e_2} + e_1.\overline{e_2}) + \overline{e_1}.e_2 + e_1.e_2.e_3$$

[idempotence];

$$S = e_1.\overline{e_2} + e_1.\overline{e_2}.(\overline{e_3} + e_3) + \overline{e_1}.e_2 + e_1.e_2.e_3$$

[élément neutre et complément];

$$S = e_1.\overline{e_2} + e_1.\overline{e_2}.e_3 + e_1.\overline{e_2}.e_3 + \overline{e_1}.e_2 + e_1.e_2.e_3$$

[distributivité];

$$S = e_1.\overline{e_2} + e_1.\overline{e_2}.e_3 + \overline{e_1}.e_2 + e_1.e_3.(e_2 + \overline{e_2})$$

[distributivité];

$$S = e_1.\overline{e_2} + e_1.\overline{e_2}.e_3 + \overline{e_1}.e_2 + e_1.e_3$$

[élément neutre et complément];

$$S = e_1.\overline{e_2} (1 + e_3) + \overline{e_1}.e_2 + e_1.e_3$$

[distributivité];

$$S = e_1.\overline{e_2} + \overline{e_1}.e_2 + e_1.e_3$$

[élément absorbant].

EXEMPLE

Démonstration de la relation : $x + xy = x$
 $x + xy = x.(y + \overline{y}) + xy = xy + x\overline{y} + xy = x.(y + \overline{y}) = x$

REMARQUE

La simplification algébrique demande généralement une bonne pratique pour être efficace.

3. SIMPLIFICATION GRAPHIQUE

a) Représentation par tableau de Karnaugh

Le tableau de Karnaugh d'une fonction à n variables logiques est une représentation « matricielle » de la fonction sous forme de 2^n cases, où chaque case correspond à une combinaison des variables et indique la valeur de la fonction pour cette combinaison.

Les cases du tableau sont organisées de la manière suivante :

- les n variables sont séparées en deux groupes, p d'un côté et q de l'autre (avec $p + q = n$ et, en général, $p = q$ si n est pair et $p = q + 1$ si n est impair);

- les p premières variables sont utilisées pour former les 2^p colonnes du tableau et les q autres variables pour former les 2^q lignes (le nombre de cases est $2^p \cdot 2^q = 2^n$);
- le codage des colonnes et des lignes se fait selon le code Gray (voir chapitre 2). Il en résulte des propriétés particulières qui sont exploitées à fin de simplification des fonctions combinatoires.

La notation utilisée dans cet ouvrage est la notation de Girard qui, pour chaque variable, marque d'un trait les colonnes (ou les lignes) pour lesquelles cette variable est à 1.

EXEMPLE

Le tableau de Karnaugh de la figure FM 1.2 est celui de la fonction à trois variables $S = e_1.e_2 + \overline{e_1}.e_2 + e_1.e_2.e_3$. On a séparé e_1 et e_2 (groupe colonnes : $p = 2$) de e_3 (groupe lignes : $q = 1$) : le tableau comporte donc $2^2(4)$ colonnes et $2^1(2)$ lignes.

Noter que : $e_1 = 1$ pour les deux dernières colonnes, $e_2 = 1$ pour les deux colonnes centrales et $e_3 = 1$ pour la ligne inférieure.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|----|----|----|-----------|---|---|---|---|-----------|---|---|---|---|
| $e_2 e_1 =$ | 00 | 10 | 11 | 10 | | | | | | | | | | |
| S | <table border="1" style="border-collapse: collapse; margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$e_3 = 0$</td> <td style="padding: 2px;">0</td> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">1</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$e_3 = 1$</td> <td style="padding: 2px;">0</td> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">0</td> <td style="padding: 2px;">1</td> </tr> </table> | | | | $e_3 = 0$ | 0 | 1 | 1 | 1 | $e_3 = 1$ | 0 | 1 | 0 | 1 |
| $e_3 = 0$ | 0 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| $e_3 = 1$ | 0 | 1 | 0 | 1 | | | | | | | | | | |

Figure FM 1.2. Tableau de Karnaugh de la fonction S .

b) Simplification graphique par tableau de Karnaugh

Cette technique exploite les propriétés du code Gray pour faciliter le regroupement des cases de même valeur logique de la fonction. En effet, avec le code Gray, à des cases « adjacentes » du tableau (voir Figure FM 1.3) correspondent des combinaisons adjacentes des variables, c'est-à-dire ne différant que par la valeur d'une et une seule variable.

En regroupant deux cases adjacentes (ou un bloc de deux 2^m cases, soit 2, 4, 8, ... cases), on peut alors supprimer la variable dont la valeur change et simplifier l'expression logique, car cette variable est non significative de la valeur de la fonction. Par exemple, dans le regroupement des deux cases de droite, en haut, du tableau de la figure FM 1.3, $f = e_1.e_2.e_3 + e_1.e_2.e_3 = e_1.e_3.(e_2 + e_2) = e_1.e_3$, car $e_2 + e_2 = 1$.

Les règles de regroupement dans un tableau de Karnaugh sont les suivantes :

- dans un tableau à n variables, chaque case possède n cases adjacentes (n possibilités de faire varier la valeur d'une et une seule variable) : 3 adjacences en figure FM 1.3;
- un terme regroupant 2^m cases adjacentes s'écrit avec $n - m$ variables.

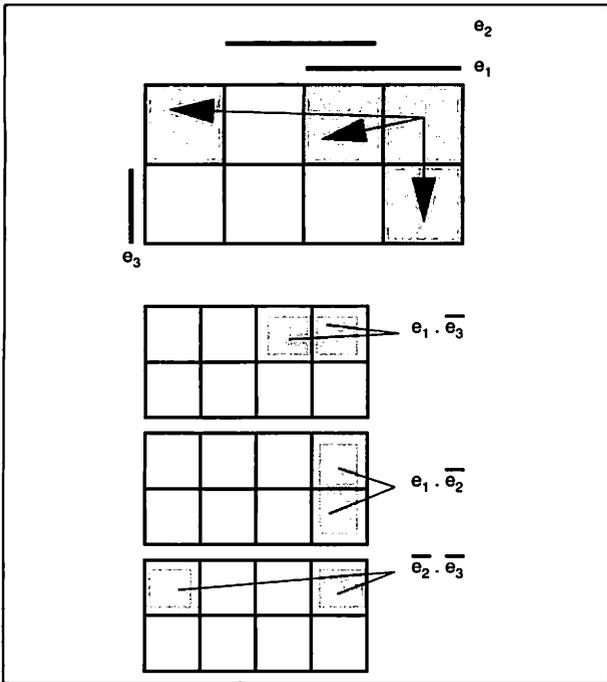


Figure FM 1.3. Adjacences et regroupement dans un tableau de Karnaugh.

La recherche des regroupements dans un tableau s'effectue de la manière suivante :

- on recherche d'abord un regroupement comportant le plus possible de cases adjacentes de même valeur logique;
- puis, dans les cases restantes de même valeur, on cherche un nouveau regroupement de cases comportant le plus possible de cases non encore regroupées (on peut pour cela utiliser éventuellement des cases déjà regroupées);
- et ainsi de suite, jusqu'à ce que toutes les cases de même valeur logique aient été traitées (noter que certaines cases isolées peuvent ne pas pouvoir être regroupées).

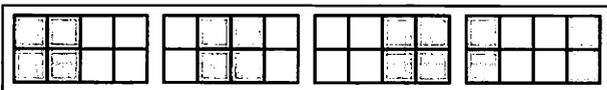


Figure FM 1.4. Regroupements envisageables dans le tableau de Karnaugh considéré.

EXEMPLE

Simplifications de la fonction $S = e_1 \cdot \overline{e_2} + \overline{e_1} \cdot e_2 + e_1 \cdot e_2 \cdot \overline{e_3}$ à partir de regroupements de 1 dans le tableau de Karnaugh, Figure FM 1.3.

Il n'existe aucun regroupement de $2^2 = 4$ cases adjacentes (les seuls regroupements possibles seraient en effet les 6 regroupements ci-après) :

- on choisit donc un premier regroupement de deux 1 (ici $\overline{e_1} \cdot e_2$), puis un second regroupement de deux autres 1 indépendants (ici $e_1 \cdot \overline{e_3}$);
- il reste un dernier 1 que l'on choisit de regrouper pour former $e_1 \cdot e_2$;

(suite)

- on obtient finalement la forme simplifiée $S = \overline{e_1} \cdot e_2 + e_1 \cdot \overline{e_2} + e_1 \cdot e_3$.

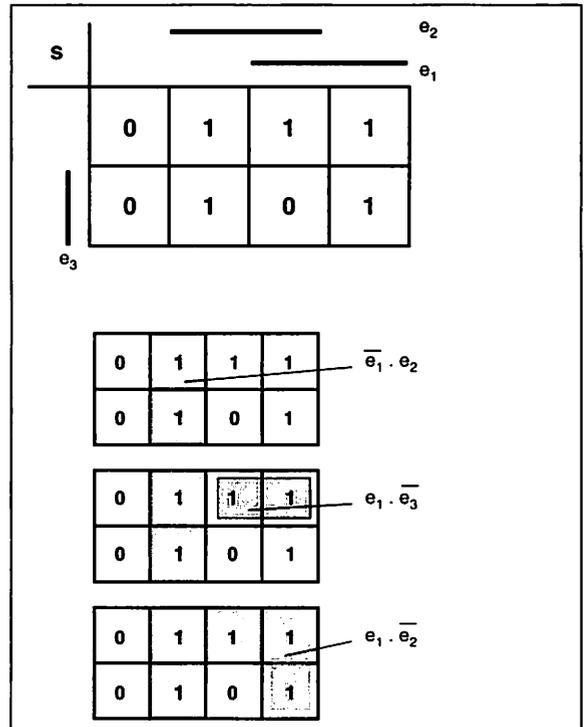


Figure FM 1.5. Première simplification de S, par regroupement de 1.

On aurait pu aussi regrouper le dernier 1 pour former cette fois (voir Figure FM 1.6) et obtenir ainsi une autre forme simplifiée équivalente : $S = e_1 \cdot e_2 + \overline{e_1} \cdot e_2 + e_1 \cdot \overline{e_3}$ (le choix entre l'une ou l'autre forme s'appuie sur des critères qui ne sont pas développés ici).

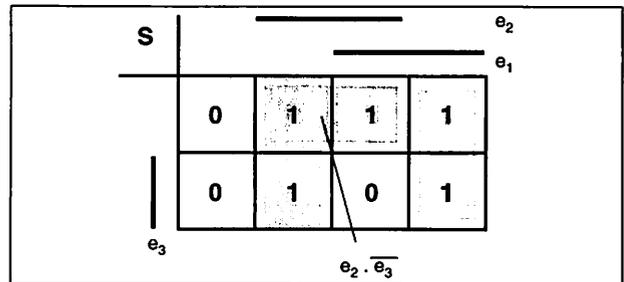


Figure FM 1.6. Seconde simplification de S, par regroupement de 1.

EXEMPLE

Simplification de la fonction S à partir de regroupements de 0.

Au lieu de regrouper les 1, il est aussi possible de regrouper les 0 pour obtenir une expression simplifiée de la fonction complémentaire (Figure FM 1.5). On obtient ainsi : $S = \overline{e_1 \cdot e_2} + \overline{e_1 \cdot e_2 \cdot e_3}$, qui permettrait de calculer S par la relation $S = \overline{\overline{S}}$. Cette dernière forme complémentée, ici d'écriture la plus simple, peut alors être préférée aux formes simplifiées de S.

(suite)

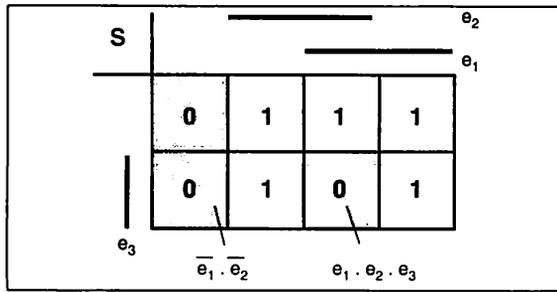


Figure FM 1.7. Simplification de S à partir de regroupement de 0.

c) Simplification graphique de fonctions incomplètes

Il arrive que certaines fonctions logiques soient définies par des tableaux incomplets, c'est-à-dire que la valeur de la fonction n'est pas précisée, donc est indifférente, pour certaines combinaisons des variables (les valeurs indifférentes de la fonction sont repérées x).

Il est alors possible, lors des regroupements, d'attribuer à ces combinaisons la valeur qui permet la meilleure simplification.

Un tel exemple est donné pour la fonction f, Figure FM 1.8.

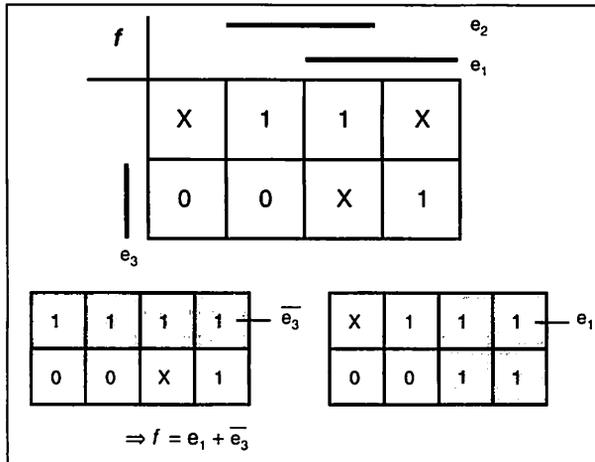


Figure FM 1.8. Simplification d'une fonction incomplète.

II. Détermination de circuits combinatoires usuels

Les applications des fonctions logiques sont très nombreuses :

- adressage de circuits logiques électroniques;
- circuits de codage, décodage, transcodage d'informations;
- circuit de commande de système (ou partie de système) combinatoire;
- circuit de gestion de la sécurité.

1. TRANSCODEUR GRAY VERS BINAIRE SUR 4 BITS

On désire convertir un code binaire réfléchi (GRAY) sur 4 bits ($G_3 G_2 G_1 G_0$) en code binaire sur 4 bits ($B_3 B_2 B_1 B_0$). Le système est combinatoire, chaque combinaison d'entrée étant associée à une unique combinaison de sortie, comme pour tous les transcodeurs. La table de vérité est la suivante :

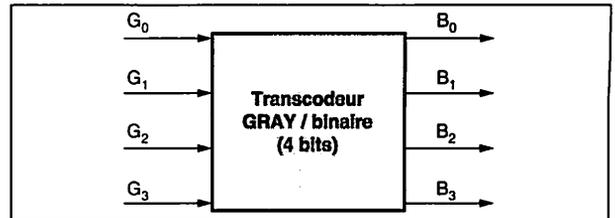


Figure FM 1.9. Classification des entrées sorties du décodeur GRAY vers binaire.

| Décimal | Entrées | | | | Sorties | | | |
|---------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| | G_3 | G_2 | G_1 | G_0 | B_3 | B_2 | B_1 | B_0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 11 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 12 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 13 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 14 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 15 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Figure FM 1.10. Table de vérité du décodeur GRAY vers binaire.

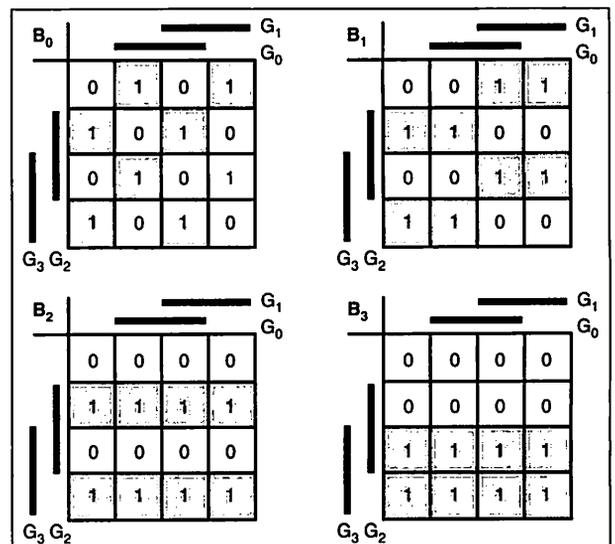


Figure FM 1.11. Tableaux de Karnaugh du décodeur GRAY vers binaire.

Les équations obtenues à partir des tableaux de Karnaugh sont les suivantes :

$$B_3 = G_3$$

$$B_2 = G_2\overline{G_3} + \overline{G_2}G_3 = G_2 \oplus G_3$$

$$B_1 = G_1\overline{G_2}\overline{G_3} + \overline{G_1}G_2\overline{G_3} + G_1G_2G_3 + \overline{G_1}G_2G_3$$

$$B_0 = G_0\overline{G_1}\overline{G_2}\overline{G_3} + \overline{G_0}G_1\overline{G_2}\overline{G_3} + G_0G_1\overline{G_2}\overline{G_3} + \overline{G_0}\overline{G_1}G_2\overline{G_3} + G_0\overline{G_1}G_2G_3 + \overline{G_0}G_1G_2G_3 + G_0G_1\overline{G_2}G_3 + \overline{G_0}\overline{G_1}\overline{G_2}G_3$$

Les expressions de B_1 et B_0 nécessitent une simplification algébrique complémentaire.

Rappel préalable :

$$x \oplus y = x\overline{y} + \overline{x}y = \overline{xy} \cdot \overline{\overline{xy}} = (\overline{x} + \overline{y})(x + y) = xy + \overline{x}\overline{y}$$

$$B_1 = G_1\overline{G_2}\overline{G_3} + \overline{G_1}G_2\overline{G_3} + G_1G_2G_3 + \overline{G_1}G_2G_3 = (G_1\overline{G_2} + \overline{G_1}G_2)\overline{G_3} + (\overline{G_1}G_2 + G_1G_2)G_3$$

en utilisant la propriété en rappel, on écrit :

$$B_1 = (G_1 \oplus G_2)\overline{G_3} + (G_1 \oplus G_2)G_3 = G_1 \oplus G_2 \oplus G_3$$

$$B_0 = G_0\overline{G_1}\overline{G_2}\overline{G_3} + \overline{G_0}G_1\overline{G_2}\overline{G_3} + G_0G_1\overline{G_2}\overline{G_3} + \overline{G_0}\overline{G_1}G_2\overline{G_3} + G_0\overline{G_1}G_2G_3 + \overline{G_0}G_1G_2G_3 + G_0G_1\overline{G_2}G_3 + \overline{G_0}\overline{G_1}\overline{G_2}G_3 = (G_0 \oplus G_1)\overline{G_2}\overline{G_3} + (G_0 \oplus G_1)G_2\overline{G_3} + (G_0 \oplus G_1)\overline{G_2}G_3 + (G_0 \oplus G_1)G_2G_3 = (G_0 \oplus G_1)(\overline{G_2}\overline{G_3} + \overline{G_2}G_3 + \overline{G_2}G_3 + G_2G_3) = (G_0 \oplus G_1)(\overline{G_2} + G_2) = (G_0 \oplus G_1) \oplus (G_2 \oplus G_3) = G_0 \oplus G_1 \oplus G_2 \oplus G_3$$

Finalement on obtient des équations très simples :

$$B_0 = G_0 \oplus G_1 \oplus G_2 \oplus G_3 = G_0 \oplus B_1$$

$$B_1 = G_1 \oplus G_2 \oplus G_3 = G_1 \oplus B_2$$

$$B_2 = G_2 \oplus B_3$$

$$B_3 = G_3$$

2. TRANSCODEUR BCD VERS 7 SEGMENTS

● **Principe :** les afficheurs 7 segments sont encore souvent employés dans les équipements automatisés. Leur circuit est capable de décoder un signal BCD sur 4 bit. Ce code permet de visualiser des nombres à plusieurs chiffres sur autant d'afficheurs : en effet, le code BCD de 752, par exemple, est 0111 0101 0010. Il suffit alors de relier les bits par groupes de quatre à un afficheur chacun sans avoir besoin d'effectuer la conversion beaucoup plus difficile à partir du binaire (752 = 1011110000 en binaire). (voir chapitre 2).

L'affichage des 10 chiffres de 0 à 9 s'effectue en activant ou non des petits segments lumineux agencés en forme de huit. Chacun des segments est repéré par une lettre de a à g de la manière suivante :

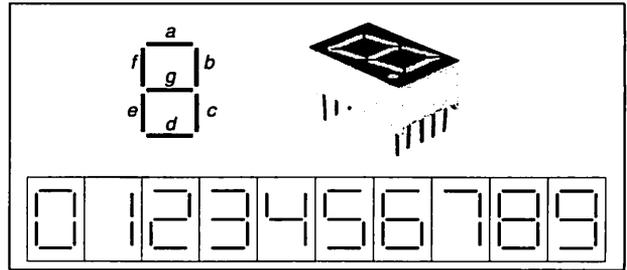


Figure FM 1.12. Affichage des dix premiers chiffres sur 7 segments.

On recherche donc les expressions logiques des sorties a à g en fonction du code BCD « B_3 - B_2 - B_1 - B_0 ». La classification des entrées sorties est donnée figure FM 1.13.

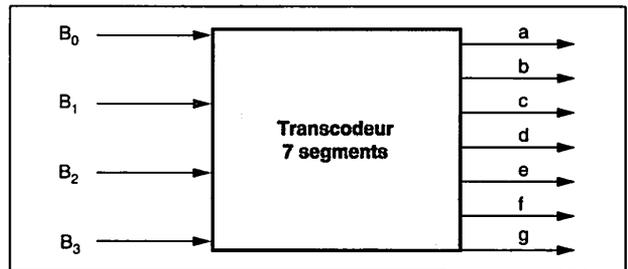


Figure FM 1.13. Classification des entrées sorties du décodeur BCD vers 7 segments.

Le système est combinatoire, car les sorties dépendent exclusivement de l'état des entrées, propriété commune à tous les transcodeurs. La table de vérité est simple à écrire (Figure FM 1.14).

| Décimal | Entrées | | | | Sorties | | | | | | |
|---------|---------|-------|-------|-------|---------|---|---|---|---|---|---|
| | B_3 | B_2 | B_1 | B_0 | a | b | c | d | e | f | g |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |

Figure FM 1.14. Table de vérité du décodeur BCD vers 7 segments.

Le code BCD n'étant pas complet, certaines combinaisons des entrées ne correspondent à aucun chiffre (de 1010 = 10 à 1111 = F). Ces combinaisons ne doivent normalement pas apparaître ce qui nous permet d'utiliser à notre convenance les cases correspondantes, qui ont été ombrées à cet effet, dans les tableaux de Karnaugh. Les regroupements les plus efficaces sont les suivants (Figure FM 1.15) :

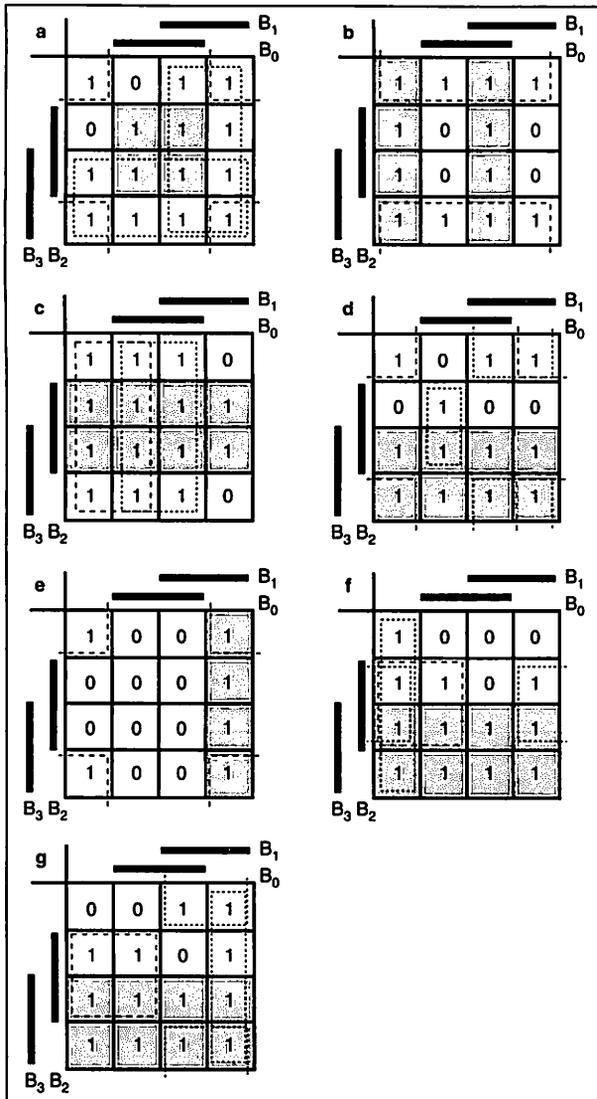


Figure FM 1.15. Tableaux de Karnaugh du décodeur BCD vers 7 segments.

On en déduit les équations suivantes:

$$\begin{aligned}
 a &= B_3 + B_2 B_0 + B_1 + \overline{B_0} \overline{B_2} \\
 b &= \overline{B_2} + B_0 B_1 + \overline{B_0} \overline{B_1} \\
 c &= B_0 + B_2 + \overline{B_1} \\
 d &= B_3 + \overline{B_0} \overline{B_2} + B_1 \overline{B_0} + B_1 \overline{B_2} + B_0 \overline{B_1} B_2 \\
 e &= \overline{B_0} \overline{B_2} + B_1 \overline{B_0} \\
 f &= B_3 + \overline{B_1} B_2 + \overline{B_0} \overline{B_1} + \overline{B_0} B_2 \\
 g &= B_3 + \overline{B_1} B_2 + \overline{B_0} \overline{B_1} + \overline{B_0} B_2
 \end{aligned}$$

En pratique, on utilise un décodeur intégré qui possède certaines fonctions complémentaires : affichage d'un point ou d'une virgule, affichage de la lettre E en cas d'erreur, commande « lampe test », etc. Dans ce cas, les équations obtenues sont plus compliquées puisqu'il y a moins de combinaisons d'entrée inutiles.

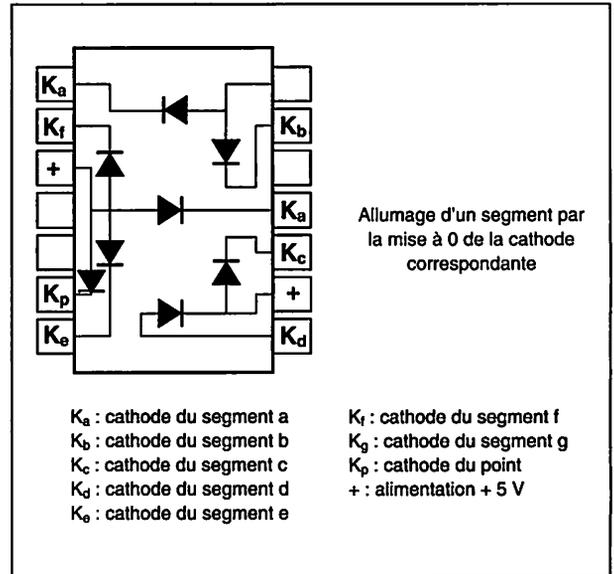


Figure FM 1.16. Câblage d'un afficheur 7 segments.

Changer de base numérique

I. Systèmes de numération

1. PRINCIPE DE LA NUMÉRATION POSITIONNELLE

a) Bases usuelles et anciennes

● BASE 2 : Binaire (0,1)

La numération ainsi que l'arithmétique binaires ne sont apparues qu'au XVII^e siècle en particulier sous l'impulsion du philosophe et mathématicien allemand Wilhem Leibniz, mais il fallut attendre encore quelques siècles pour que la base binaire devienne le langage naturel des machines. Cette révolution a été rendue possible par l'apparition de composants électroniques à deux états (lampe, puis transistor) et par la définition théorique rigoureuse de la constitution de ce que l'on appelle aujourd'hui un ordinateur (mathématicien Américain John von Neumann en 1945).

● BASE 5 : Quinaire. Utilisée rarement par certaines peuplades (Aztèques). Totalement abandonnée aujourd'hui.

● BASE 8 : Octale (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7). Utilisée encore dans certains systèmes informatiques.

● BASE 10 : Décimale (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)

C'est la base universelle aujourd'hui, bien qu'elle présente certains inconvénients théoriques (voir remarque 1 plus loin). Ce choix est lié au fait que la numération a d'abord été utilisée à des fins de dénombrement et que l'homme possède dix doigts, ceci entraînant « naturellement » une base de comptage décimale.

● BASE 12 : Duodécimale (0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B). Utilisation en voie de disparition. Les douze chiffres sont représentés comme en base 10 pour les dix premiers, puis par les deux premières lettres de l'alphabet A et B. On trouve encore quelques vestiges de base 12 chez les anglo-saxons où bien dans la manière de compter certains produits (douzaine d'oeufs ou d'huîtres, une « grosse » = douze douzaines, etc.)

● BASE 16 : Hexadécimal (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F)

Très employée dans les systèmes informatiques en particulier pour les périphériques (cartes d'entrées/sorties d'automates programmables, code ASCII, etc.) Les seize chiffres sont représentés comme en base 10 pour les dix premiers, puis par les lettres successives de l'alphabet pour les six suivants.

● BASE 20 : Vigésimale. Utilisée par les Mayas, les Aztèques, ainsi que d'autres civilisations sud américaines. Totalement abandonnée aujourd'hui.

● BASE 60 : Sexagésimale

Utilisée par les Sumériens et les Babyloniens. Malgré les tentatives répétées de la remplacer par le système décimal, cette base a traversé les âges, enracinée dans plus de deux millénaires d'usage scientifique. On l'utilise encore pour la représentation des durées en minutes et secondes, les unités plus petites obéissant au système décimal (dixièmes de seconde, centièmes de secondes, millisecondes, etc.), les unités plus grandes n'obéissant à aucune base, mais à une tradition ancestrale (1 jour = 24 heures, 1 mois = 28, 29, 30 ou 31 jours, 1 an = 12 mois = 365,25 jours) pour finalement repasser en base décimale pour les siècles (= 100 ans) et les millénaires (= 1000 ans). Elle est également utilisée pour la représentation des angles en degrés, minutes et secondes.

REMARQUE

L'utilisation de la base 10, naturelle et évidente pour tout le monde, ne conduit pourtant pas à la représentation la plus simple des nombres. En effet, certains mathématiciens ont proposé le choix d'une base possédant le plus grand nombre de diviseurs, comme la base 12 divisible par 2,3,4, et 6 (alors que la base 10 n'est divisible que par 2 et 5). D'autres prônaient l'utilisation d'une base correspondant à un nombre premier comme 7 ou 11, ce choix permettant la représentation d'un nombre de manière unique alors qu'en base 10 plusieurs représentations sont souvent possibles, telles que : $0,25 = 25/100 = 5/20 = 1/4$.

b) Définitions

● La base d'un système de numération correspond au nombre de chiffres différents qu'utilise ce système de notation.

● Un chiffre est un signe, un dessin ou un caractère destiné à l'écriture des nombres, de la même manière que les lettres sont des caractères destinés à l'écriture des mots. Pour écrire n'importe quel nombre dans une base donnée, il faut donc autant de chiffres que la valeur de la base.

● Un nombre s'écrit de manière numérique (8342 en base 10) ou numérale (« Huit mille trois cent quarante deux »).

● Tout nombre réel se décompose en fonction des puissances entières de la base de son système de numération. Cette décomposition, lorsqu'elle est explicite est appelée « **forme polynomiale** ». Dans le cas d'une base quelconque m , un nombre N de n chiffres s'écrira en fonction des puissances entières de la base :

$$N = \sum_{i=0}^{i=n} a_i \times m^i = a_n m^n + a_{n-1} m^{n-1} + \dots + a_1 m^1 + a_0 m^0$$

où $a_i \in (0, 1, 2, \dots, (m-1))$ avec i entier positif ou nul.

Cette forme polynomiale permet de calculer la valeur décimale de n'importe quel nombre exprimé dans n'importe quelle base.

EXEMPLE

Considérons le nombre 8342 en base 10, que l'on notera $(8342)_{10}$ ou 8342 s'il n'y a pas de confusion possible. Sa valeur est le produit de ses chiffres de droite à gauche par les puissances successives de la base. En prenant la convention : $(x)^0 = 1, \forall x$ on obtient la décomposition suivante :

$$\begin{aligned} (8342)_{10} &= 8 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 2 \times 10^0 \\ &= 8 \times 1000 + 3 \times 100 + 4 \times 10 + 2 \times 1 \\ &= 8000 + 300 + 40 + 2. \end{aligned}$$

De la même manière, on peut décomposer les nombres fractionnaires non entiers en utilisant les puissances négatives de la base et en mettant une virgule (ou un point en notation anglo-saxonne) à la droite du chiffre correspondant aux unités.

EXEMPLE

$$\begin{aligned} (537,68)_{10} &= 5 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2} \\ &= 500 + 30 + 7 + 0,6 + 0,08. \end{aligned}$$

En notation scientifique, on représente les nombres en virgule flottante en utilisant un multiplicateur puissance de dix.

EXEMPLE

$$\begin{aligned} 548000000 &= 5,48 \times 10^9 = 54,8 \times 10^8 = 548 \times 10^7 \\ &= \dots \\ 0,0000087853 &= 8,7853 \times 10^{-6} = 87,853 \times 10^{-7} = \dots \end{aligned}$$

● Le rang ou poids d'un chiffre d'un nombre exprimé dans une base b est égal à l'exposant de la base associée à ce chiffre dans la représentation polynomiale du nombre considéré. De plus, les deux chiffres extrêmes possèdent un nom particulier : **rang ou poids faible** pour le chiffre de droite et **rang ou poids fort** pour le chiffre de gauche.

EXEMPLE

- Considérons le nombre 8342 en base 10.
- 2 est le chiffre de rang (ou de poids) faible ou de rang (ou de poids) zéro.
 - 4 est le chiffre de rang (ou de poids) 1.
 - 3 est le chiffre de rang (ou de poids) 2.
 - 8 est le chiffre de rang (ou de poids) fort ou de rang (ou de poids) 3.

REMARQUE

Hormis en base 10, les nombres ne possèdent pas d'écriture numérale : 31 s'écrit « trente et un » « numéralement » en base 10, mais n'a pas d'écriture dans d'autres bases : il faudrait quelque chose comme « trois octets et sept unités » en base huit ou bien « deux douzaines et neuf unités » en base douze. Quant à la base deux, on ne voit pas du tout comment faire ! Cette particularité renforce la difficulté pour une personne de travailler dans une base autre que 10 puisqu'il est nécessaire de revenir systématiquement en base 10 pour comprendre et prononcer les nombres.

EXEMPLE

Le nombre « trente et un » s'écrit, suivant la base employée :

$$\begin{aligned} (31)_{10} &= 3 \times (10)^1 + 1 \times (10)^0 = 30 + 1 = 31 \\ (37)_8 &= 3 \times (8)^1 + 7 \times (8)^0 = 24 + 7 = 31 \\ (61)_5 &= 6 \times (5)^1 + 1 \times (5)^0 = 30 + 1 = 31 \\ (29)_{12} &= 2 \times (12)^1 + 9 \times (12)^0 = 24 + 9 = 31 \\ (1F)_{16} &= 1 \times (16)^1 + 15 \times (16)^0 = 16 + 15 = 31 \\ (11111)_2 &= 1 \times (2)^4 + 1 \times (2)^3 + 1 \times (2)^2 + 1 \times (2)^1 + 1 \times (2)^0 \\ &= 16 + 8 + 4 + 2 + 1 = 31 \end{aligned}$$

2. CHANGEMENT DE BASE

a) Passages entre base 2 et base 10

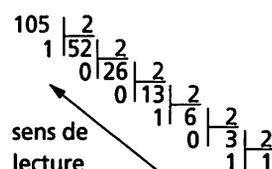
● Le passage de la base 2 à la base 10 s'effectue en utilisant les propriétés du développement polynomial. En base 2, chaque bit est affecté d'un « poids » (2^n), où n est son rang, de sorte que la valeur décimale du nombre est égale à la somme des poids.

EXEMPLE

$$1011_{(2)} = 2^3 + 0 \times 2^2 + 2^1 + 2^0 = 8 + 0 + 2 + 1 = 11_{(10)}$$

Le passage de la base 10 à la base 2 s'effectue par divisions successives en recherchant la puissance de 2 immédiatement inférieure au nombre décimal à convertir, puis la puissance de 2 immédiatement inférieure au reste, et ainsi de suite jusqu'à un reste nul.

EXEMPLE



$$\begin{aligned} 105_{(10)} &= 1101001_{(2)} \\ &= 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &= 64 + 32 + 0 + 8 + 0 + 0 + 1 \end{aligned}$$

b) Passages entre base 16 et base 10

● On utilise la même méthode que pour la base 2, chaque chiffre d'un nombre hexadécimal (quelquefois repéré par le symbole \$) étant affecté d'un « poids » (16^n). La conversion en décimal se fait par addition des produits des chiffres par leur « poids » respectifs (16^n).

EXEMPLE

$$\$3B = 3 \cdot 16^1 + 11 \cdot 16^0 = 48_{(10)} + 11_{(10)} = 59_{(10)}$$

● Un nombre décimal est divisé par 16 (la base d'arrivée) jusqu'à obtenir un reste inférieur à 16 qui sera converti et représentera les unités.

EXEMPLE

$437_{(10)}$

$$\begin{array}{r|l} 437 & 16 \\ \hline 117 & 27 \\ \hline \text{« rang 0 »} \rightarrow 5 & 11 & 1 & \leftarrow \text{« rang 2 »} \\ & \uparrow & & \\ & \text{« rang 1 »} & & \end{array}$$

$$437_{(10)} = \$1B5 \text{ ou } 1B5_{(16)}$$

c) Passages entre base 2 et base 16

● En base 2, on compte de 0 à 15 avec des nombres de 4 bits (1 quartet). Un nombre binaire peut se fractionner en quartets, qui sont convertis en hexadécimal un à un.

EXEMPLE

$$11011011 = (1101)(1011), \text{ soit } 1101 = \$D \text{ et } 1011 = \$B \text{ donc } 11011011 = \$DB.$$

● Le passage de l'hexadécimal au binaire consiste à transformer chaque digit en quartet.

EXEMPLE

$$\$1B5 = 1_{(10)}, 11_{(10)}, 5_{(10)} = 000110110101.$$

II. Représentation des nombres binaires en machine

1. NOMBRES BINAIRES ENTIERS RELATIFS

La représentation binaire naturelle des nombres entiers est insuffisante, en particulier elle ne permet pas de décrire les nombres négatifs. Il existe quatre façons de représenter des nombres négatifs dans une machine informatique.

● Valeur signée

Par convention, le bit de signe est le bit de poids fort (MSB), nul si le nombre est positif et égal à un si le nombre est négatif, les autres bits exprimant la valeur absolue du nombre considéré. L'inconvénient de cette représentation apparaît immédiatement lorsque l'on cherche à effectuer une opération dont le résultat est négatif, puisque le bit de signe ne s'obtient pas par le calcul.

● Complément à 1 ou complément restreint (dans le cas d'une base quelconque) : représentation consistant à remplacer tous les bits par leur complément, y compris le bit de signe. Cette méthode n'est plus utilisée.

EXEMPLE

Le nombre 5 se représente normalement 0101 et le nombre -5 se représente 1010.

● Complément à 2 ou complément vrai (dans le cas d'une base quelconque) : s'obtient en additionnant 1 au complément à 1.

EXEMPLE

Le nombre +1 se représente normalement 0001. Le nombre -7 se représente 1001 avec 001 complément à 2 de 111 qui vaut 7.

REMARQUE

Le codage s'effectue une unité plus loin pour les nombres négatifs (-8 contre +7 pour les nombres positifs), ce qui est dû au fait que le zéro est par convention considéré comme positif : il y a donc un nombre positif de moins que les nombres négatifs, le code binaire générant obligatoirement un nombre pair de combinaisons dont une est prise pour le zéro.

Sur n bits, on codera avec cette méthode les nombres compris entre $-(2^{n-1})$ et $+(2^{n-1} - 1)$.

On peut vérifier que les opérations de soustraction et d'addition fonctionnent correctement avec différentes combinaisons de nombres relatifs :

l'addition $(+1) + (-3)$ donne $001 + 100 = 110$ qui vaut bien -2;

l'addition $(-1) + (-4)$ donne $111 + 100 = 011$ (avec retenue 1 supprimée) qui vaut bien -5

la soustraction $(+2) - (+3)$ effectuée en utilisant le complément à 2 de +3, donne $010 - 011 = 010 + 101 = 111$ qui vaut bien -1.

● Codage par excédent ou code EXCESS

Consiste à « décaler » les nombres de telle manière que le plus petit des nombres négatifs devienne égal à zéro. Ce code s'obtient en ajoutant la valeur du nombre plus 2^{m-1} , pour un code de m bits : ainsi, le nombre -5

devient $-5 + 8 = 3$ sur 4 bits. Cette transformation consiste à mapper les nombres compris entre $[-8 \text{ et } +7]$ sur l'intervalle $[0; +15]$. Cette méthode est utilisée pour représenter l'exposant des nombres normalisés IEEE 754 en virgule flottante.

| N | Valeur signée | Complément à 1 | Complément à 2 | Excédent 15 |
|----|---------------|----------------|----------------|-------------|
| +3 | 0 1 1 | 0 1 1 | 0 1 1 | 1 1 1 |
| +2 | 0 1 0 | 0 1 0 | 0 1 0 | 1 1 0 |
| +1 | 0 0 1 | 0 0 1 | 0 0 1 | 1 0 1 |
| 0 | 0 0 0 | 0 0 0 | 0 0 0 | 1 0 0 |
| -1 | 1 0 1 | 1 1 0 | 1 1 1 | 0 1 1 |
| -2 | 1 1 0 | 1 0 1 | 1 1 0 | 0 1 0 |
| -3 | 1 1 1 | 1 0 0 | 1 0 1 | 0 0 1 |
| -4 | n'existe pas | n'existe pas | 1 0 0 | 0 0 0 |

Figure FM 2.1. Les quatre représentations des nombres binaires entiers relatifs.

● En conclusion

Aucun des codes considérés n'est entièrement satisfaisant et cette asymétrie du code est source de problèmes dans les quatre cas :

- Les deux premiers possèdent deux valeurs possibles pour zéro (+0 et -0);
- Les deux derniers possèdent un nombre négatif en surplus.

Cet inconvénient ne peut être résolu puisqu'un codage possédant un seul zéro et autant de nombres positifs que de nombres négatifs comporte un nombre impair d'éléments alors qu'un code binaire sur n bits engendre un nombre pair de combinaisons.

2. NOMBRES BINAIRES QUELCONQUES

● Les représentations précédentes sont insuffisantes lorsqu'il s'agit d'effectuer des calculs, qui portent souvent sur des nombres dont l'ordre de grandeur est très différent. De manière manuelle, on écrit ces nombres sous une autre forme : ainsi au lieu d'écrire que la masse d'un électron est égale à 0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 9 grammes, on préfère écrire 9×10^{-28} grammes. Cette écriture, dite scientifique, consiste à représenter un nombre par une mantisse et un exposant de la puissance dix. Dans notre exemple, 9 est la mantisse et -28 l'exposant.

De la même manière, les nombres sont représentés en virgule flottante dans les ordinateurs, de manière à diminuer les temps de calcul et à économiser de la place en mémoire. Afin d'unifier les représentations, une norme a été éditée en 1985 pour proposer une repré-

sentation standard appelée IEEE 754. Actuellement, l'immense majorité des processeurs (dont Intel, AMD et Motorola) sont conformes à ce standard.

- Pour s'adapter à différentes sortes de calculs, la norme propose trois formats différents :
 - simple précision sur 32 bits;
 - double précision sur 64 bits;
 - précision étendue sur 80 bits.

Les formats en simple et double précision consistent en :

- un bit de signe (0 pour positif et 1 pour négatif);
- un exposant codé en excédent;
- une mantisse codée en binaire.

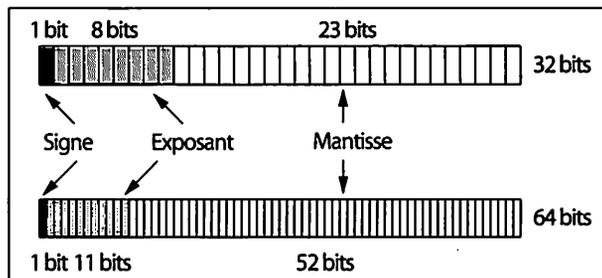


Figure FM 2.2. Représentation en simple et double précision des nombres en virgule flottante

La mantisse n'est pas exactement une mantisse telle que l'on vient de la définir : elle est comprise entre les valeurs 1 (0000...00) et 2 (1111...111). Pour ces raisons, elle est appelée « pseudomantisse ».

Les notations en simple et en double précision permettent de représenter des nombres flottants dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant. La précision étendue est utilisée lorsqu'une précision exceptionnelle est requise (calculs scientifiques, etc.)

| | Simple précision | Double précision |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Bit de signe | 1 | 1 |
| Bits d'exposant | 8 | 11 |
| Bits de mantisse | 23 | 52 |
| Nombre total de bits | 32 | 64 |
| Codage de l'exposant | EXCESS (Excédant 127) | EXCESS (Excédant 1023) |
| Variation de l'exposant | -126 à +127 | -1022 à +1023 |
| Plus petit nombre normalisé | 2^{-216} | 2^{-1022} |
| Plus grand nombre | Environ 2^{128} | Environ 2^{1024} |
| Échelle des nombres décimaux | Environ 10^{-38} à 10^{+38} | Environ 10^{-308} à 10^{+308} |

Figure FM 2.3. Échelles de représentation normalisée des nombres en virgule flottante.

REMARQUE

Le codage des nombres dans les machines informatiques ne permet pas de représenter l'ensemble des nombres réels, car il n'y a qu'un nombre fini de combinaisons possibles. En effet, quel que soit la quantité de bits utilisés (16, 32 ou 80), il existera toujours des nombres réels non représentables (une infinité) compris entre deux nombres normalisés. D'autre part, les problèmes déjà évoqués de dépassement de capacité pour les nombres entiers sont aggravés : il peut se passer un débordement supérieur (OVERFLOW) mais aussi inférieur (la valeur trouvée est plus faible que la plus petite des valeurs représentables). Ces débordements nécessitent un traitement assez complexe.

III. Opérations arithmétiques en base 2

La base 2, qui ne comprend que deux chiffres (0 et 1), permet de réaliser toutes les opérations arithmétiques addition, soustraction, multiplication, division, etc., et donc de calculer. Pour cette raison, les ordinateurs sont parfois appelés calculateurs

1. ADDITION

● L'addition de deux nombres exprimés en base 2 s'effectue classiquement, rang par rang en ajoutant éventuellement une retenue provenant du rang précédent. L'addition de deux bits A_0 et B_0 donne un bit S_0 , avec retenue éventuelle R_0 , la table de vérité étant identique à celle d'une fonction « OU exclusif ». Lors des opérations d'addition de deux chiffres de rang n : A_n et B_n , la retenue provenant de l'opération précédente R_{n-1} doit être prise en compte ; il faut alors additionner trois bits, les tables de vérité sont représentées figure FM 2.4.

| A_0 | B_0 | S_0 | R_0 |
|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |

| R_{n-1} | A_n | B_n | S_n | R_n |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Figure FM 2.4. Tables de vérité de l'addition en base 2 sans et avec retenue.

EXEMPLE

Soit à additionner deux nombres valant respectivement 53 et 44, exprimés en base 2. On obtient le nombre valant la somme des deux opérandes, soit 97 en effectuant l'addition de la même manière qu'en base décimale :

$$\begin{array}{r}
 \text{Retenue} \quad 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \quad 0 \\
 \quad \quad \quad 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \quad 5 \ 3 \\
 + \quad \quad \quad 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \quad + \ 4 \ 4 \\
 \hline
 = 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \quad = \ 9 \ 7
 \end{array}$$

● Les circuits additionneurs constituent la base de tous les microprocesseurs : le cœur d'un microprocesseur, appelé Unité Arithmétique et Logique logique (UAL en français ou ALU Arithmetic Logical Unit en anglais) est capable de réaliser au minimum les opérations logiques universelles ET, OU et NON ainsi que l'addition binaire.

2. SOUSTRACTION

De la même manière que l'addition, la soustraction binaire s'effectue bit à bit. En pratique, on utilise un codage particulier du nombre binaire, tel que le complément à 2, qui permet de réaliser la soustraction au moyen d'un circuit additionneur.

● Le complément à 1 (voir définition paragraphe II.1. de la fiche méthode).

EXEMPLE

Chercher le complément à 1 de 00111001. On trouve immédiatement 11000110 et on vérifie que $00111001 + 11000110 = 11111111$.

REMARQUE

Le complément à 1 en binaire est similaire au complément à 9 en décimal. Le complément à 9 de 241 est 758 de telle manière que $241 + 758 = 999$

● Le complément à 2 (voir définition paragraphe II.1. de la fiche méthode).

EXEMPLE

Chercher le complément à 2 de 00111001. Le complément à 1 est 11000110, et le complément à deux est $11000110 + 00000001 = 11000111$. On vérifie que $00111001 + 11000111 = 100000000$.

REMARQUE

Le complément à 2 en binaire est similaire au complément à 10 en décimal. Le complément à 10 de 241 est $758 + 1 = 759$ de telle manière que $241 + 759 = 1000$.

● Utilisation des compléments à 2

Soit un nombre N exprimé dans la base binaire sur n

bits et appelons $C_2(N)$ le complément à 2 de N . Par définition, $N + C_2(N) = 2^n$, d'où on peut écrire : $N = 2^n - C_2(N)$.

Considérons la soustraction de N d'un nombre A , soit $A - N$: en remplaçant N par l'expression ci-dessus, on obtient : $A - N = A - (2^n - C_2(N)) = A + C_2(N) - 2^n$.

La soustraction de deux nombres binaires A et N exprimés sur n bits, soit $A - N$, s'obtient en effectuant l'addition de A et du complément à 2 de N et en ôtant le bit de poids fort (ce qui revient à soustraire 2^n).

$$A - N = A + C_2(N) - 2^n$$

REMARQUE

Ce résultat est valable dans toutes les bases en remplaçant le complément à deux par le complément vrai.

● Illustration de cette méthode en base 10, plus familière :

Soit à soustraire 55 de 94; on trouve 39 en effectuant la soustraction 94 - 55.

Cherchons le complément à 10 du soustracteur 55 : c'est 45, car 45 + 55 = 100.

Additionnons 45 et 94; on trouve 139.

Éliminons le terme de poids fort (à gauche); on trouve 39, soit le résultat de la soustraction.

EXEMPLE

En binaire :

Soit à soustraire 101011101 du nombre $N = 110110111$.

Le complément à 1 de 101011101 est 010100010

Le complément à deux est 010100011

L'addition de N et du complément à deux du soustracteur donne :

```

Retenue   1 0 1 0 0 1 1 1
           1 1 0 1 1 0 1 1 1
+          0 1 0 1 0 0 0 1 1
-----
= X0 0 1 0 1 1 0 1 0
    
```

En éliminant le bit de poids fort, on obtient la solution 1011010

On peut vérifier le résultat en passant en décimal, soit $439 - 349 = 90$ ou en effectuant la soustraction binaire, soit :

```

Retenue   0 1 0 1 1 0 0 0
           1 1 0 1 1 0 1 1 1
-          1 0 1 0 1 1 1 0 1
-----
=          0 0 1 0 1 1 0 1 0
    
```

Effectuer la soustraction binaire 10111011101 - 101100110 par la méthode du complément à 2.

Complément à un du soustracteur : 010011001

Complément à 2 : 010011010

10111011101 + 010011010 = 110001110111

Résultat : 10001110111

On vérifie que, en décimal : $1501 - 358 = 1143$.

Le système des compléments à 2 permet de calculer des soustractions binaires en n'effectuant que des additions et des complémentations. Cette méthode permet donc le calcul des soustractions en utilisant le même circuit que l'addition, ce qui simplifie la conception des circuits arithmétiques.

3. MULTIPLICATION ET DIVISION

● Multiplication en base 2

La table de vérité de la multiplication bit à bit est identique à celle de la fonction « ET ». Des algorithmes spécifiques sont employés pour obtenir le produit de deux nombres binaires. On peut noter une particularité de la base binaire, à savoir qu'une multiplication par deux revient à décaler tous les bits du mot d'un rang vers la gauche et inversement pour une division. La figure FM 2.5 met en évidence que le décalage de un rang vers la gauche du nombre binaire 3 donne le nombre 6.

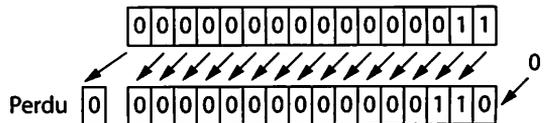


Figure FM 2.5. Multiplication par deux au moyen d'un décalage vers la gauche.

Décoder un grafcet

I. Règles de lecture

1. IDENTIFICATION PRÉALABLE

Exploiter un grafcet pour comprendre le fonctionnement de tout ou partie d'un système automatique implique au préalable de définir :

- les limites du système isolé (la frontière de description);
- le point de vue dominant et l'objectif de modélisation (voir chapitre 4);
- les entrées et les sorties.

Pour donner du sens au décodage d'un grafcet vis-à-vis de l'application, il est utile de disposer de l'ensemble des documents permettant de comprendre l'origine des informations traitées et l'effet des ordres émis : liste des identificateurs logiques, les schémas éventuels, etc.

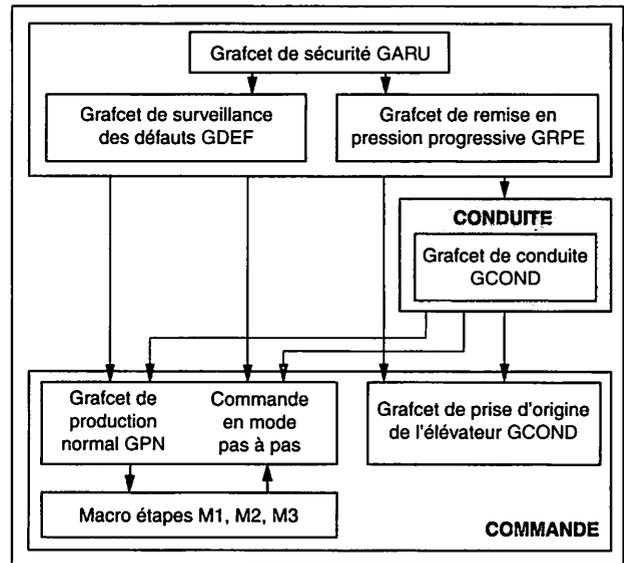


Figure FM 3.1. Organisation hiérarchique des graphes dans le cas du palettiseur.

2. Règle méthodologique d'analyse par les structures

1. APPROCHE D'ANALYSE PAR LES STRUCTURES.

Lire efficacement un grafcet c'est :

- Identifier l'organisation des graphes et leur hiérarchie éventuelle (graphe de sécurité, graphe de modes de marche, graphe(s) de production normale, expansion de macro-étapes ou graphes associés aux tâches opératives);
- Analyser les graphes en respectant la hiérarchie de décision et, pour chaque graphe et dans cet ordre :
 - analyser la situation initiale;
 - rechercher les transitions simultanément franchissables (identifier les séquences simultanées);
 - identifier les aiguillages et leur signification (choix entre des séquences, saut d'étape, saut de séquence, reprise de séquence, etc.);
 - identifier l'ensemble des séquences;
 - analyser chaque séquence étape par étape.

2. EXEMPLE D'IDENTIFICATION DES STRUCTURES DE BASE

La séquence (CEI 60848) est une succession d'étapes telle que :

- chaque étape, excepté la dernière, ne possède qu'une seule transition aval;
- chaque étape, excepté la première, ne possède qu'une seule transition amont, validée par une seule étape de la séquence.

L'application de cette définition et les structures de bases décrites dans le chapitre 7, permettent d'identifier sur l'exemple figure FM 3.2 plusieurs séquences :

- une séquence composée des étapes 11 et 12, où l'étape 11 est précédée de deux transitions ((t10) et (t17)), et l'étape 12 est suivie de deux transitions (sélection de séquences);
- une séquence composée des étapes 50, 51 et 52, précédée d'une activation de séquences parallèles et suivie d'une synchronisation de séquences;
- une séquence se réduisant à l'étape 13, précédée d'un saut d'étapes et suivie d'une sélection de séquences;
- une séquence se réduisant à l'étape 14, précédée d'un saut d'étapes et suivie d'une synchronisation de séquences;

- une séquence se réduisant à l'étape 15, précédée d'une synchronisation de séquences et suivie d'une activation de séquences parallèles;
- une séquence se réduisant à l'étape 16, précédée d'une activation de séquences parallèles;

- une séquence se réduisant à l'étape 16, ayant trois transitions en amont ((t12), (t13), (t16)) et une sélection de séquences en aval.

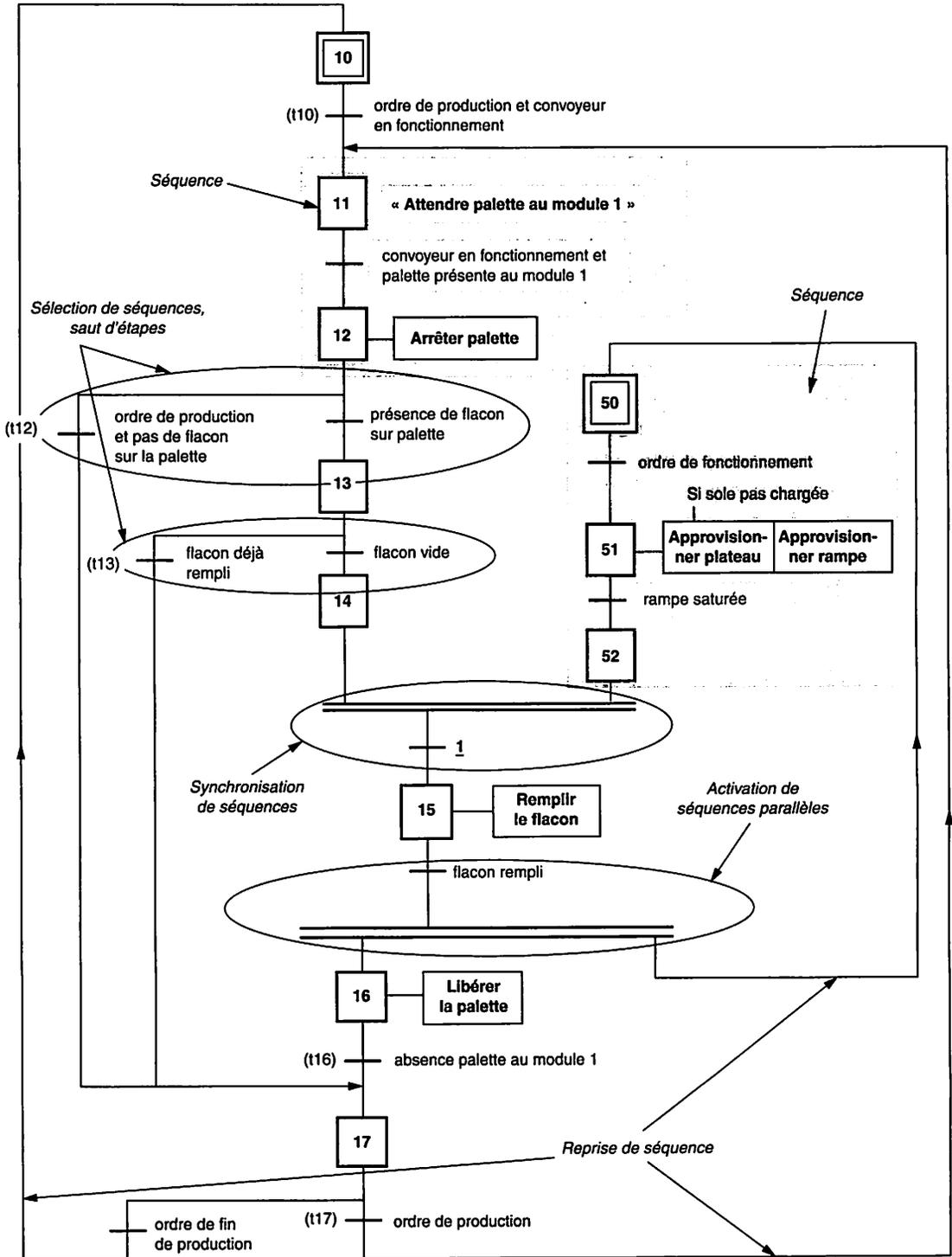


Figure FM 3.2. Identification de structures de base dans le grafcet de remplissage de la machine de conditionnement.

3. EXEMPLE DE DÉCODAGE D'UN GRAFCET

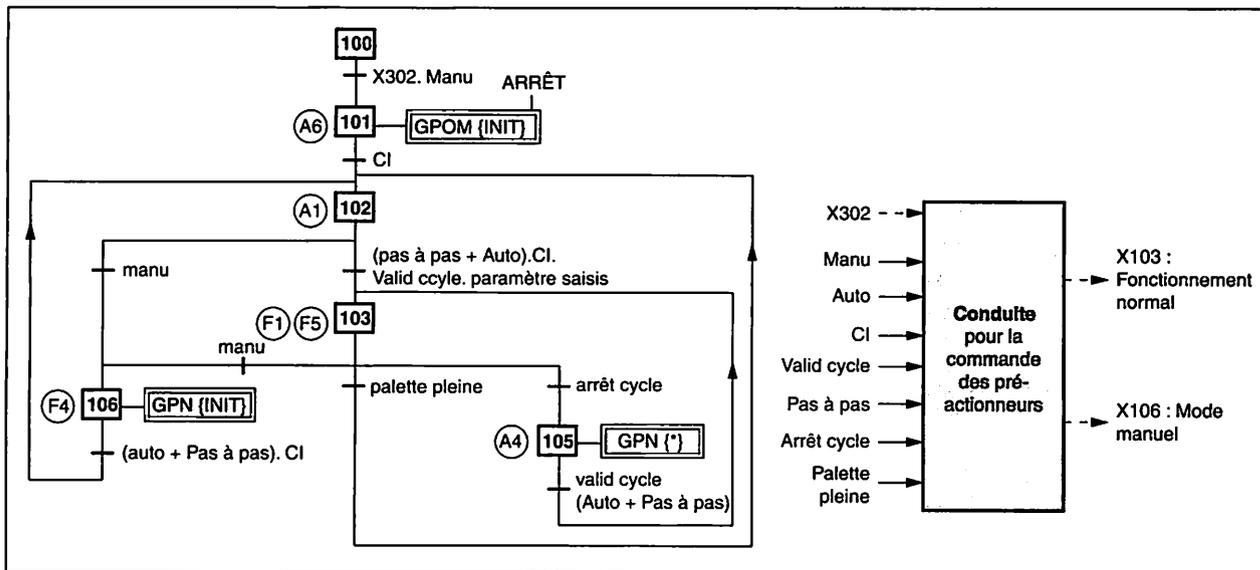


Figure FM 3.3. Grafcet GMMA de conduite du palettiseur, commande des effecteurs.

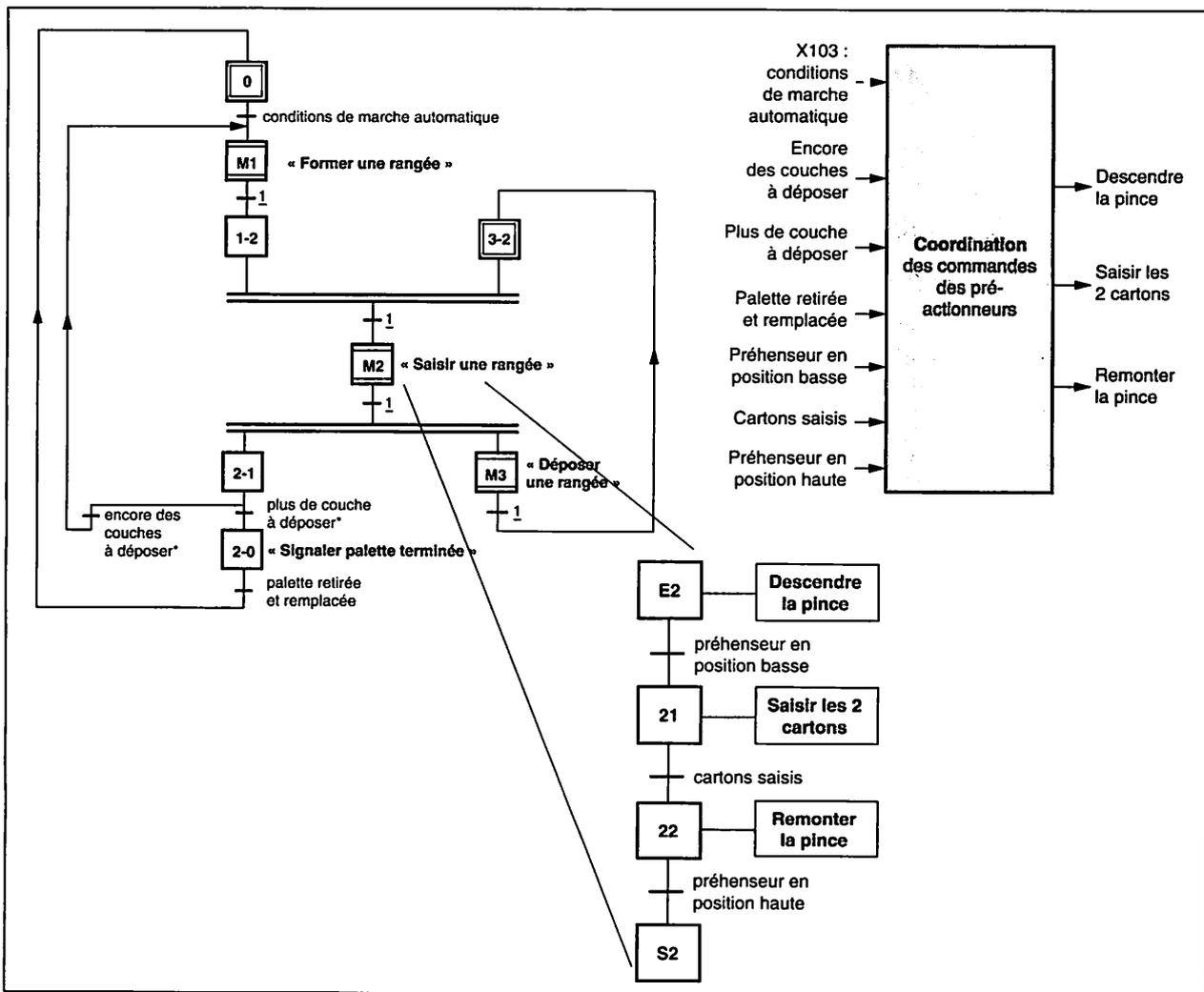


Figure FM 3.4. Grafcet de production normale GPN, niveau coordination de commandes des effecteurs et expansion de la macro-étape M2 GM2.

● Identification préalable

Le système isolé est l'ensemble du palettiseur (Figures FM 3.3 et FM 3.4). La description n'intègre ni la sécurité câblée, ni la gestion des défauts et le dialogue associé, ni la totalité des expansions des macro-étapes.

Le point de vue est celui du concepteur de la commande, l'objectif étant de décrire la commande des effecteurs. Non seulement le procédé est défini (les actions associées aux étapes sont les opérations à effectuer sur les cartons pour élaborer une palette de cartons), mais l'effecteur de saisie des cartons est défini (pince).

La liste des identificateurs associés aux entrées/sorties est définie.

● Analyse méthodologique du grafcet du palettiseur

Le modèle de comportement (partiel) du palettiseur comporte trois graphes séparés :

- le graphe GMMA (graphe de conduite figure FM 3.3) est le graphe intégrant le traitement des modes de marche et d'arrêt;
- le graphe GPN (Figure FM 3.4) assurant la coordination des tâches (l'évolution du grafcet de coordination des tâches GPN est conditionné à l'activité de l'étape 103 de GMMA par la variable X103 caractérisant l'activité de cette même étape);
- l'expansion de la macro-étape M2 (Figure FM 3.4).

La hiérarchie est GMMA > GPN > GM2.

L'analyse commence donc par GMMA.

GMMA a une situation initiale (étape 100 active). Aucune boucle ne permet de revenir à cette étape 100, il faut forcer GMMA dans la situation initiale (ordre de forçage d'un grafcet hiérarchiquement supérieur).

GMMA ne comporte pas de transitions simultanément franchissables, ni de synchronisation de séquences : c'est un graphe d'état (à un instant donnée, une et une seule étape est active à la fois).

GMMA comporte des choix de séquences : une reprise de séquence 103-105, de même pour 102-103, 102-106 et 103-106-102.

GMMA comporte cinq séquences : la séquence 100 → 101, les séquences suivantes sont réduites à une seule étape 102, 103, 106 et 105.

Analyse détaillée de ces séquences :

- les séquences 100 → 101 et 102 correspondent à la phase de reprise secteur, à l'initialisation de la com-

mande et à la prise d'origine machine (voir Gemma de la fiche système 1 : Pz → D1 → A5 → A6 → A1);

- les séquences 102, 103 correspondent au passage à la phase de production en automatique ou en pas à pas;
- les séquences 102, 106 et 102, 103, 106 correspondent au passage au mode manuel (avec initialisation de GPN) depuis l'arrêt dans l'état initial, ou depuis la production en automatique ou en pas à pas;
- les séquences 103, 105 pour l'arrêt en cours de cycle automatique ou pas à pas avec reprise possible en l'état.

L'analyse se poursuit par le graphe GPN.

La situation initiale de GPN est {0, 3-2}. L'étape 0 est l'étape de référence de la partie opérative. L'étape 3-2 est rendue initiale pour permettre l'évolution de GPN lors de la formation de la première couche.

GPN comporte deux structures de synchronisation :

- une synchronisation en amont d'une transition indiquant que la tâche M2 (saisie des cartons) ne peut s'effectuer que si les tâches M1 (formation d'une rangée) et M3 (dépose d'une rangée) sont terminées;
- une synchronisation en aval d'une transition autorisant la formation d'une nouvelle rangée (ou l'arrêt) et la dépose de la rangée saisie (lancement de séquences simultanées).

GPN ne comporte qu'un seul aiguillage issu de l'étape 2-1 qui correspond à l'arrêt de la préparation d'une nouvelle couche si la palette est terminée;

GPN comporte cinq séquences :

- la séquence associée aux étapes 2-0 et 0 (séquence de début et fin de production);
- les séquences 2-1, M1 → 1-2, M3 → 3-2 et M2.

L'analyse des séquences correspond ici à l'analyse détaillée des graphes d'expansion des macro-étapes (voir ci-après). Elle se termine ici par le graphe GM2, expansion de la macro-étape M2.

- Cette expansion GM2 ne comporte pas d'étape initiale.

- GM2 se réduit à une séquence unique, linéaire.

- L'étape de début E2 de macro-étape a une action associée (descendre la pince); l'étape de fin S2 de macro-étape n'a aucune action associée.

REMARQUE

L'activation de l'étape S2 de l'expansion de M2 provoque l'évolution de GPN de la situation {M2} à la situation {2-1, M3} (Figure FM 3.3).

Représenter une évolution temporelle

La représentation temporelle graphique est la seule représentation permettant de visualiser simplement les durées des actions ou des informations des systèmes. Mais c'est également un outil très efficace pour l'explication du fonctionnement des fonctions logiques. Elle est très souvent utilisée à cette fin dans cet ouvrage. L'outil de base est le chronogramme. Le diagramme de Gantt en est une variante.

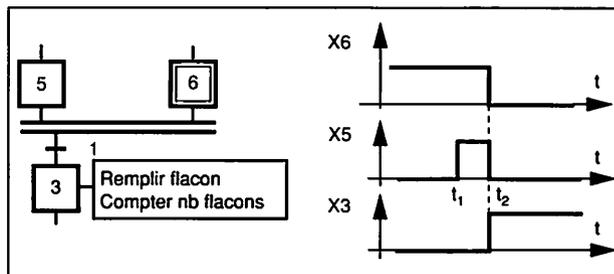


Figure FM 4.2. Chronogrammes d'une évolution de grafcet.

1. Chronogrammes

Le chronogramme est un diagramme cartésien, comportant, en abscisse, la variable temps; en ordonnée, la fonction (logique, analogique ou numérique) dont on représente l'évolution en fonction du temps. Lorsqu'on s'intéresse à l'évolution parallèle de plusieurs fonctions ou variables, on convient de placer les diagrammes les uns au-dessus des autres, avec la même unité et la même origine des temps en abscisse.

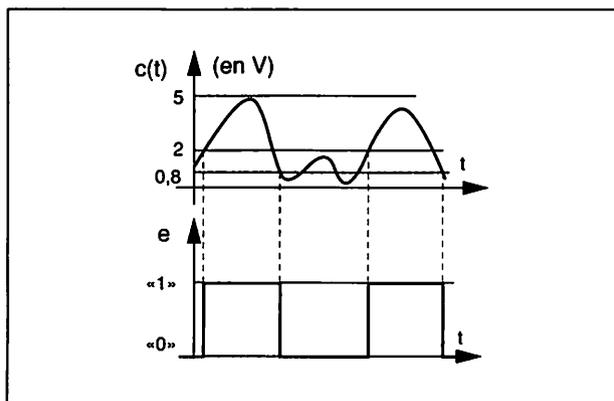


Figure FM 4.1. Chronogrammes d'un signal TTL et de sa conversion logique

EXEMPLE

1 – La figure FM 4.1 représente les chronogrammes comparés d'un signal analogique $c(t)$ issu d'un circuit logique TTL, et du signal logique équivalent en entrée d'un autre circuit (voir les niveaux logiques : FICHE MÉTHODE 1, Figure FM 1.3).

2 – Les chronogrammes de la figure FM 4.2 représentent une évolution de grafcet (voir FICHE MÉTHODE 3, Figure FM 3.10).

2. Diagrammes de Gantt

Le diagramme de Gantt est une représentation simplifiée de chronogrammes relatifs à un ensemble d'actions ou de variables logiques dont on désire figurer les évolutions temporelles. Il est constitué d'un ensemble de parallèles à l'axe des temps, chacune étant associée à une action ou variable. Par convention, on ne marque par un trait fort que les durées pendant lesquelles ces actions ou variables sont à l'état 1.

EXEMPLE

Les figures FM 4.3a et FM 4.3b représentent les diagrammes de Gantt équivalents aux chronogrammes décrivant la coordination des tâches du palettiseur (voir FICHE SYSTÈME 1).

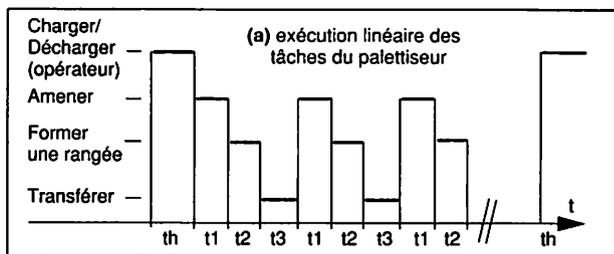


Figure FM 4.3a. Diagrammes de Gantt.

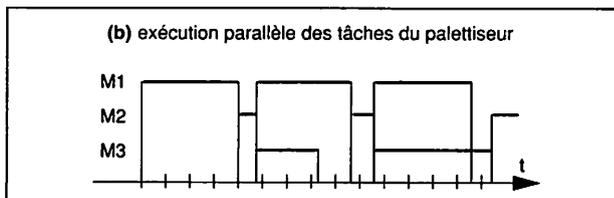


Figure FM 4.3b. Diagrammes de Gantt.

Élaborer un schéma de commande ou de puissance

Ce chapitre se propose, à partir de l'exploitation des fiches systèmes, de dégager les caractères généraux de la schématisation des chaînes fonctionnelles.

I. Principes généraux

Le principe de fonctionnement des chaînes fonctionnelles à caractère logique est simple. Il s'agit en règle générale de distribuer ou d'interrompre la circulation de l'énergie vers des récepteurs par des appareils et des dispositifs de commande et de protection à des fins :

- d'alimentations en énergie des divers circuits;
- de conversions énergétiques pour la partie opérative;
- de traitement pour la partie commande.

Il est habituel de présenter séparément ces trois parties (se reporter aux schémas des FICHES SYSTÈMES 1 ET 2).

À chaque constituant ou composant est associée une représentation graphique caractéristique de sa structure et de son comportement. Cet aspect qualitatif peut être complété par un paramétrage permettant une approche quantitative (puissance d'un moteur, dimension d'un conducteur, valeur d'une résistance, etc.). Les liaisons destinées à la circulation des fluides énergétiques usuels (électriques, pneumatiques et hydrauliques) sont matérialisées par des traits continus.

EXEMPLE

Figure FM 5.1.

Le moteur asynchrone triphasé, à rotor en court-circuit est représenté par un cercle avec une indication alphanumérique. Trois traits figurent le raccordement de l'alimentation électrique triphasée aux enroulements statoriques.

De la même manière, la représentation symbolique d'un vérin double effet fait apparaître la structure : cylindre et équipement mobile (piston et tige).

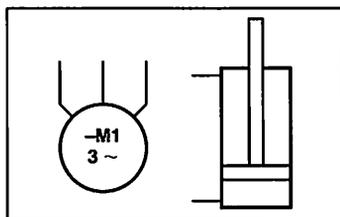


Figure FM 5.1. Représentations symboliques d'un moteur électrique et d'un vérin.

● Lecture d'un schéma

Lire un schéma nécessite donc :

- d'identifier les symboles et connaître le fonctionnement des objets associés;
- de vérifier à quelles conditions le cheminement des énergies se réalise.

REMARQUE

Représenter de façon symbolique un équipement nécessite que soient définis des règles et codes. Ceux-ci varient fortement selon la technologies de base : électrique ou fluide (pneumatique et hydraulique) et l'automaticien peut être gêné par des règles de représentation et de codage notablement différentes et parfois contradictoires. Les auteurs ont toutefois adopté le principe de conserver les représentations spécifiques pour les circuits de puissance et d'adopter majoritairement pour la commande, très fréquemment construite autour des composants et constituants programmables, les conventions de la technologie électrique beaucoup plus riche, notamment en terme de détecteurs et organes de commande.

II. Équipements pneumatiques

Les équipements pneumatiques utilisent l'énergie de l'air comprimé. Le schéma de puissance représente les circuits d'alimentation et de conditionnement en énergie et les circuits des chaînes d'action (pré-actionneurs, actionneurs, et composants de réglages).

1. DISTRIBUTION ET CONDITIONNEMENT DE L'AIR COMPRIMÉ

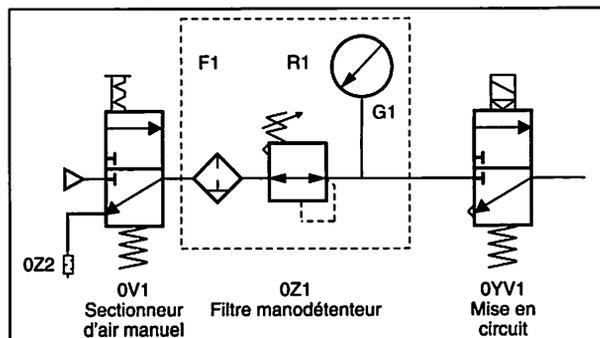


Figure FM 5.2. Conditionnement de l'énergie pneumatique (Machine de conditionnement de comprimés).

D'une manière générale, la distribution de l'air comprimé s'effectue à partir d'un réseau général d'air comprimé à des pressions de l'ordre de 0,3 à 0,8 MPa (3 à 8 bars). Chaque station possède un groupe de conditionnement comprenant généralement :

- une vanne ou distributeur d'isolement à commande manuelle (0V1);
- un ensemble de filtration, de régulation et d'indication de pression (F1, R1, G1);
- et une électrovanne (0YV1) autorisant ou non la distribution de l'énergie (« mise en énergie »).

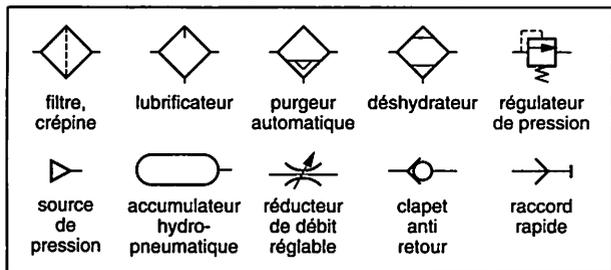


Figure FM 5.3. Représentation des principaux appareils de ligne.

2. REPRÉSENTATION SYMBOLIQUE DES DISTRIBUTEURS

Les distributeurs sont les pré-actionneurs communément utilisés en technologie pneumatique. Ce sont les appareils permettant la circulation de l'air comprimé (ou de l'huile dans le cas de l'hydraulique) dans les circuits sous l'effet d'une commande, par commutation de circuits. La représentation normalisée traduit donc les deux aspects : puissance et commande.

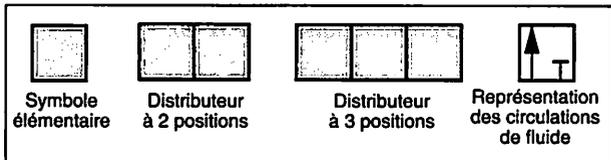


Figure FM 5.4. Codage de base de la symbolisation des distributeurs.

a) Aspect puissance : distribution du fluide

Le symbole de base renseigne sur le nombre de circuits possibles. Chacun est matérialisé par un carré dans lequel figurent les voies de circulation du fluide représentées par des flèches (circulation établie) ou des bouchons (circulation interrompue) entre chaque orifice (Figure FM 5.4). Ceux-ci sont repérés selon une codification normalisée (1 : alimentation en pression; 2 et 4 : orifices d'utilisation; 3 et 5 : orifices d'échappement).

Habituellement les distributeurs pneumatiques commutent deux types de circuits, plus rarement 3. Par convention, on caractérise le distributeur par le nombre d'orifices des cases et le nombre de cases, ou de positions, en relation avec les déplacement d'un organe mobile, le tiroir (Figure FM 5.5).

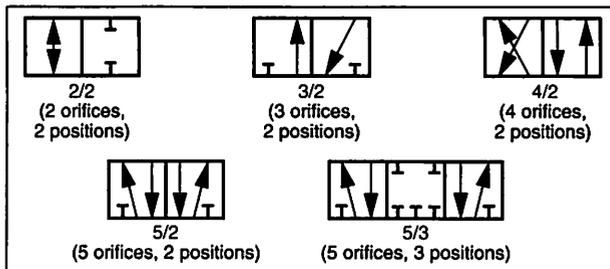


Figure FM 5.5. Quelques symboles de distributeurs (circulation du fluide).

Les éléments récepteurs sont reliés à la case correspondant à la position repos du distributeur (voies établies en l'absence de commande).

b) Aspect commande ou commutation

Une commande a pour fonction de commuter les circuits internes des distributeurs provoquant le passage d'une position à une autre (commutation des trajets). Elle peut être externe (pilotage) ou interne (ressort mécanique ou pneumatique). Elle est représentée par un rectangle accolé à la case qu'elle commute (Figure FM 5.6) et est complétée par un ou plusieurs symboles caractéristiques du mode d'action (mécanique, pneumatique, électrique ou électro-pneumatique).

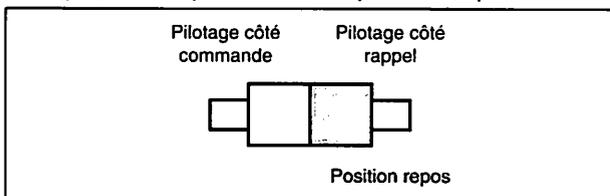


Figure FM 5.6. Emplacement des pilotes.

EXEMPLE

Le composant 02D de la figure FM 5.2 (EVG électrovanne générale) est un distributeur 2 positions (2 circuits possibles représentés par deux cases), 3 orifices, NF (normalement fermé au repos par obturation de l'orifice d'arrivée de l'air comprimé), pilotable électro-pneumatiquement pour la commande et par ressort pour le rappel (retour en position « repos »).

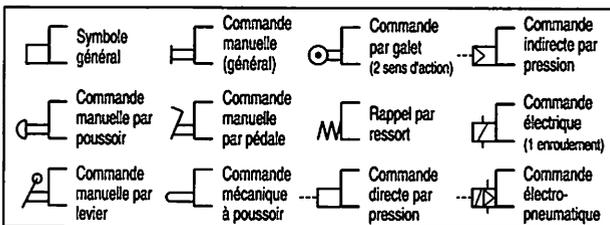


Figure FM 5.7. Représentation des principaux types de commande.

3. LES CHAÎNES D'ACTION

La figure FM 5.8 représente les chaînes d'action du module 1 de la machine de conditionnement de comprimés (rampe de dosage). Elle montre une schématis-

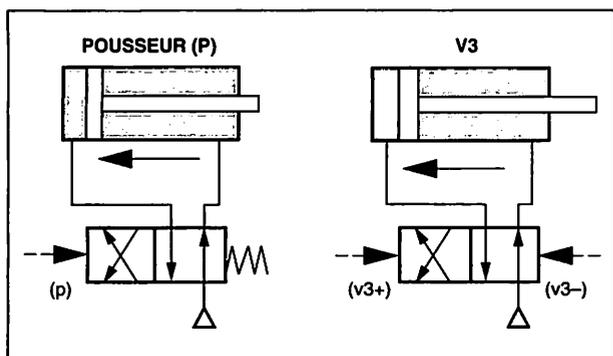


Figure FM 5.12. Exemples de codage fonctionnel.

III. Équipements électriques

1. INTRODUCTION À LA SCHÉMATISATION

La schématisation des circuits électriques est en général plus complexe que celles des circuits pneumatiques, du fait :

- de la variété des circuits réalisés, des composants et constituants disponibles;
- de la diversité des tensions et courants (alternatifs ou continus, monophasés ou polyphasés) et des différentes classes de tension employées (Figure FM 5.13 : domaine de la BTA ou TBT : triphasé 400 volts, continu 24 volts, etc.);
- des prescriptions réglementaires liées au danger intrinsèque du courant électrique, tant pour les biens que pour les personnes.

| Domaine de tension | Valeur de la tension nominale U_n (en volts) | | |
|----------------------------------|--|--------------------------|-------------------------|
| | En courant alternatif | En courant continu lissé | |
| Très basse tension (domaine TBT) | $U_n \leq 50$ | $U_n \leq 120$ | |
| Basse tension | Domaine BTA | $50 < U_n \leq 500$ | $120 < U_n \leq 750$ |
| | Domaine BTB | $500 < U_n \leq 1000$ | $750 < U_n \leq 1500$ |
| Haute tension | Domaine HTA | $1000 < U_n \leq 50000$ | $1500 < U_n \leq 75000$ |
| | Domaine HTB | $U_n > 50000$ | $U_n > 75000$ |

Figure FM 5.13. Tableau des domaines de tension.

Toutefois, même si les organes sont différents, le schéma est construit autour des mêmes principes. Une source d'énergie alimente un ou plusieurs récepteurs par des appareillages de commande et de protection.

La figure FM 5.14 représente un circuit classique d'alimentation moteur.

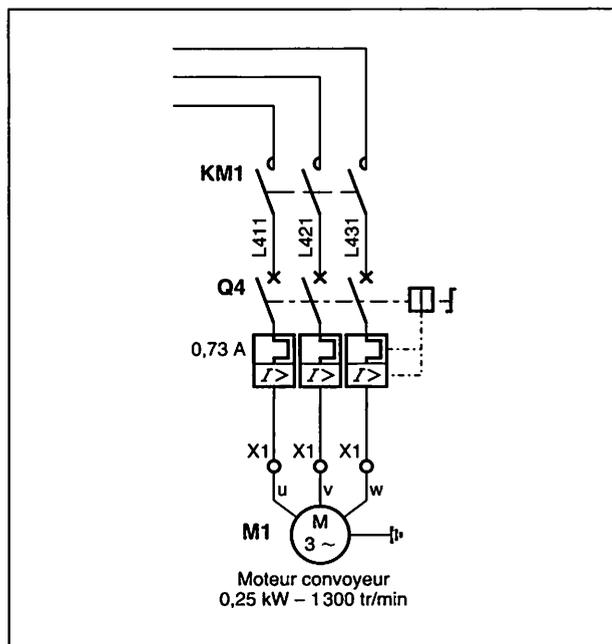


Figure FM 5.14. Représentation d'un départ moteur.

a) Établissement et interruption du courant : les contacts

La circulation du courant électrique et sa distribution aux appareils peut être commandée à partir des contacts, éléments mécaniques qui réalisent une interruption ou une continuité physique du circuit. Depuis quelques années, sont apparus d'autres éléments de commande issus de l'électronique et assurant des fonctions analogues par leur capacité à opposer soit une résistance très faible (état passant assimilable à un contact fermé), soit une résistance très grande (état bloquant assimilable à un contact ouvert). L'absence de mouvement mécanique les rend très fiables et très commodes d'emploi, néanmoins les appareils de connexions mécaniques sont encore très utilisés.

La figure FM 5.15 montre une représentation du contact dans les deux états essentiels :

- normalement ouvert (NO) ou à établissement de circuit (l'action sur le contact ferme le circuit et permet le passage du courant);
- normalement fermé (NF) ou à ouverture de circuit (l'action sur le contact ouvre le circuit et interrompt le passage du courant).

Le symbole de base peut être complété, notamment pour les contacts de puissance, par l'adjonction de symboles complémentaires (Figure FM 5.16) précisant les fonctions spécifiques (sectionnement, disjonction, etc.).

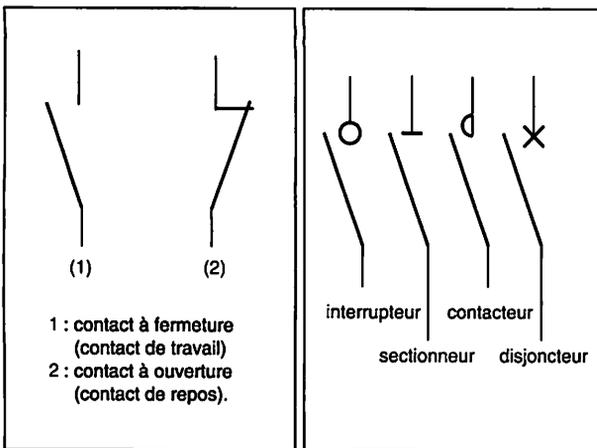


Figure FM 5.15. Symboles de base des contacts.

Figure FM 5.16. Symboles des contacts des principaux appareils mécaniques de connexion.

b) Actionneurs

Les moteurs sont les actionneurs les plus répandus, la figure FM 5.17 donne la représentation des principaux types rencontrés dans les équipements conventionnels. On notera que le moteur est représenté par un cercle. Sont indiquées également les liaisons avec les alimentations (U,V,W, pour le moteur asynchrone, A1, A2 et F1, F2 pour une machine à courant continu à excitation séparée).

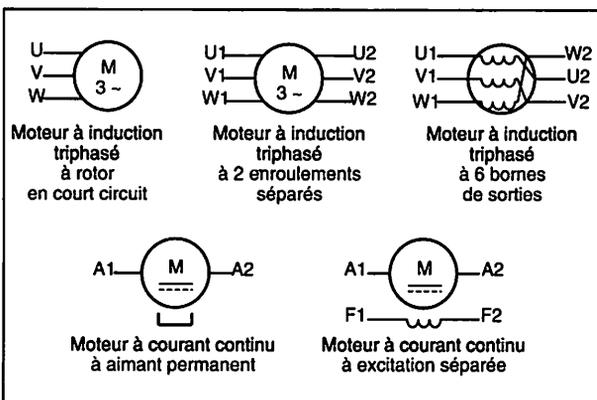


Figure FM 5.17. Représentations schématiques de moteurs.

c) Représentation des appareillages

La représentation d'un appareillage (Figure FM 5.18) est obtenue par association des symboles concernant :

- les contacts et identifiant de la fonction (disjoncteur, sectionneur, contacteur, etc.);
- la commande en précisant le ou les éléments d'action (manuel, thermique, magnétique, etc.);
- la chaîne cinématique représentée par une ligne pointillée (qui peut être omise en l'absence d'ambiguïté).

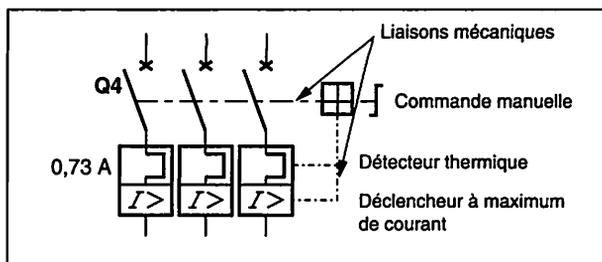


Figure FM 5.18. Représentation schématique d'un disjoncteur.

La figure FM 5.19 rassemble les représentations de quelques éléments de commande parmi les plus couramment rencontrés.

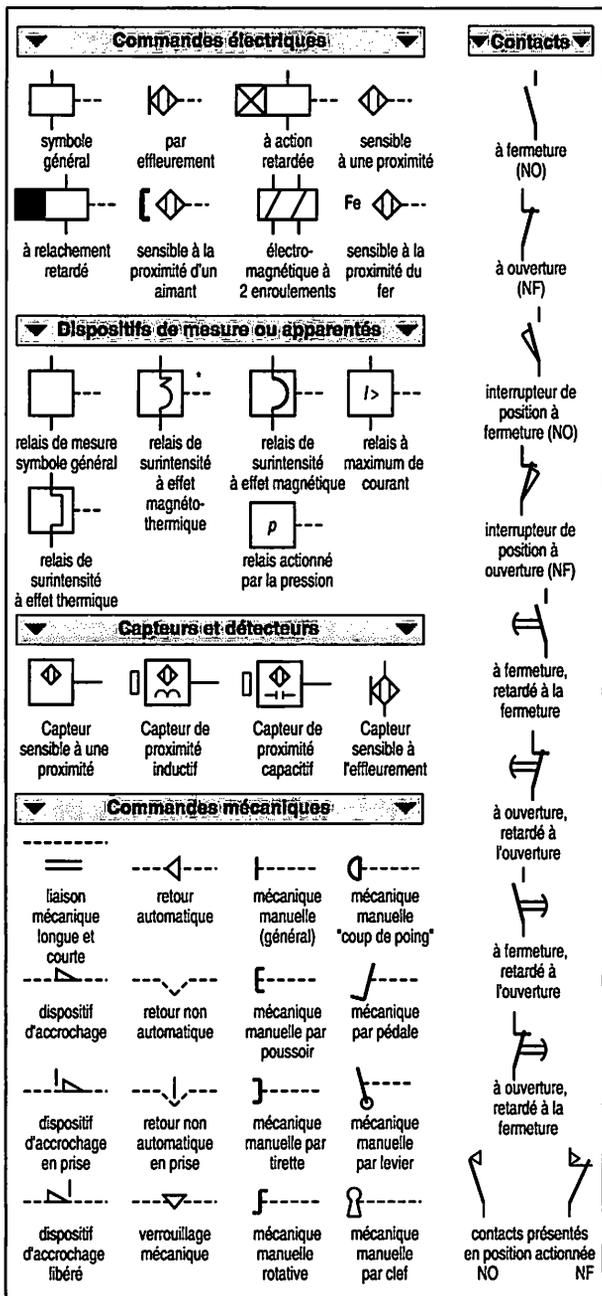


Figure FM 5.19. Principaux éléments de commande.

2. REPÉRAGE DES ÉQUIPEMENTS

Les constituants, composants (ou élément de composant) et les liaisons doivent pouvoir être identifiés et localisés rapidement sur les documents et sur les équipements. Au symbole graphique, est donc associé un label d'identification.

a) Identification des composants électriques (norme IEC (CEI) 1082-1)

L'identification complète d'un appareil peut s'effectuer sous la forme de quatre blocs distingués par des séparateurs =, +, - et : (Figure FM 5.20) :

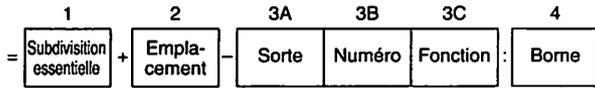


Figure FM 5.20. Disposition des blocs d'information (norme IEC 1082-1).

- bloc 1 correspondant à une subdivision essentielle. La subdivision essentielle peut correspondre à la localisation de l'enveloppe de l'équipement (armoire, salle, usine, etc.) ou au rôle de l'élément (fonction convoyage, pompage d'un ensemble de refroidissement R, etc.);
- bloc 2 correspondant à une localisation dans un ensemble (armoire, sous-ensemble n);
- bloc 3 correspondant à l'identification du composant (qui précise : 3A, la nature de l'élément prise dans le tableau, Figure FM 5.21 ; 3B, un numéro discriminant les éléments de même nature; 3C, éventuellement la fonction de l'appareil par une lettre complémentaire prise dans le tableau, Figure FM 5.22);
- bloc 4 correspondant à l'identification de la borne.

EXEMPLE

= A1 + I4 - K1M : 53 signifie : Borne 53 (bloc 4) du contacteur K1M (bloc 3 K pour 3A, 1 pour 3B, et M pour 3C) situé à l'emplacement repéré I4 (bloc 2) de l'armoire A1 (bloc 1).

Les bornes de puissance sont repérées par un seul chiffre (1, 2, ... 8), alors que les bornes de commande sont repérées par un nombre à deux chiffres caractéristiques du type de contact (NFC 03-154).

Seuls les équipements importants nécessitent un repérage aussi complet. D'une manière générale, il est souvent suffisant de se limiter à l'identification du composant (- K1M) et aux bornes (- K1M : 53).

| Lettre | Type d'élément | Exemples |
|--------|--|---|
| A | Ensembles, sous ensembles fonctionnels | Variateur électronique, automate programmable |
| B | Transducteur d'une grandeur non électrique en une grandeur électrique et vice et versa | Cellule photo-électrique, détecteur de proximité. |

| Lettre | Type d'élément | Exemples |
|--------|--|---|
| C | Condensateurs | |
| E | Matériels divers | Eclairage, chauffage. |
| F | Dispositifs de protection | Coupe circuit à fusibles, parafoudre. |
| G | Générateurs, dispositifs d'alimentation | Alternateur, batterie. |
| H | Dispositifs de signalisation | Avertisseurs lumineux et sonores. |
| J | | |
| K | Relais et contacteurs | |
| L | Inductances | Bobine d'induction. |
| M | Moteurs | |
| N | Instruments de mesure, dispositifs d'essai | Appareil enregistreur, compteur. |
| P | Instruments de mesure, dispositifs d'essai | Appareil enregistreur, compteur. |
| Q | Appareils mécaniques de connexion pour circuits de puissance | Disjoncteur, sectionneur. |
| R | Résistances | |
| S | Appareils mécaniques de connexion pour circuits de commande | Bouton-poussoir, fin de course. |
| T | Transformateurs | |
| U | Modulateurs, convertisseurs | Onduleur, convertisseur redresseur. |
| V | Tubes électroniques, semi conducteurs | Tube à vide, à gaz, diode, transistor, thyristor. |
| W | Voies de transmission, guide d'ondes | |
| X | Bornes, fiches, socles | Fiche et prise de connexion, plaquette à bornes. |
| Y | Appareils mécaniques actionnés électriquement | Frein, embrayage, électrovalve pneumatique. |
| Z | Charges correctives, transformateurs différentiels | |

Figure FM 5.21. Codage pour identification des éléments (composition du bloc 3A : préconisation CEI).

| Lettre repère | Fonction générale |
|---------------|--------------------------|
| A | Auxiliaire |
| B | Direction de mouvement |
| C | Comptage numérique |
| D | Différentiel |
| E | |
| F | Protection |
| G | Essai |
| H | Signalisation |
| J | Intégration |
| K | Approche (mise à niveau) |

| Lettre repère | Fonction générale (suite) |
|---------------|--------------------------------------|
| L | |
| M | Principal |
| N | Mesure |
| P | Proportionnel |
| Q | Réarmement, effacement |
| R | Démarrage, d'arrêt, de fin de course |
| S | Mise en mémoire, enregistrement |
| T | |
| U | |
| V | Vitesse, accélération |
| W | Additionneur |
| X | Multiplieur |
| Y | Analogique |
| Z | Numérique |

Figure FM 5.22. Codage pour la composition du bloc 3C, selon la préconisation CEI.

b) Localisation des constituants

Le repérage croisé alphanumérique colonne/ligne du type « bataille navale » et les variantes simplificatrices sont fréquemment employées sur les plans (FICHES SYSTÈMES 1 ET 2). Pour les coffrets, la même technique peut être employée. Cependant, il est fréquent de repérer les composants à l'aide d'un schéma d'implantation et d'un étiquetage des appareils.

REMARQUES

L'application stricte de la norme CEI conduit, par exemple pour les contacteurs, à écrire - K1M (avec K pour contacteur, 1 pour numéro et M pour principal) et non pas, comme souvent, KM1 (omission du - et utilisation de KM). Toutefois cet usage, dû aux pratiques et normes anciennes étant tellement répandu et admis, les deux repérages sont fréquemment utilisés dans les représentations schématiques.

● Cas de l'électrovanne : une remarque similaire s'applique au repérage de l'électrovanne. En toute rigueur, il faudrait écrire - Y1. Les usages, et les logiciels proposent un codification mixant les conventions de représentation pneumatique et électrique : 4 YV1. Ceci permet de reconnaître sans ambiguïté une électrovanne commandant un distributeur.

c) Repérage des conducteurs

Tant pour la réalisation que pour l'exploitation des équipements, il est essentiel pour des questions de rapidité d'exécution ou d'intervention que les conducteurs soient repérés.

Les conducteurs peuvent être repérés de deux façons : – par une couleur caractérisant le type de circuit auquel ils appartiennent. Couleurs recommandées : vert/jaune (bicolores) pour les circuits de mise à la terre ; noir pour

le circuit de puissance (alternatif ou continu) ; rouge pour les circuits de commande en alternatif ; bleu pour les circuits de commande en continu ; orange pour les circuits de commande d'inter verrouillage ; – et par un repère individuel (d'après le marquage des bornes reliées : borne d'entrée et borne de sortie ou marquage équipotentiel).

Le principe de repérage équipotentiel est le suivant : les conducteurs portés à un même potentiel (reliés directement entre eux) sont affectés d'un même chiffre (0, 1 pour les communs des circuits de commande de la figure FM 5.25). Ce numéro est changé à chaque passage dans un organe actif (susceptible par son fonctionnement normal d'interrompre ou d'établir la circulation du courant). Sur le circuit de commande (Figure FM 5.25), le fil de l'alimentation des sorties de l'A.P.I. en aval du contact à pression est repéré 10, et ainsi de suite.

Le repérage s'effectue sur le schéma développé (Figure FM 5.25), mais aussi sur les conducteurs, par l'intermédiaire de manchons plastiques de couleur (conformes aux codes des résistances) permettant une identification aisée et sûre. Le passage par des borniers ne modifie pas le repérage.

d) Repérage des borniers

Les borniers sont des éléments permettant de réaliser la jonction entre les conducteurs et assurer la continuité électrique des circuits. Chaque bornier est repéré par la lettre X suivi d'un numéro d'ordre (exemple : X2).

3. ORGANISATION GÉNÉRALE

En règle générale, la complexité des équipements impose une organisation des documents. Une première structuration consiste à représenter séparément, comme pour l'énergie pneumatique, la distribution et le conditionnement, la puissance et la commande.

a) Distribution, conditionnement de l'énergie électrique et chaînes d'action

Ce schéma représente un premier niveau, celui des alimentations et de la puissance. La figure FM 5.23 montre les différents départs pour les diverses alimentations en énergie à partir d'une alimentation générale en 400 Volts triphasé. Les 3 lignes sont repérées L1, L2, L3. Le premier appareil Q1 est un interrupteur sectionneur à commande manuelle. Il permet la mise en (hors) énergie par l'opérateur et assure une fonction de sectionneur (isolement des circuits). Le second Q2 est un disjoncteur à déclenchement thermique (surcharges) et magnétique (surintensités fortes). Il permet également la fonction de sectionnement. Un premier départ protégé par des disjoncteurs unipolaires Q5 et Q6 permet l'alimentation du bloc U1 (alimentation 24 volts continu pour l'automate). Noter que l'automate est mis sous tension par Q1 (si les disjoncteurs sont enclenchés).

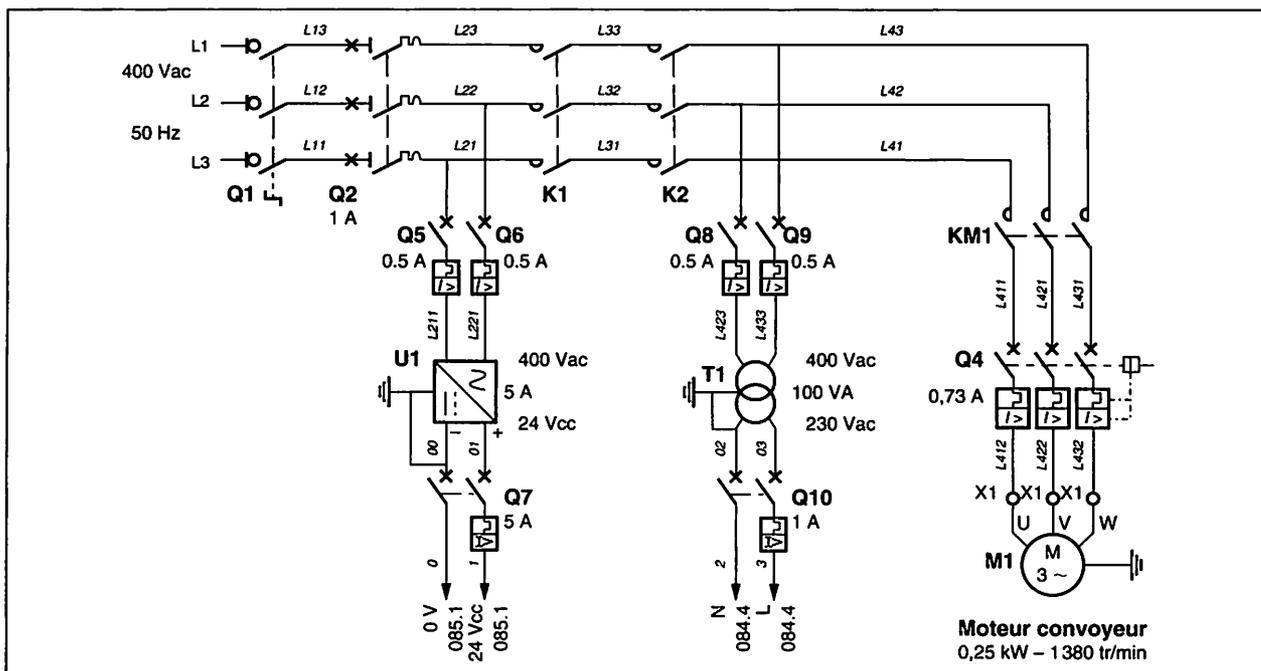


Figure FM 5.23. Alimentations en énergie de la machine de conditionnement de comprimés (modèle avec 2 API) (doc. Ravoux).

La distribution de puissance aval est conditionnée par la présence des contacts K1 et K2 commandés par un module préventa (Figure FM 5.24). Remarquer le repérage équipotentiel des lignes d'alimentations.

b) Éléments du circuit de commande générale

Ce niveau de schéma décrit les liaisons entre les divers éléments de connexion (appareillages à commande manuelle ou automatique, capteurs, détecteurs, etc.) et les organes de commande ou de signalisation (bobines de relais et contacteurs, voyants, etc.). Généralement, ces circuits sont alimentés en courant monophasé ou continu.

Un premier schéma décrit la mise sous ou hors énergie de la puissance par l'intermédiaire d'un module spécifique. Ce module est présenté en détail dans le chapitre 12 « Sûreté de fonctionnement ». Noter le câblage systématique en redondance des composants tant arrêt d'urgence (ARU) que les sécurités carters (SC1 et SC2).

Le second schéma proposé (Figure FM 5.25) renseigne sur la signalisation par voyants et sur les commandes de mise en énergie électrique (contacteur général : KM1) et pneumatique (électrovanne générale : YVG). Les voyants H1 à H4 signalent divers cas de fonctionnement de la machine.

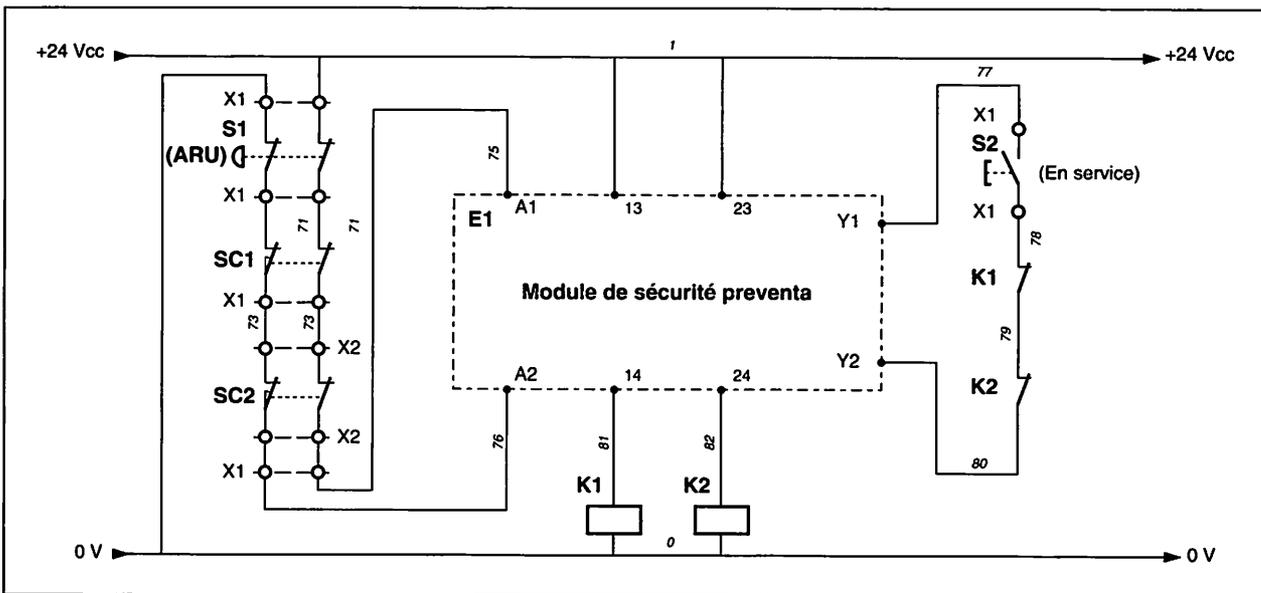


Figure FM 5.24. Schéma de câblage du module préventa de la machine de conditionnement de comprimés (modèle avec deux A.P.I.) (doc. Ravoux).

Les circuits sont disposés verticalement entre deux lignes d'alimentation tracées horizontalement. Dans l'exemple de la figure ci-dessous (Figure FM 5.25), celles-ci sont repérées 1 (polarité + 24 Vcc) et 0 (polarité 0 V). Remarque également que l'alimentation des sorties de l'automate se fait par l'intermédiaire d'un contact commandé par la pression et attestant la présence d'air comprimé dans le circuit.

Le symbole des éléments de connexion (Figure FM 5.25) est réalisé comme pour les éléments de puissance à savoir :

- le (les) contact(s) à fermeture ou ouverture de circuit;

- le dispositif d'activation (manuel, de proximité, etc.);
- la liaison cinématique.

Noter la nécessité d'affecter à chaque partie du symbole (commande et puissance) un label de personnalisation permettant une reconstitution fonctionnelle, les éléments de puissance d'un même appareillage étant représentés sur plusieurs folios. Ainsi les contacts de KM1 apparaissent figure FM 5.23, la bobine figure FM 5.25. Celle-ci est activée par KA1 (Figure FM 5.28). Dans des rares cas de schémas particulièrement simples, il est parfois possible de regrouper tout sur un même document.

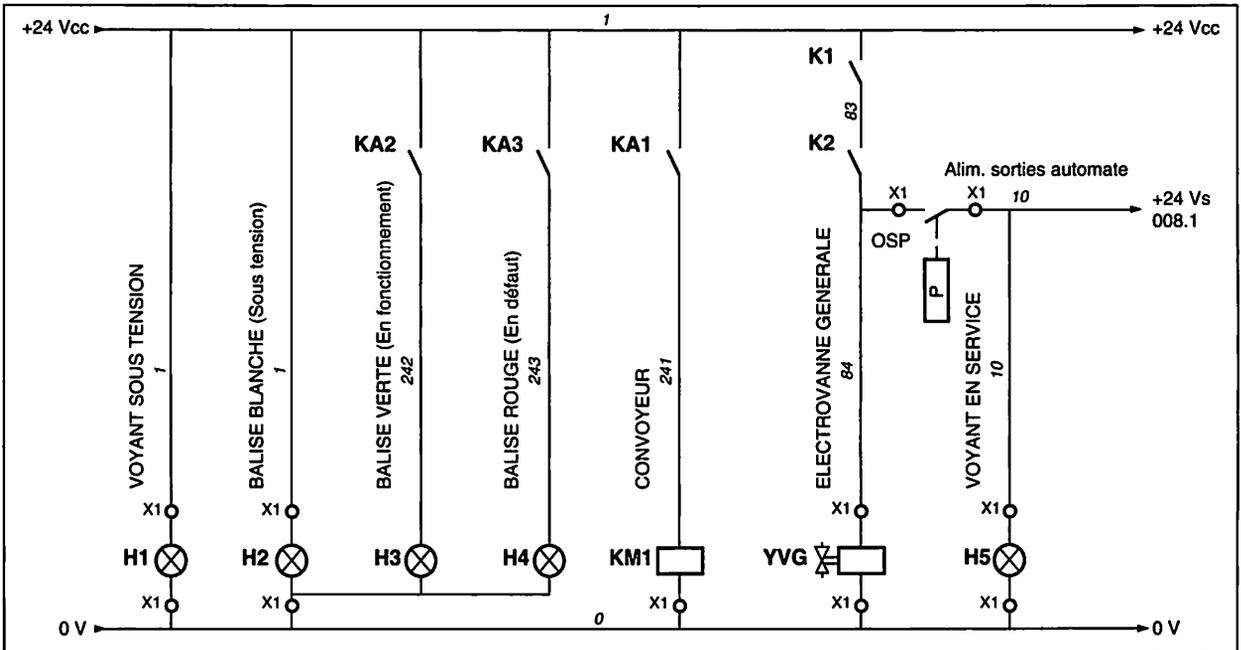


Figure FM 5.25. Schéma (partiel) de commande électromécanique de la machine de conditionnement de comprimés (modèle avec deux A.P.I) (doc. Ravoux).

c) Éléments du traitement (autour de l'automate programmable)

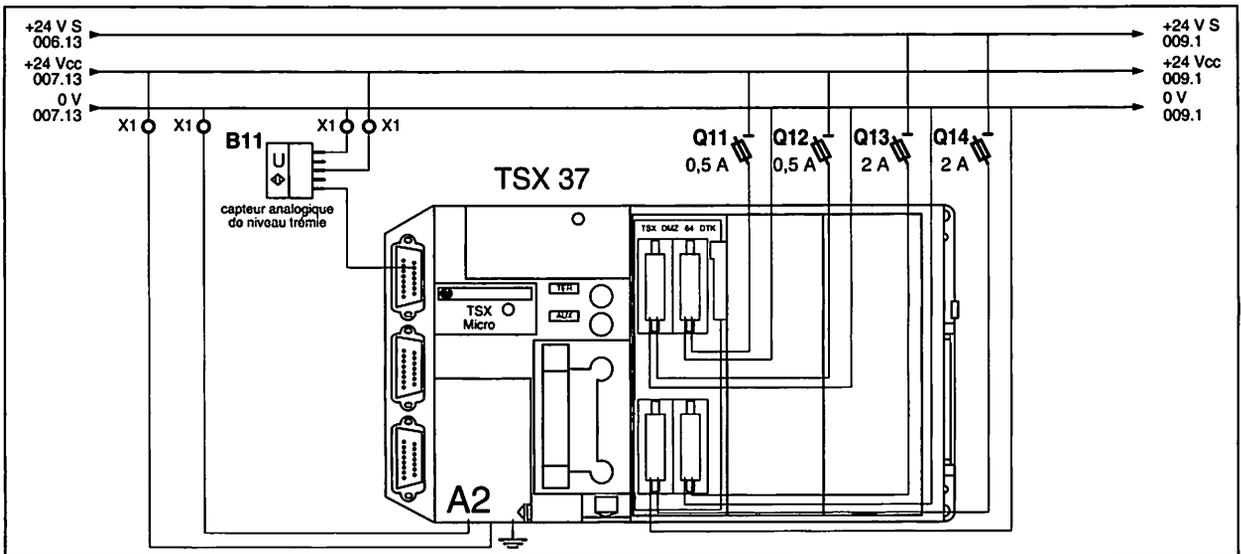


Figure FM 5.26. Alimentation de l'A.P.I. du module 1 de la machine de conditionnement de comprimés (modèle à deux A.P.I.) (doc. Ravoux).

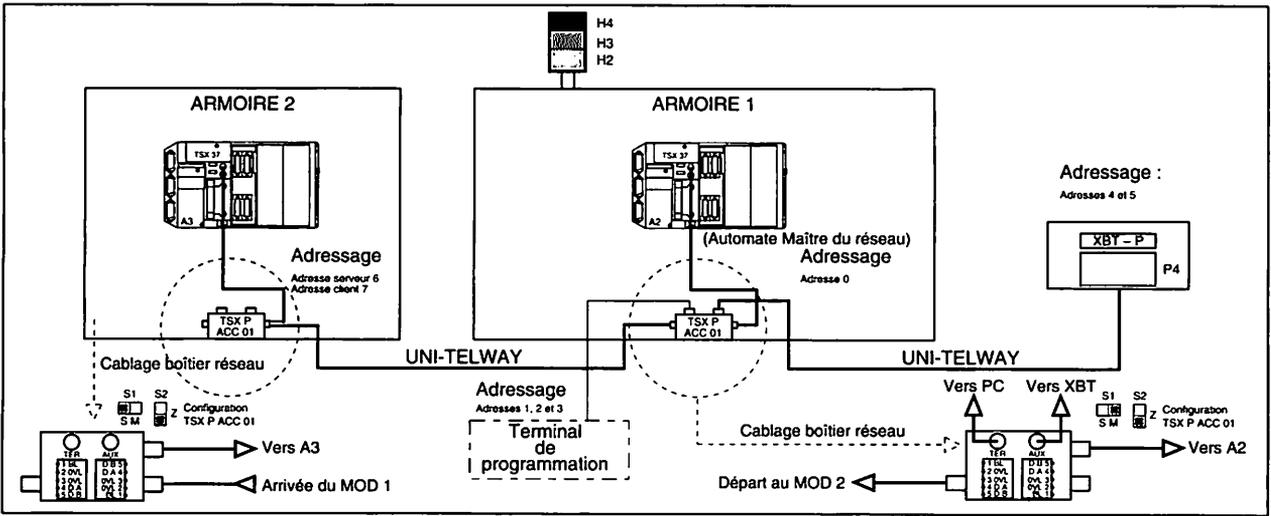


Figure FM 5.27. Câblage des A.P.I. de la machine de conditionnement de comprimés en réseau (modèle avec deux A.P.I.) (doc. Ravoux).

Les mêmes règles s'appliquent pour un équipement bâti autour d'un automate programmable. Généralement, les appareils sont représentés à partir des formes générales des appareils (Figure FM 5.26 TSX37 de Schneider Télémécanique). On notera que l'automate est alimenté directement en 24 volts continu, de même que les cartes d'entrées protégées par des fusibles de calibre 0,5 A par les lignes 1 et 0. Les sorties sont par contre alimentées par la ligne 10 et protégées par un fusible de calibre 2A.

Dans le cas de mise en réseau, les mêmes règles doivent s'appliquer.

La figure FM 5.27 illustre les interconnexions entre les deux automates et les objets de la communication via un réseau constructeur Uni-Telway.

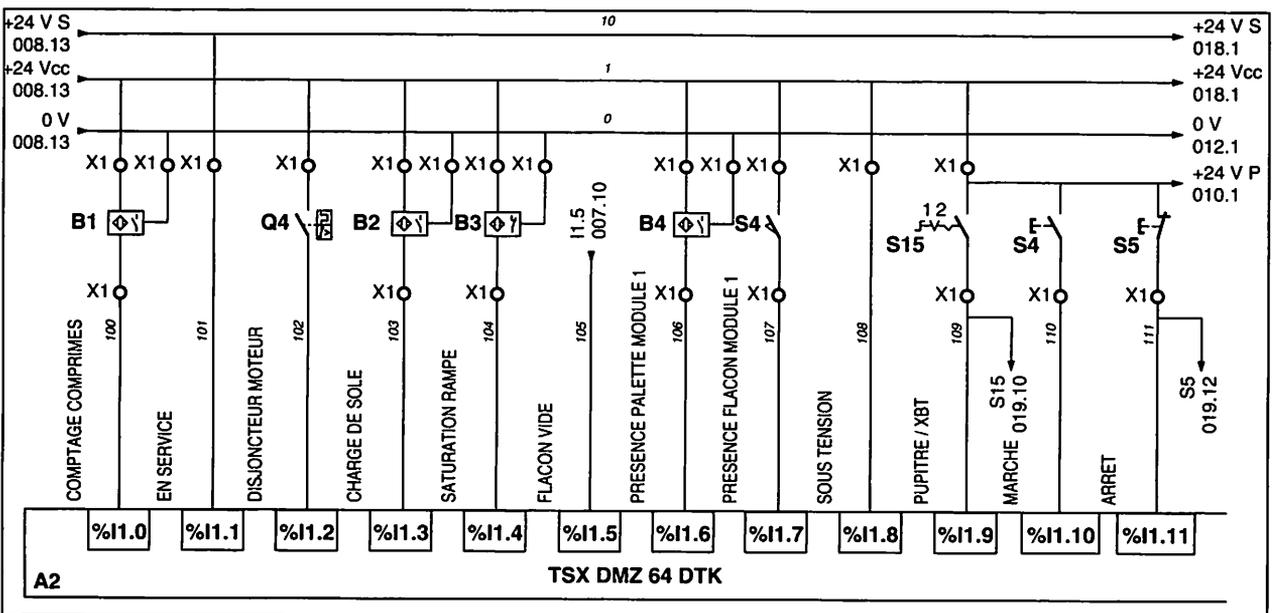
Quelques précisions concernant l'adressage des divers composants sont fournies.

Noter également la connexion d'un pupitre opérateur via le réseau ainsi que le terminal de programmation.

Les entrées sont repérées selon la nomenclature classique I (Input) m,n (avec m numéro du module et n : rang de la carte). Les sorties sont repérées de la même manière avec la lettre Q. Afin de faciliter le décodage des documents le constructeur a proposé des commentaires en clair (Figure FM 5.28).

Le schéma de câblage des entrées sorties ne présente pas de difficulté, les liaisons sont généralement simples.

Remarquer toutefois, pour les sorties la présence d'un contact du disjoncteur Q4 en série avec l'alimentation de KA1. Noter également le repérage équipotentiel employé, et la symbolisation employée pour les détecteurs de proximité.



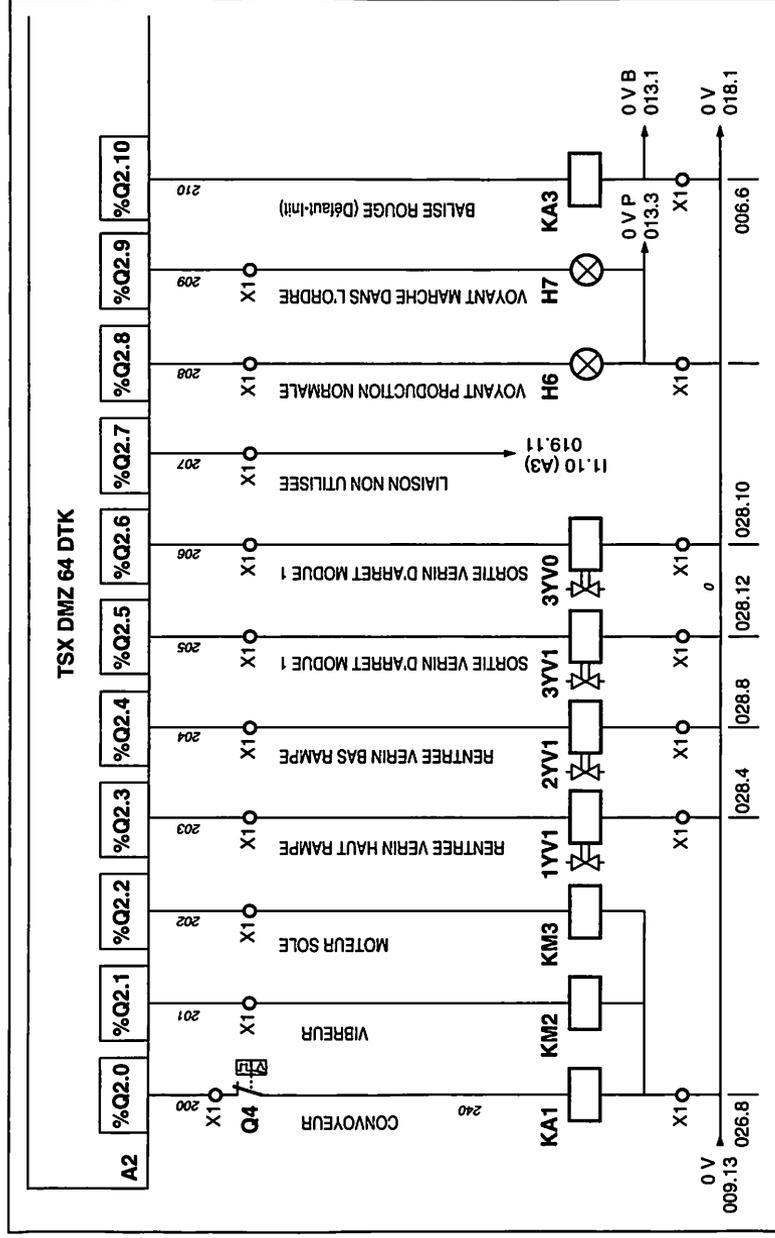


Figure FM 5.28. Schéma (partiel) du câblage des E/S de l'API 1 de la machine de conditionnement de comprimés (modèle avec deux A.P.I) (doc. Ravoux).

Choisir un détecteur de position

I. Choix du procédé de détection

La fonction détection est essentielle pour la conduite des systèmes automatiques. Elle est présente dans tous les secteurs d'activité (Figure FM 6.1).

Parmi les événements à détecter, nécessaires à la conduite automatique de ces systèmes, la détection de position tient une place très importante.

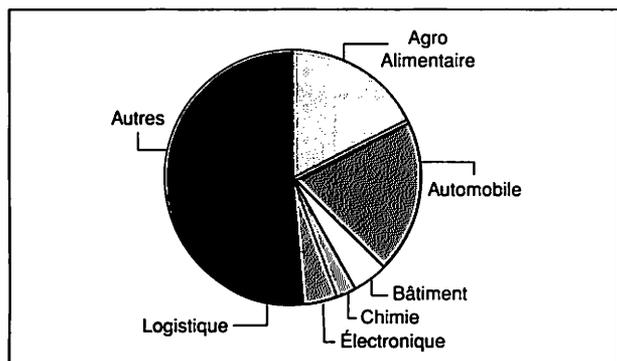


Figure FM 6.1. Importances relatives des ventes de détecteurs dans différents secteurs d'activité (Gimélec).

Pour détecter la position d'un objet, deux procédés sont utilisés :

- directement par détection de l'arrivée de l'objet dans la position à surveiller ;
- indirectement par détection d'une position d'un élément de la chaîne d'action mécanique (organe mécanique de commande du clapet d'une vanne, piston de vérin, came, levier, plateau tournant, maillon de chaîne de transmission, ...).

Le choix du procédé est souvent lié à des contraintes de sûreté de fonctionnement (sécurité des personnes et des biens, disponibilité de l'installation) et de coût (achat, montage, réglage, maintenance, ...).

EXEMPLE

Figure FM 6.2, la détection de la présence d'un carton sur le poste de confection des rangées du palettiseur est donnée par le détecteur de fin de course (D5) du vérin pousseur. Il s'agit d'une détection indirecte pour la fin de déplacement du premier carton. Le concepteur postule que « si le vérin est rentré, alors il a entraîné un carton ». En réalité, une absence de carton ou la rupture de la chaîne mécanique ne sera pas vue.

La détection de son arrivée en bout de table de confection de rangée lorsqu'il est poussé par le second carton est directe (détecteur Fc7).

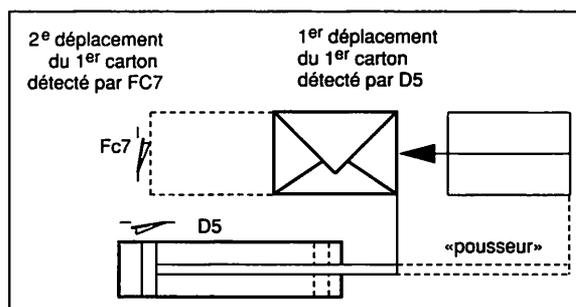


Figure FM 6.2. Détection indirecte, détection directe.

En général, la détection directe est plus sûre, car c'est la position de l'objet lui-même qui est vérifiée. Par contre, les coûts engendrés sont souvent supérieurs à une détection indirecte, notamment dans le cas des détecteurs qui peuvent être montés sur les corps de vérins.

II. Choix d'un type de détecteur

1. CHOIX D'UNE FAMILLE TECHNOLOGIQUE

Il consiste à retenir une famille technologique parmi les :

- détecteurs de position à action mécanique ;
- détecteurs inductifs ;
- détecteurs capacitifs ;
- détecteurs photoélectriques ;
- détecteurs ultrasoniques ;
- pressostats ou vacuostats.

Ce choix dépend du procédé de détection retenu et principalement des critères suivants :

- le type d'objet à détecter (métallique ou non, déformable ou non, ...);
- la distance de détection (de quelques dixièmes de millimètres à quelques dizaines de mètres);
- le coût ;
- la durée de vie ;
- les conditions d'utilisations du détecteur (environnement humide, poussiéreux, ...).

2. CHOIX D'UN DÉTECTEUR INDUSTRIEL DANS UNE FAMILLE TECHNOLOGIQUE DONNÉE

Il s'agit de définir le modèle de détecteur parmi les références proposées par les constructeurs. Pour cela, différentes contraintes sont à prendre en considération :

| Caractéristiques à prendre en compte | Exemples |
|--------------------------------------|--|
| Mécaniques | Mode de fixation du détecteur, forme du boîtier, ... |
| Métrologiques | Distance de détection, principe de détection (reflex, proximité, ...), ... |
| Électriques | Type de sortie électrique (PNP, NPN, statique), alimentation, raccordement (connecteur, câble, ...), fréquence de commutation, ... |
| Environnementales | Température ambiante, humidité, projections, poussière, champs magnétiques, ... |

III. Choix d'un détecteur photoélectrique

Il existe de très nombreux modèles de détecteurs photoélectriques. La première étape consiste à choisir le principe de détection optique :

| PRINCIPE DE DÉTECTION | | PROPRIÉTÉS |
|---------------------------------------|-----------------------------|--|
| BARRAGE | | <ul style="list-style-type: none"> - objets opaques détectables - grande portée - peut fonctionner en ambiance polluée - petits objets détectables - nécessité de monter et d'aligner deux composants |
| REFLEX | Classique | <ul style="list-style-type: none"> - objet non brillant - surface non réfléchissante - portée moyenne - ambiance assez propre - la cible doit être plus large que le réflecteur |
| | Polarisé | Idem classique avec : - objet réfléchissant ou brillant |
| PROXIMITÉ | Classique | <ul style="list-style-type: none"> objet à surface claire - distance de détection courte - ambiance propre recommandée |
| | À effacement d'arrière plan | Idem classique avec : - objets de différentes couleurs - présence d'un arrière plan proche |
| FIBRE OPTIQUE Barrage ou proximité | | <ul style="list-style-type: none"> - petite taille permettant l'implantation dans des lieux exigus - distance de détection courte - détection de petits objets |

Figure FM 6.5. Propriétés caractéristiques des différents systèmes de détection optique.

Les performances des principaux types de détecteurs photoélectriques classés selon les propriétés attendues, sont résumées dans le tableau (Figure FM 6.6).

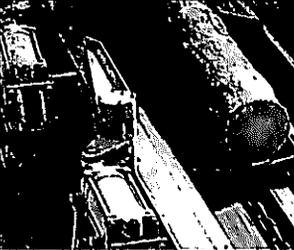
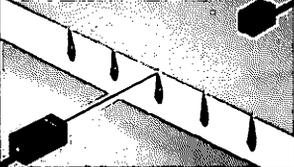
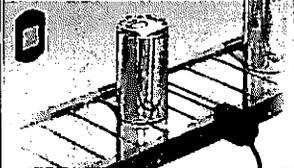
| PROPRIÉTÉS | TECHNOLOGIE | PERFORMANCES | EXEMPLE |
|--|---|--|---|
| Programme standard | Classique | Distances de détection : Barrage : 7 m Reflex : 2 m Proximité : 700 mm |  |
| | Fibre optique | Distances de détection : Barrage : 1,1 m Proximité : 130 mm | |
| Détection longue distance | Classique | Distances de détection : Barrage : 30 m Reflex : 4 m Proximité : 2 m |  |
| | Fibre optique | Distances de détection : Barrage : 2,2 m Proximité : 500 mm | |
| Détection d'objets de très petite taille | Classique ou Fibre optique à faisceau laser | Objet de taille inférieure à 0,01 mm à une distance de 50 mm en mode proximité |  |
| Détection avec effacement d'arrière plan | Classique à triangulation ou Fibre optique | Portée indépendante des variations de couleur et de matériaux Portée réglable précisément |  |
| Reconnaissance de couleurs | Classique ou fibre optique | Reconnaissance de 2 à 4 couleurs par apprentissage |  |
| Reconnaissance de brillance | Classique | Détection d'objets brillants, d'adhésif ou d'un emballage transparent |  |
| Détection de niveau de liquide | Fibre optique | Fibre immergée : détection de tous les liquides excepté ceux de couleur blanc laiteux Fibre sur tube transparent: tous liquides |  |
| Utilisation en environnements agressifs | Classique ou à fibre optique | Résistance à l'eau, à l'huile et aux chocs. Résistance à des températures comprises entre - 40° et + 300° pour les fibres optiques |  |
| Détection d'objets transparents | Classique | Plaque de verre à 300 mm en mode reflex |  |

Figure FM 6.6. Performances des détecteurs photoélectriques (photos KEYENCE ET OMRON).

Choisir un actionneur électrique et sa protection

I. Choix d'une famille d'actionneurs électriques

Ce choix (Figure FM 7.1) est dicté par :

- la nature du déplacement (translation ou rotation);
- l'amplitude du déplacement;
- la puissance mise en jeu (efforts, vitesse).

Ce dernier paramètre permet d'écartier les électro-aimants dès que les puissances mécaniques nécessaires deviennent trop importantes.

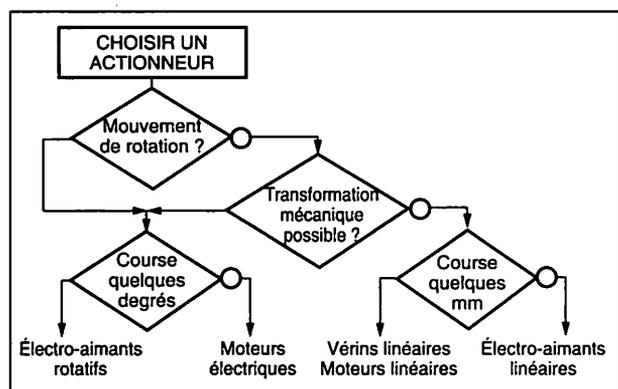


Figure FM 7.1. Algorithme de choix d'une famille d'actionneurs.

II. Choix d'un moteur électrique

1. CHOIX D'UNE TECHNOLOGIE

● Une seule vitesse

Les moteurs à courant alternatif sont les plus adaptés. Ils seront asynchrones si la précision de la vitesse n'est pas critique (± 3 à 8%), synchrones dans le cas contraire. Les vitesses standard étant de 3000, 1500, 1000, 750 t/min, un réducteur mécanique peut être nécessaire pour obtenir une vitesse différente, ou un couple plus important.

● Deux ou trois vitesses fixes

Les mêmes moteurs peuvent être utilisés par commutation des enroulements ou par dispositifs de variation mécanique (boîte à vitesses et variateurs).

● Vitesse variable

Le moteur à courant continu à excitation séparée est historiquement le plus utilisé. Dans les cas courants, il est de plus en plus supplanté par le moteur asynchrone associé à une commande électronique.

● Commande en vitesse et/ou en position

Le moteur à courant continu à aimant permanent reste utilisé pour les puissances inférieures à 10 kW. Bien que plus coûteux, les moteurs auto-synchrones, avec l'avantage d'une absence de limite de vitesse due à la commutation mécanique, sont de plus en plus employés, surtout si des performances dynamiques sont attendues. Le développement des axes à moteur linéaire offre de nouvelles perspectives, pour les machines-outils notamment.

Les moteurs pas à pas peuvent être utilisés lorsque la puissance nécessaire et les inerties entraînées sont faibles (inertie ramenée à l'arbre moteur de l'ordre de celle du rotor). Il convient toutefois de vérifier que la précision nécessaire est compatible avec le nombre de pas par tour du moteur.

● Vitesse élevée ($V > 3000$ t/min)

Les moteurs à courant continu et les moteurs pas à pas ne sont pas adaptés, les premiers en raison de la limitation due à la commutation mécanique par balais. Il existe toutefois des moteurs à courant continu sans balais moins limités en vitesse.

En règle générale, exception faite pour les vitesses fixes, on ne choisit pas seulement un moteur mais un ensemble moteur et commande électronique. Les performances de l'actionneur installé dépendent autant de l'un que de l'autre.

2. CHOIX D'UN MOTEUR ASYNCHRONE

a) Caractéristiques d'un moteur asynchrone.

La figure FM 7.2 montre les caractéristiques de couple et d'intensité d'un moteur asynchrone. L'allure de ces courbes peut varier selon les paramètres de construction.

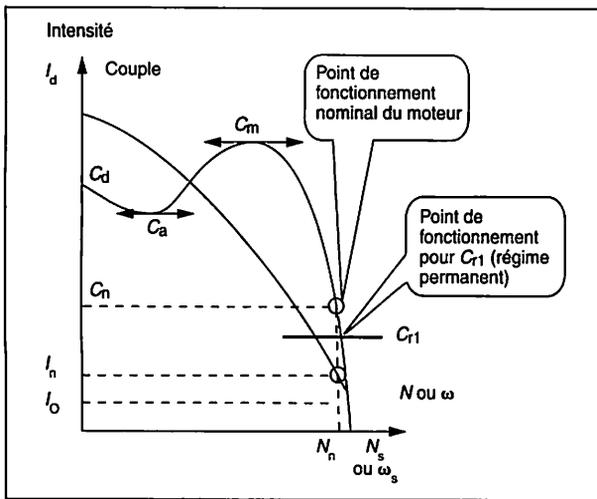


Figure FM 7.2. Caractéristiques de couple et d'intensité d'un moteur asynchrone.

La courbe de couple montre un couple à vitesse nulle (couple de démarrage C_d), qui passe ensuite par un minimum (Couple d'accrochage C_a), puis un maximum C_m . Le point de fonctionnement nominal correspond à la fourniture d'un couple nominal (C_n), à la vitesse nominale (N_n), le moteur consommant alors une intensité I_n conduisant à une température de fonctionnement admissible durant un temps de fonctionnement infini. Ce sont ces indications qui figurent sur les plaques signalétiques d'un moteur et qui autorisent une marche en continu.

Le point de fonctionnement effectif est imposé par l'équilibre entre couple moteur et couple résistant en régime établi, $C = C_r$ ($\omega = \text{constante}$), le point de fonctionnement est donc donné à l'intersection des caractéristiques de couple moteur et de couple résistant (C_{r1} : supposé constant), imposant ainsi les valeurs de vitesse et d'intensité.

On s'efforcera de rechercher les paramètres de marche proches des paramètres nominaux pour une meilleure utilisation de la machine (rendement). Toutefois, la prise compte de cycles de fonctionnement avec arrêt (services) et permettant des périodes de refroidissement autorise un travail au delà des caractéristiques nominales (voir plus loin), voire un sous dimensionnement du moteur.

b) Transferts d'énergie au sein d'un mécanisme

Il est rare que l'effecteur soit directement relié en sortie d'arbre. Très souvent des transformateurs de mouvement sont insérés pour :

- transmettre et/ou transformer le mouvement (de rotation en translation par exemple);
- transformer l'effort.

Une illustration est proposée à partir du sous ensemble fonctionnel de prise de carton du Palettiseur. Celui-ci

est constitué d'un bras supportant la pince et ses actionneurs (Figure FM 7.3). La transformation du mouvement de rotation en un mouvement de translation verticale est réalisée par un dispositif pignon-crémaillère, associé un réducteur placé en sortie d'arbre moteur. (Figure FM 7.4).

Noter la présence du codeur sur l'axe du pignon.

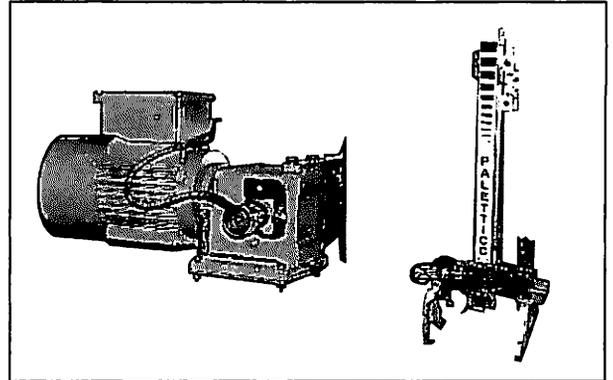


Figure FM 7.3. Vue de l'ensemble moto-réducteur avec le codeur du bras du Palettic (doc. Cybernetix).

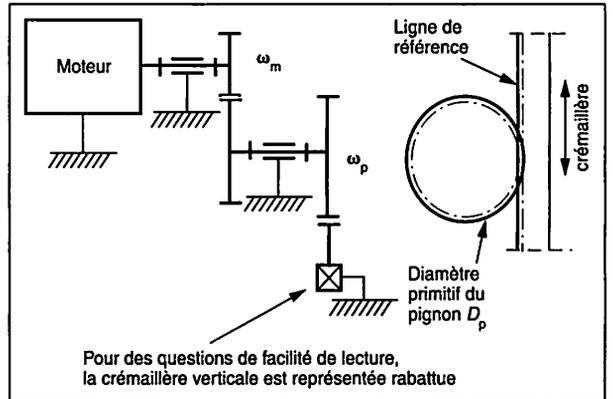


Figure FM 7.4. Schéma de principe de la motorisation du bras.

c) Notations et données pour le palettiseur

- C_m , P_m et ω_m : respectivement, moment du couple, puissance et vitesse de rotation du moteur;
- J_{eq} : ensemble des inerties vues sur l'arbre moteur (inertie équivalente);
- rapport de réduction du réducteur : $K = \frac{\omega_p}{\omega_m}$;

- le moteur devra posséder un frein (prise du carton et dépose);
- vitesse de déplacement de la crémaillère en régime établi : $V_c = 1,5 \text{ m/s}$;
- pignon de la crémaillère : diamètre primitif : $D_p = 120 \text{ mm}$ (module 2), soit $R_p = 0,06 \text{ m}$;
- masses à déplacer selon un mouvement vertical : $M = 50 \text{ kg}$ (valeur approximative).

Afin de prendre en compte les pertes énergétiques, on évalue les rendements aux valeurs suivantes en avant projet :

- Rendement du réducteur : $\eta_r = 0,6$;
- Rendement de la chaîne cinématique constituée du système pignon - crémaillère et du guidage en translation : $\eta_c = 0,9$.

REMARQUES

Noter que le rendement est fonction du point de fonctionnement considéré et que les valeurs peuvent varier dans des proportions notables. Il conviendra donc d'affiner les valeurs après la pré-détermination des composants et de leurs paramètres de fonctionnement.

Les constructeurs indiquent la puissance disponible sur l'arbre moteur : le rendement du moteur ne doit donc pas être pris en compte dans un calcul mécanique (en revanche, on peut l'utiliser pour déterminer la puissance électrique nécessaire afin de dimensionner le circuit d'alimentation).

d) Flux de puissance dans le mécanisme

La problématique de détermination de la puissance d'un moteur (et les composantes de couple et de vitesse) à partir de l'énergie nécessaire à l'effecteur consiste donc à « remonter » les composantes de la puissance à travers les constituants par l'application du principe de conservation de l'énergie. Ce qui peut être traduit par un schéma (Figure FM 7.5).

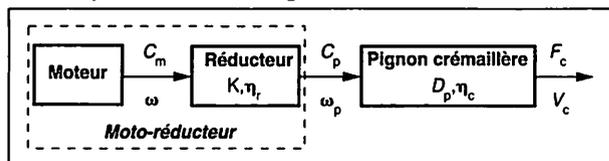


Figure FM 7.5. Représentation des variables de vitesses et d'efforts dans le mécanisme.

- Puissance demandée au niveau de la charge :

$$P_c = F_c \cdot V_c$$

- Puissance nécessaire au pignon en sortie de réducteur :

$$P_p = C_p \cdot \omega_p = \frac{P_c}{\eta_c} = \frac{F_c \cdot V_c}{\eta_c}$$

- Puissance nécessaire au moteur :

$$P_m = C_m \cdot \omega_m = \frac{P_p}{\eta_r} = \frac{P_c}{\eta_r \cdot \eta_c} = \frac{F_c \cdot V_c}{\eta_r \cdot \eta_c}$$

e) Estimation de la puissance du moteur

L'application des théorèmes généraux de la mécanique

donne la relation $C_m = J_{eq} \frac{d\omega_m}{dt} + C_r$.

Le moteur doit fournir :

- d'une part, le couple utile à la charge en régime permanent : $C_r = \frac{F_c \cdot R_p}{K \eta_r \cdot \eta_c}$.

- d'autre part, le couple nécessaire à l'accélération de la charge : $J_{eq} \frac{d\omega_m}{dt}$. Dans les cas courants, ce dernier

n'est pas toujours explicité. L'accélération communiquée à la charge est fournie par la « réserve de puissance » du moteur.

Dans le cas de démarrages fréquents, cette relation montre que si le couple moteur C_{md} au démarrage est légèrement supérieur à C_r (moteur sous dimensionné), toutes choses égales par ailleurs, l'accélération communiquée à la charge sera faible et le temps de démarrage important. En revanche, si le couple de démarrage est très supérieur à C_r (moteur sur-dimensionné), l'accélération communiquée à la charge pourra être importante et provoquer des chocs préjudiciables aux mécanismes. Il importe donc de dimensionner le moteur avec soin et, dans le cas où une maîtrise de l'accélération est nécessaire, d'utiliser un variateur.

- Approche simplifiée de la détermination d'un moteur

Seul le mouvement de levage sera considéré dans cet exemple.

- Effort vertical induit par la charge :

$$F_c = Mg \approx 50 \times 10 = 500 \text{ N.}$$

- Puissance nécessaire en régime permanent :

$$P_p = \frac{F_c \cdot V_c}{\eta_r \cdot \eta_c} = \frac{500 \times 0,15}{0,6 \times 0,9} = 138 \text{ W (valeur faible qui}$$

donne néanmoins un ordre de grandeur de la puissance minimale du moteur).

- Évaluation de la fréquence de rotation du pignon :

$$\omega_p = \frac{V_c}{R_p} = \frac{0,15}{0,06} = 2,5 \text{ rad/s. Il est nécessaire de prévoir}$$

un réducteur pour adapter la vitesse. Les vitesses de synchronisme des moteurs asynchrones usuels sont :

- 3000 mn^{-1} pour un moteur 2 pôles, vitesse nominale = 2820 mn^{-1} ;
- 1500 mn^{-1} pour un moteur 4 pôles, vitesse nominale = 1410 mn^{-1} .

Dans le cas d'un choix d'un moteur 4 pôles, le rapport de réduction sera de $(1410 \times 2\pi/60) / 2,5 \approx 59$. La valeur la plus proche disponible dans le catalogue LEROY SOMER, par exemple, est de 60 (famille Minibloc MVBE).

Le choix du moto-réducteur frein, qui s'effectue dans la famille retenue, se porte sur le premier modèle de la gamme : moteur LS 71 L ($P_{mn} = 250 \text{ W}$; $N_{mn} = 1410 \text{ mn}^{-1}$; Couple nominal : $C_{mn} = 1,7 \text{ Nm}$; $J_{mr} = 1,65 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$).

- Vérification du couple moteur nécessaire en régime

$$\text{permanent } C_r = \frac{R_p \cdot F_c}{K \eta_r \cdot \eta_c} = \frac{0,06 \times 500}{60 \times 0,6 \times 0,9} = 0,92 \text{ Nm.}$$

Cette valeur, comparée avec la valeur nominale de 1,7 Nm met en évidence la réserve de couple.

Il est utile de vérifier si les conditions de démarrage sont acceptables. Bien que l'expression du couple de démarrage d'un moteur asynchrone ne soit pas aisée à appréhender, du fait de l'allure de la caractéristique,

il est possible d'admettre, en première approximation que le couple de démarrage C_{md} est constant et vaut 2 fois le couple nominal C_{mn} (LEROY-SOMER propose une formule plus complète : se référer la documentation du constructeur).

Un rapide calcul des inerties, en négligeant celle du pignon, montre que l'inertie prépondérante est celle du moto-réducteur :

$$J_{eq} = J_{mr} + \frac{M.R_p^2}{K^2} = 1,65 \times 10^{-3} + \frac{50 \times 0,06^2}{60^2} \\ = 1,65 \times 10^{-3} + 5 \times 10^{-5} = 1,7 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2.$$

L'accélération est fournie par le couple moteur de démarrage suivant la relation :

$$C_{md} = 2 C_{mn} = J_{eq} \frac{d\omega_m}{dt} + C_r,$$

que l'on inverse pour obtenir l'accélération angulaire :

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{2 C_{mn} - C_r}{J_{eq}} = \frac{2 \times 1,7 - 0,92}{1,7 \times 10^{-3}} = 1459 \text{ rad/s}^2,$$

soit une accélération linéaire :

$$a_c = \frac{R_p}{K} \cdot \frac{d\omega_m}{dt} = \frac{0,06 \times 1400}{60} = 1,46 \text{ m/s}^2,$$

et un temps de démarrage :

$$t_d = \frac{V_c}{a_c} = \frac{0,15}{1,46} \approx 0,1 \text{ s}.$$

Cette valeur indique que le démarrage est quasi instantané.

Compte tenu de la durée du mouvement de levage (quelques secondes) et pour limiter les chocs mécaniques, le concepteur a retenu la solution d'un moteur à deux vitesses (650 mn^{-1} et 2750 mn^{-1}) avec un réducteur de rapport $K = 120$: cette solution permet l'utilisation d'une vitesse lente lors de la phase d'approche ainsi que lors des interventions de réglage (sécurité).

Une vérification complémentaire consisterait à s'assurer que l'échauffement du moteur en fonctionnement est compatible avec la classe du moteur proposé par le constructeur. À cet effet, la réglementation envisage dix cas de fonctionnement, repérés services S1 à S10 :

- S1, service continu (le moteur démarre au maximum six fois par heure et fournit sa pleine puissance le reste du temps);
- S2 à S10, services intermittents (se reporter à la norme).

EXEMPLE

Service S3, 25 %, 10 min.

S3 : service intermittent.

2 % : le moteur tourne pendant 1/4 du temps total de cycle.

10 min : le cycle dure 10 minutes au total.

Ceci signifie que le moteur tourne 2,5 minutes et reste arrêté 7,5 minutes avant de redémarrer.

Les constructeurs proposent couramment des moteurs de classes S1 et S3. Au-delà de ces caractéristiques, ils proposent des formules de déclassement (utilisation d'un moteur plus puissant en dessous de ses capacités) et des moyens de refroidissement extérieurs (ventilation forcée, etc.).

En fonction de l'environnement de travail, il est éventuellement nécessaire de vérifier l'indice de protection du moteur. Ce degré de protection caractérise la résistance et l'étanchéité aux corps solides et aux liquides du moteur. Il est noté IPXX, le premier chiffre caractérisant la protection contre les corps solides, le second la protection contre l'eau (voir FICHE TECHNIQUE 8 - Normes, définitions, caractéristiques).

EXEMPLE

IP54 = protégé contre les poussières et les projections d'eau.

3. CHOIX D'UN MOTEUR À COURANT CONTINU ET DE SA COMMANDE

Le choix porte sur les caractéristiques de vitesse et de couple correspondant aux différents types d'excitation décrits dans le chapitre 11 « Commander la puissance électrique ». Toutefois, les moteurs à aimants permanents (excitation indépendante) sont très employés dans les systèmes automatiques.

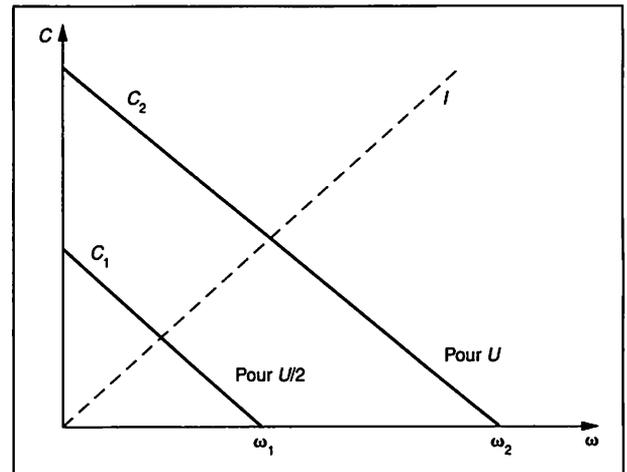


Figure FM 7.6. Caractéristique de couple d'un moteur à courant continu à aimants permanents.

L'expression du couple moteur peut s'écrire (en négligeant les couples résistants internes du moteur) :

$$C = k.I = k.U/R - k^2.\omega/R \text{ avec :}$$

k , constante de couple (caractéristique de construction);

U , tension d'alimentation de l'induit;

R , résistance d'induit;

ω , fréquence de rotation.

Pour $\omega = 0$, le couple est maximal et vaut $k.U/R$. La maîtrise de la valeur du couple (donc de l'accélération) est

obtenue à partir du contrôle de U . C'est la grande facilité de cette commande qui explique l'utilisation des machines à courant continu dans les applications avec maîtrise des performances dynamiques. Cependant, les moteurs auto-synchrones, plus performants, supplantent les machines à courant continu dans la plupart des applications à dynamique élevée. Ces cas sortent du cadre de l'ouvrage et ne seront pas développés ici.

4. CHOIX D'UN MOTEUR PAS À PAS ET DE SA COMMANDE

Le choix porte à la fois sur le moteur et sa commande et s'appuie sur les critères de :

- résolution ou nombre de pas par tour;
- vitesse maximale;
- couples aux différentes vitesses (à vide, en charge, etc.);
- inertie de la charge (ramenée à l'axe moteur);
- modes de démarrage et d'arrêt.

Le choix d'un moteur pas à pas est plus complexe qu'il n'y paraît de prime abord. Toutefois quelques règles pratiques peuvent être données :

- éviter de choisir un moteur pas à pas dont l'inertie du rotor est inférieure à celle des éléments entraînés (ramenée à l'axe du moteur);
- le couple moteur à la fréquence de rotation maximale doit être le double du couple résistant;
- le nombre de pas, la fréquence de rotation doivent être adaptés à l'application.

III. Choix des éléments de protection d'un moteur électrique asynchrone

Un moteur est un convertisseur d'énergie relié à une source considérée comme infiniment puissante qui peut fournir du courant sans limitation propre. Il est dimensionné pour supporter une charge permanente correspondant aux caractéristiques nominales. Toute demande supplémentaire de consommation se traduira par un échauffement (effet Joule), susceptible d'accroître la température interne et de provoquer des échauffements destructeurs des isolants et des pièces mécaniques (grippage...). Il faut donc éviter d'utiliser le moteur en dehors de zones de fonctionnement admissibles, c'est le rôle de la protection contre les surcharges (protection thermique). Il est également nécessaire de protéger les alimentations contre les courts-circuits et d'éviter les propagations des défauts. C'est le

rôle de la protection contre les surintensités ou courts-circuits.

La protection du réseau contre les surintensités est assurée par des fusibles (un par phase) ou par disjoncteurs. La protection des moteurs peut être assurée par relais thermiques ou par disjoncteurs magnéto-thermiques.

1. PROTECTION PAR FUSIBLES

Les fusibles sont conçus pour protéger contre les courts-circuits (surintensités) et doivent réagir très rapidement si $I > 10 I_n$. Ils sont formés d'un fil (ou lame) fusible calibré et créant un point faible dans le circuit électrique. Les fusibles industriels sont de deux types :

- les cartouches gG, d'un usage général (marquées en noir);
- les cartouches aM, adaptées aux moteurs car elles supportent les surcharges brèves du démarrage. Elles sont marquées en vert.

La figure FM 7.7 montre la courbe de fusion d'un fusible gG 100 A. cela signifie qu'il peut supporter indéfiniment 100 A, mais qu'il fondra au-delà (par exemple en 30 s pour un courant de 300 A).

Les fabricants proposent des tableaux de choix en fonction des puissances du moteur à protéger et des tensions d'emploi. Dans tous les cas il convient d'y associer une protection contre les surcharges (relais thermique par exemple).

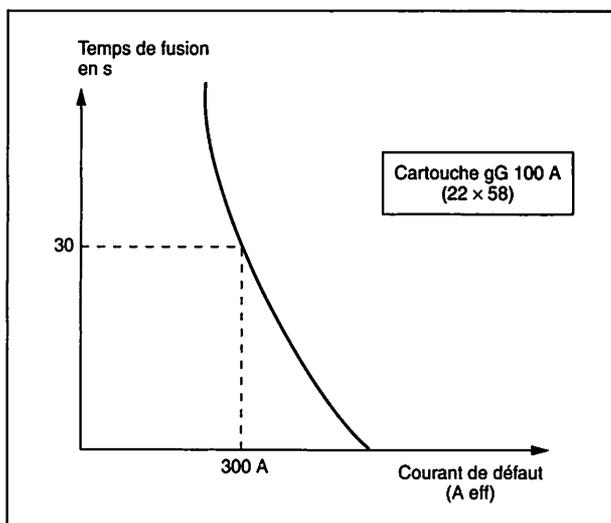


Figure FM 7.7. Caractéristique de fusion d'un fusible gG 100 A.

C'est une solution économique mais mal adaptée à un fonctionnement des équipements automatiques et peu sûre en raison du risque de fusion partielle des fusibles (une partie des phases peut rester alimentée) et de la nécessité de disposer de fusibles de remplacements de même calibre.

2. CHOIX DU RELAIS MAGNÉTO-THERMIQUE

Le relais thermique protège contre les surcharges faibles et prolongées.

Le relais magnéto-thermique protège contre les surcharges faibles et prolongées (étage thermique) et contre les surcharges importantes (étage magnétique). Selon les applications, des courbes de réponses différentes sont proposées. La figure FM 7.8 donne une indication des temps de déclenchement en fonction de la valeur de l'intensité consommée par le moteur.

Les constructeurs donnent des tableaux de choix en fonction de la puissance du moteur à protéger. Pour l'exemple, du moteur du bras du palettiseur (0,25 kW), le disjoncteur sera un GV2 ME05 ou GV2 PE05.

Les facilités d'utilisation offertes par les disjoncteurs imposent ceux-ci dans les équipements. De plus, de nombreuses fonctionnalités supplémentaires sont proposées (signalisation, liaison par réseau, réenclenchement à distance, etc.).

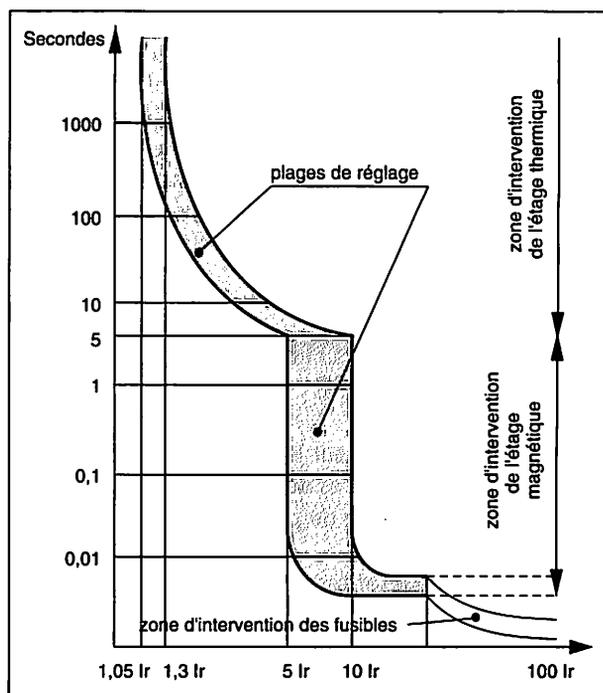


Figure FM 7.8. Courbe de déclenchement des protections.

Disjoncteurs magnétothermiques GV2 ME et GV2 P

GV2 ME : commande par boutons poussoirs, GV2 P : commande par bouton tournant

| puissances normalisées des moteurs triphasés 50/60 Hz en catégorie AC-3 | | | | | | plage de réglage des déclencheurs thermiques (3) | courant de déclenchement magnétique I _d ± 20% A | référence |
|---|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|--|--|-------------------------------------|
| 400/415 V | | 500 V | | 690 V | | | | |
| P kW | I _{cu} kA (2) | P kW | I _{cu} kA (2) | P kW | I _{cu} kA (2) | | | |
| | | | | | | 0,1...0,16 | 1,5 | GV2 ME02 GV2 ME023 ou GV2 P01 |
| 0,06 | ★ ★ | | | | | 0,16...0,25 | 2,4 | GV2 ME02 GV2 ME023 ou GV2 P02 |
| 0,09 | ★ ★ | | | | | 0,25...0,40 | 5 | GV2 ME03 GV2 ME033 ou GV2 P03 |
| 0,12 | ★ ★ | | | 0,37 | ★ ★ | 0,40...0,63 | 8 | GV2 ME04 GV2 ME043 ou GV2 P04 |
| 0,18 | ★ ★ | | | | | 0,40...0,63 | 8 | GV2 ME04 ou GV2 P04 |
| 0,25 | ★ ★ | | | 0,55 | ★ ★ | 0,63...1 | 13 | GV2 ME05 GV2 ME053 ou GV2 P05 |
| 0,37 | ★ ★ | 0,37 | ★ ★ | | | 1...1,6 | 22,5 | GV2 ME06 GV2 ME063 ou GV2 P06 |
| 0,55 | ★ ★ | 0,55 | ★ ★ | 0,75 | ★ ★ | 1...1,6 | 22,5 | GV2 ME06 ou GV2 P06 |
| | | 0,75 | ★ ★ | 1,1 | ★ ★ | 1...1,6 | 22,5 | GV2 ME06 ou GV2 P06 |
| 0,75 | ★ ★ | 1,1 | ★ ★ | 1,5 | 3 75 | 1,6...2,5 | 33,5 | GV2 ME07 GV2 ME073 |
| 0,75 | ★ ★ | 1,1 | ★ ★ | 1,5 | 8 100 | 1,6...2,5 | 33,5 | GV2 P07 |

Figure FM 7.9. Extrait d'un catalogue (Schneider Electric).

IV. Choix d'un actionneur électrique linéaire

1. CHOIX D'UN ÉLECTRO-AIMANT

● Alimentation

Les électro-aimants standard sont alimentés par du courant :

- continu 24 V, 180 V, 220 V;
- alternatif monophasé à 50 Hz, 220 V, 380V, 500V.

Les électro-aimants à courant continu sont plus courants, plus silencieux, offrent de plus grandes courses sans réduction d'effort (jusqu'à 30 mm) et acceptent de plus grandes cadences.

Les électro-aimants à courant alternatif délivrent un effort nominal plus important, surtout pour les faibles cadences, mais surtout leur consommation de courant dépend de la position de l'armature mobile en étant minimum lorsque l'armature est collée à la culasse.

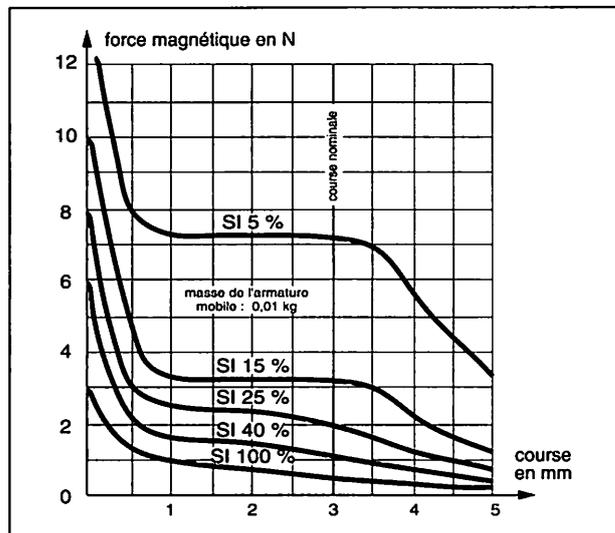


Figure FM 7.10. Exemple de courbe caractéristique d'un électro-aimant (CC).

● Cycle de travail

Le type d'alimentation étant prévu, il faut choisir l'électro-aimant capable de fournir l'effort voulu et d'accepter la cadence désirée.

● Temps de réponse

L'électro-aimant choisi, il faut vérifier que ses temps de réponse soient compatibles avec l'application prévue, en particulier :

- le temps t_1 de réponse à la fermeture du circuit (délai entre la fermeture du contacteur et la fin de course de travail);
- le temps t_2 de réponse à l'ouverture du circuit (délai entre la coupure et l'annulation de l'effort).

Les électro-aimants à courant continu sont plus rapides que leurs homologues à courant alternatif.

● Fréquence de travail

Cette fréquence est égale au nombre de cycles de travail par unité de temps. Elle est au maximum : $f_{\max} = 1/(t_1 + t_2)$.

● Précautions d'installation

Les électro-aimants à courant continu sont source de surtension et d'arc électrique à la coupure du circuit dont il faut tenir compte. De plus, il peut être nécessaire d'inverser brièvement le courant pour les décoller (effet magnétique rémanent).

2. CHOIX D'UN VÉRIN ÉLECTROMÉCANIQUE

● Critères de choix

Ce sont :

- la prise en compte de la technologie de puissance dominante;
- la force développée (jusqu'à 10 000 N);
- le sens de cet effort à développer (en tirant ou en poussant);
- la course (1 500 mm et plus);
- la vitesse (si $V > 160$ mm/s il faut choisir un vérin pneumatique);
- la fréquence de manœuvre (nombre de cycle par unité de temps);
- la réversibilité (charge pouvant être motrice ou non);
- l'alimentation;
- les dimensions;
- la température ambiante.

Déterminer les éléments d'une chaîne d'action pneumatique

I. Détermination d'un vérin pneumatique

1. PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

La détermination d'un vérin ne peut s'effectuer qu'à partir de critères précis extraits du cahier des charges :

- type de déplacement : horizontal, vertical, oblique, en rotation;
- course nécessaire;

- type de travail : statique (serrage) ou dynamique (déplacement);
- propriétés de la charge à déplacer (masse, inertie, etc.) ou effort statique à fournir;
- efforts radiaux éventuels;
- frottements;
- nature de la charge : déformable, fragile, etc.;
- contraintes cinématiques : vitesse, accélération, durée du déplacement, etc.

En pratique, on rencontre principalement trois types de problèmes :

| Type de problème rencontré | Type de vérin | Technologie utilisée |
|---|--|--|
| travail en régime statique | vérin de serrage, de bridage, de blocage, de maintien, etc. | vérins compacts ou vérins à soufflets. |
| travail en régime dynamique sans contraintes <i>déplacement avec combinaison (charge, vitesse, inertie) faible ou travail à vide</i> | vérin poussoir, éjecteur, testeur, butée, etc. | vérins standard à amortissement élastique ou vérins oscillants. |
| travail en régime dynamique avec contraintes <i>déplacement avec combinaison (charge, vitesse, inertie) plus importante</i> | vérin pour : transfert ou positionnement en translation, en rotation, transfert vertical, etc. | vérins standard à amortissement pneumatique réglable, vérins sans tige, vérins guidés ou unités de translation et de rotation. |

REMARQUES

1. Lorsqu'un vérin travaille sur la totalité de sa course, il ne suffit pas qu'il puisse déplacer la charge, il faut également qu'il soit capable de la stopper dans des conditions satisfaisantes. Le cas échéant, un dispositif d'amortissement interne ou externe est nécessaire.

2. Un vérin n'est pas conçu pour supporter des efforts radiaux sur la tige, excepté les vérins guidés. Ces efforts, même s'ils sont inférieurs à la limite acceptable (fournie par les constructeurs dans des tableaux ou des abaques), entraînent un travail dans de mauvaises conditions des joints de tige, ce qui provoque une usure prématurée.

2. DÉTERMINATION DE L'EFFORT FOURNI PAR UN VÉRIN

On utilise les résultats démontrés dans le chapitre 10, soit :

$$D = \sqrt{\frac{4F}{t_c P \pi}}$$

avec D diamètre minimal du vérin en mm,

P pression de service en Pa, F effort fourni par le vérin en N et t_c taux de charge sans unité. D , P et F peuvent être exprimés respectivement en cm, bar et daN. Pour un mouvement en rentrée de tige, on utilise la même formule en majorant F d'environ 20 %, puis on vérifie que le vérin choisi, dont on connaît maintenant le diamètre de tige, convient.

En pratique, la lecture dans un abaque du type de celui de la figure FM 8.1 est plus rapide. On lit directement

le diamètre de vérin normalisé permettant d'obtenir l'effort désiré en travail statique (taux de charge $t_c = 1$) ou en travail dynamique ($t_c = 0,5$) pour une pression de

6 bars. Dans le cas où l'on désire un taux de charge différent, ou si la pression est différente de 6 bars, il faut utiliser la relation précédente.

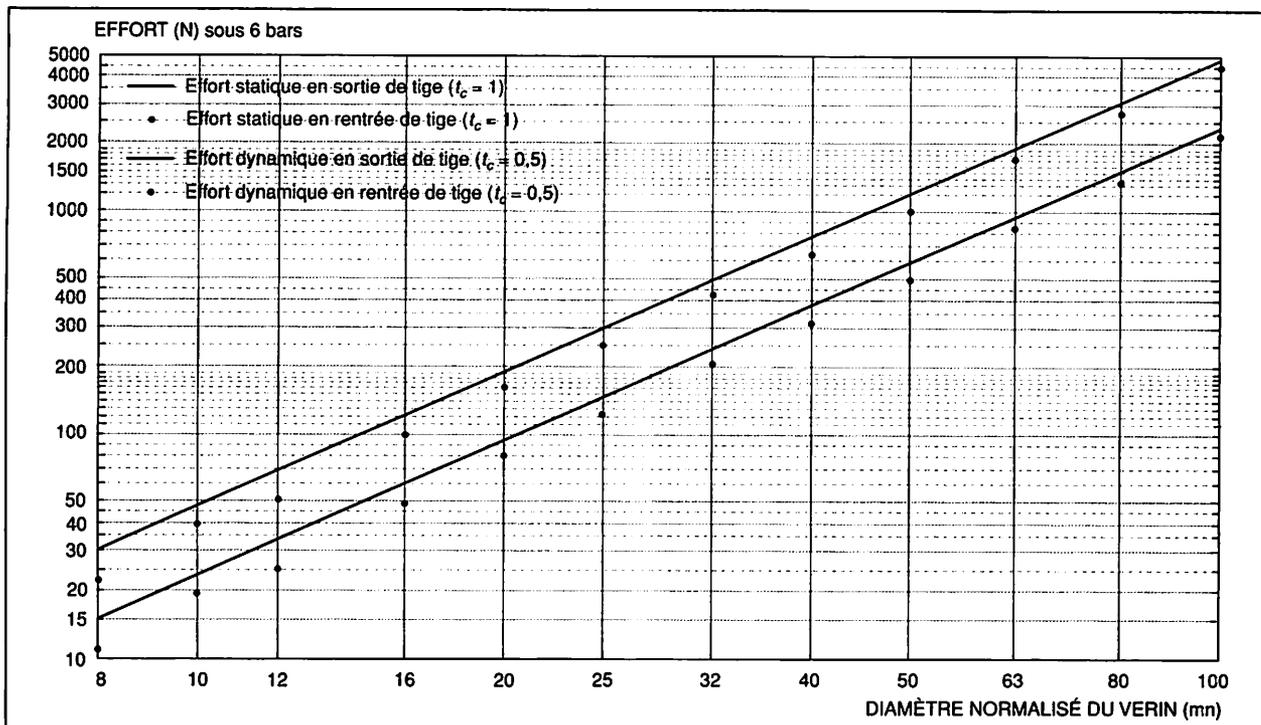


Figure FM 8.1. Abaque de détermination du diamètre d'un vérin standard en fonction de l'intensité et du type de l'effort.

3. DIMENSIONNEMENT EN RÉGIME STATIQUE

Il s'agit de toutes les configurations où l'effort F recherché se produit en fin de course ou en butée, par exemple dans le cas du serrage (Figure FM 8.2). En général les courses sont faibles et les temps de déplacement non prépondérants.

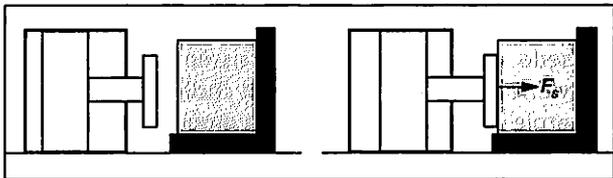


Figure FM 8.2. Vérin compact de serrage devant développer un effort statique F_s .

Les frottements ainsi que les pertes de charges sont considérés comme nuls puisque le vérin est immobile dès lors qu'il est en contact avec l'objet à serrer. Le calcul s'effectue sans appliquer de taux de charge ($t_c = 1$) et la valeur minimale du diamètre est donnée soit par la formule : $D = \sqrt{\frac{4F_s}{P\pi}}$, soit par lecture directe dans l'abaque (Figure FM 8.1).

EXEMPLE

On désire serrer un pièce métallique avec un effort de 1000 N, dans la configuration de la figure FM 8.2. La course requise est de 40 mm.

– Détermination à partir de la formule :

$$D = \sqrt{\frac{4F_s}{P\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1000}{6 \cdot 10^5 \times \pi}} = 46 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 46 \text{ mm.}$$

Choix du diamètre normalisé immédiatement supérieur, soit $D = 50 \text{ mm}$.

– Lecture directe dans l'abaque (Figure FM 8.1) : pour un effort statique de 1000 N en sortie de tige avec un taux de charge de 1, le diamètre normalisé immédiatement supérieur est $D = 50 \text{ mm}$.

Exemple de choix chez FESTO : vérin compact ADVULQ-50-40-P-A, double effet, diamètre 50 mm, course 40 mm, amortissement par bagues élastiques, piston magnétique. Ce vérin sera monté a priori sans RDU (réducteur de débit unidirectionnel).

4. DIMENSIONNEMENT EN RÉGIME DYNAMIQUE AVEC ÉNERGIE FAIBLE

● Il s'agit de toutes les configurations où les effets dynamiques sont modérés : masse faible, vitesse faible, inertie faible.

On effectue le même calcul que dans le cas du dimensionnement en régime statique en introduisant un taux de charge dans la détermination de l'effort fourni par le vérin pour tenir compte des frottements et de la contre pression d'échappement lors du mouvement.

Par ailleurs, on néglige les efforts inertiels, résistants ou moteurs, dus à l'accélération des masses et des inerties en mouvement : Il s'agit donc d'un calcul en régime permanent avec une vitesse constante pendant le déplacement : $a = 0$.

Efforts en présence :

- effort moteur dynamique fourni par le vérin suivant son axe : F_d ;
- efforts extérieurs, résistants ou moteurs, exercés sur la charge : $\sum F_{\text{ext}}$;

En l'absence d'accélération, le principe fondamental de la dynamique en projection sur l'axe de déplacement se résume à : $F_d = \sum F_{\text{ext}}$.

REMARQUE

Pour des déplacements horizontaux, cette méthode de calcul conduit au choix d'un vérin de petit diamètre. Ce phénomène est général, la qualité des guidages modernes ($\mu = 0,05$ à $0,002$), en l'absence d'autres efforts résistants, permet effectivement un entraînement de charges importantes à puissance très faible. Le cas extrême est celui d'un vérin se déplaçant à vide, la charge étant nulle.

EXEMPLE

Masse et vitesse modérées

On désire pousser horizontalement une charge de 1 kg sur une course de 100 mm. Le facteur de frottement entre la charge et le bâti est estimé à $\mu = 0,1$ (Figure FM 8.3).

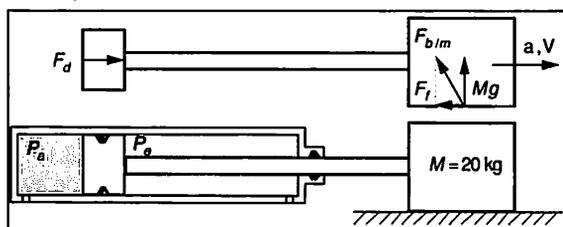


Figure FM 8.3. Vérin déplaçant une charge horizontalement.

Le seul effort extérieur à prendre en compte est celui dû aux frottements du bâti sur le mobile F_f , qui est la composante suivant l'axe de déplacement de l'action $F_{b/m}$ du bâti sur la charge mobile :

$$F_f = \mu Mg = 0,1 \times 2 \times 9,81 \approx 2 \text{ N.}$$

Le vérin doit donc fournir un effort dynamique $F_d = F_f = 2 \text{ N}$. Avec un taux de charge $t_c = 0,5$, on obtient :

- Par le calcul :

$$D = \sqrt{\frac{4F_d}{t_c P \pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 2}{0,5 \times 6 \cdot 10^5 \times \pi}}$$

$= 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 5,1 \text{ mm}$. Choix du diamètre normalisé immédiatement supérieur, soit $D = 8 \text{ mm}$.

- Par lecture directe dans l'abaque, Figure FM 8.1 : pour un effort dynamique de 2 N en sortie de tige avec un taux de charge de 0,5, le diamètre normalisé le plus petit convient, soit $D = 8 \text{ mm}$.

● **Contrôle de la vitesse du vérin**

On installe généralement des réducteurs de débit unidirectionnels (RDU) sur le vérin, qui seront réglés lors de la mise au point service de telle manière que le déplacement s'effectue dans des conditions satisfaisantes. Une vérification de la capacité d'amortissement est inutile dans cette configuration, puisqu'il suffit de réduire la vitesse de déplacement pour diminuer l'énergie cinétique acquise en fin de course et donc l'impact. Une simulation informatique montre que le vérin de l'exemple ci-dessus, sans réduction de débit, atteint une vitesse de 0,4 m/s et acquiert ainsi une énergie cinétique de 0,16 Joules. D'après le constructeur, cette énergie est un peu trop importante en regard de la capacité d'amortissement des bagues élastiques de ce vérin. Ce problème sera aisément résolu en limitant légèrement sa vitesse par vissage des RDU.

Exemple de choix chez FESTO : Vérin DSNU-8-100-P-A, diamètre 8 mm, course 100 mm, piston magnétique, amortissement par bagues élastiques, monté avec deux RDU.

5. DIMENSIONNEMENT EN RÉGIME DYNAMIQUE AVEC ÉNERGIE IMPORTANTE

Il s'agit de toutes les configurations où la charge en déplacement possède une énergie non négligeable, voire importante :

- mouvements à vitesse élevée (Machines automatiques à haute cadence, axes linéaires pneumatiques, etc.);
- masses importantes en déplacement ou descente en charge (gros vérins, élévateurs, etc.);
- inerties importantes dues à l'éloignement de masses en rotation (retourneurs, manipulateurs rotatifs, etc.).

● **Dimensionnement par rapport à l'amortissement**

Une masse M en mouvement à une vitesse V possède une énergie cinétique $E_c = 1/2 M \cdot V^2$, qu'il faut dissiper lors de l'arrêt. Dans le cas où le vérin travaille sur la totalité de sa course, cette dissipation doit être effectuée par le dispositif interne d'amortissement, lequel possède des capacités d'amortissement limitées. Il convient de vérifier que le vérin choisi peut absorber l'énergie cinétique des masses en mouvement en fin de course. Si la réponse est négative, il faut soit choisir un vérin de diamètre supérieur dont les capacités d'amortissement sont plus grandes, soit disposer d'amortisseurs hydrauliques extérieurs. Cette dernière solution, onéreuse et délicate à mettre en œuvre (montage des amortisseurs dans l'axe) ne doit être envisagée qu'en dernier recours. Un vérin de petit diamètre accompagné d'amortisseurs hydrauliques coûte environ deux fois plus cher qu'un vérin de gros diamètre seul.

● **Méthode de détermination**

- Dans le cas où l'accélération n'est pas connue, se donner en première approche une valeur $a = 5 \text{ m/s}^2$. Cette

- valeur constitue un maximum dans les applications usuelles de manipulation ou de transfert;
- Calculer la valeur des efforts dynamiques, en projection sur l'axe de déplacement : $F_d = m \cdot a + \sum F_{ext}$;
 - Déterminer le diamètre de vérin minimal en prenant un taux de charge $t_c = 0,5$;
 - Choisir le vérin de diamètre normalisé immédiatement supérieur;
 - Si le vérin travaille sur toute sa course, il faut vérifier sa capacité d'amortissement.

Pour ce faire, on calcule la vitesse moyenne de déplacement $V_{moy} = \text{course}/\text{temps}$ et on estime la vitesse en fin de course :

- $V = 2 V_{moy}$ si la course est inférieure à 50 mm;
- $V = 1,5 V_{moy}$ si la course est comprise entre 50 et 100 mm;
- et $V = 1,25 V_{moy}$ si la course est supérieure à 100 mm.

Deux possibilités se présentent :

- si le constructeur fournit les valeurs maximales de l'énergie absorbable par le système d'amortissement, il faut calculer l'énergie cinétique $W = \frac{1}{2} MV^2$ et vérifier qu'elle est inférieure;
- si le constructeur fournit un abaque vitesse/masse entraînée, il suffit de reporter les valeurs et de lire le diamètre de vérin compatible.

Lorsque l'amortissement intégré est insuffisant, on passe au diamètre supérieur jusqu'à ce que l'amortissement soit satisfaisant. Lorsque l'énergie à dissiper atteint des valeurs élevées, il faut envisager l'utilisation d'un amortisseur hydraulique externe dont la détermination sort du cadre de cet ouvrage.

EXEMPLE

Vitesse élevée

On désire déplacer horizontalement une masse de 10 kg sur une course de 500 mm en 0,6 seconde. Le facteur de frottement du guidage extérieur est estimé à $\mu = 0,1$. Pour des raisons d'encombrement, on a choisi un vérin sans tige de modèle DGP chez le constructeur FESTO, tous les diamètres étant compatibles avec la course.

Calcul des efforts dynamiques ($a = 5 \text{ m/s}^2$) :

$$F_d = Ma + \mu Mg = (10 \times 5) + (0,1 \times 10 \times 9,81) \approx 60 \text{ N.}$$

- Diamètre minimal compatible ($t_c = 0,5$) :

$$D = \sqrt{\frac{4F_d}{t_c P \pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 60}{0,5 \times 6 \times \pi}} = 1,59 \text{ cm} \approx 16 \text{ mm.}$$

- Diamètre immédiatement supérieur en modèle DGP (non standard) : 18 mm.

Vérification à l'amortissement :

- Vitesse moyenne = $0,5 / 0,6 = 0,83 \text{ m/s}$ et vitesse en fin de course estimée à $0,83 \times 1,25 \approx 1 \text{ m/s}$.

La figure FM 8.4 indique que les vérins de diamètre 18, 20, 25 et 32 mm sont insuffisants, il faut passer à 40 mm.

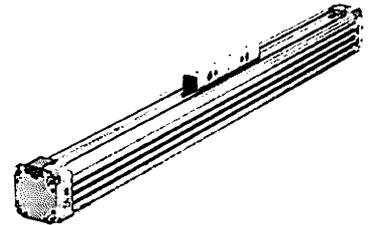
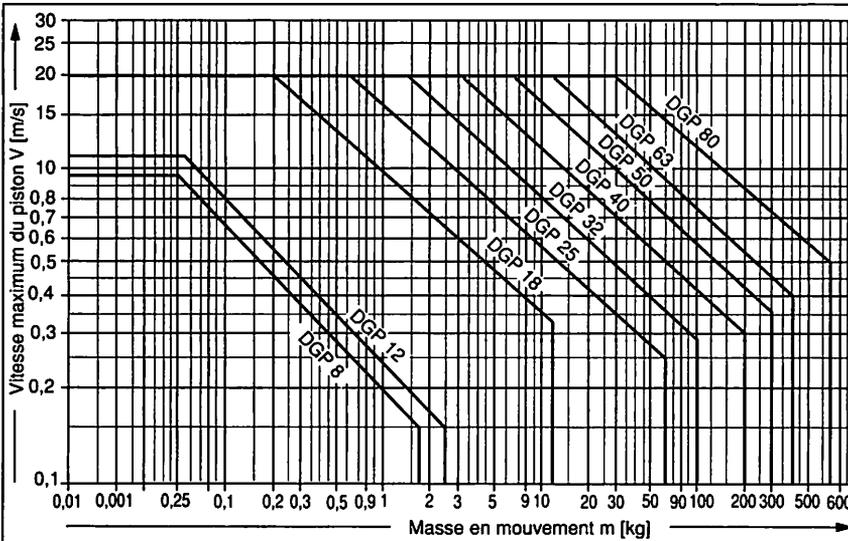


Figure FM 8.4. Capacité d'amortissement pneumatique des vérins sans tige DGP (document FESTO).

● Commentaires

Le surdimensionnement de ce vérin, qui peut paraître exagéré (passage de 16 mm à 40 mm), est pleinement justifié. La simulation informatique montre que la courbe de vitesse obtenue est régulière, proche d'un profil en trapèze généralement recherché. L'énergie résiduelle après amortissement est de 0,11 Joules, acceptable en regard de la limite de 1 Joule préconisée par le constructeur.

À l'inverse, un vérin de diamètre inférieur se déplacerait de manière plus brusque, avec deux conséquences dommageables, à savoir la diminution de la durée de vie du vérin et l'augmentation des chocs subis par la structure supportant le vérin et par les éléments déplacés. Ces conséquences sont amplifiées par le fait que son système d'amortissement pneumatique, qui possède une course plus faible, est moins efficace.

REMARQUE

D'une manière générale, plus le diamètre d'un vérin est gros, plus la régulation de sa vitesse au moyen de RDU est efficace, les déplacements étant alors réguliers et sans à-coups.

6. ALGORIGRAMME DE DÉTERMINATION DU DIAMÈTRE D'UN VÉRIN

La figure FM 8.5 présente un algorithme permettant la détermination du diamètre d'un vérin.

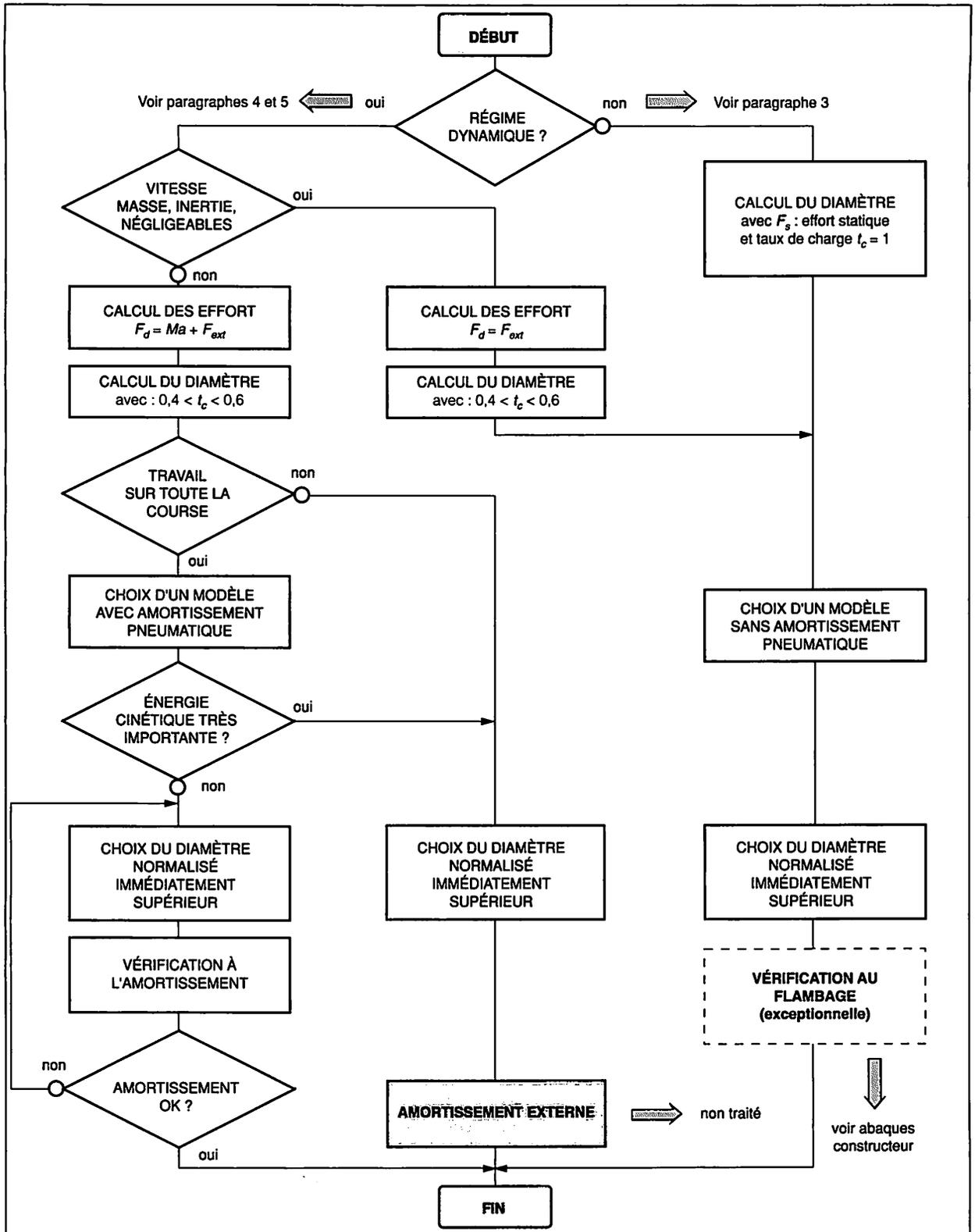


Figure FM 8.5. Algorithme de détermination du diamètre d'un vérin pneumatique.

II. Choix d'un distributeur pneumatique

Le choix d'un distributeur pneumatique s'effectue de la manière suivante :

1. choix du type de distributeur : 2/2, 3/2, 4/2, 5/2 ou 5/3;
2. choix du comportement pour les 3/2, 4/2 et 5/2 : monostable ou bistable;
3. choix du type de pilotage : électrique, pneumatique, ou électropneumatique;
4. choix de l'implantation : distributeur isolé, montage sur embase associable, montage sur interface « bus de terrain »;
5. choix du calibre, correspondant au débit normalisé de l'appareil (Kv, Cv, Qn, etc.).

1. CHOIX DU TYPE DE DISTRIBUTEUR

Ce choix dépend directement de l'actionneur relié au distributeur :

- vérin simple effet 3/2;
- vérin double effet ou moteur à deux sens de marche : 4/2 ou 5/2. En pratique, les distributeurs 4/2 sont assez peu utilisés;
- venturi de ventouse, 3/2 ou 2/2;
- soufflette, moteur à un sens de marche 2/2.

REMARQUE

L'utilisation des distributeurs 5/3, usuelle en hydraulique, est moins répandue en technologie pneumatique.

2. CHOIX DU COMPORTEMENT DU DISTRIBUTEUR

Ce choix est extrêmement important puisqu'il conditionne le comportement de l'actionneur en cas d'incident (ARU, disparition des signaux de commande, coupure de l'énergie de puissance). Pour chaque actionneur, il faut répondre à la question : « que doit-il se passer en cas d'incident? », en prenant en compte les aspects de sécurité des biens et des personnes, ainsi que les modalités de redémarrage. On distingue quatre cas :

a) Cas 1 – Retour de l'actionneur en position initiale : presses, poinçonneuses, éjecteurs, vannes, etc.

● **Solution 1** : un distributeur 3/2 monostable avec un vérin simple effet.

En cas de disparition des signaux de commande : retour du vérin en position rentrée dans tous les cas.

En cas de coupure d'énergie pneumatique : retour du vérin en position rentrée dans tous les cas.

● **Solution 2** : un distributeur 4/2 ou 5/2 monostable avec un vérin double effet.

En cas de disparition des signaux de commande : retour du vérin en position rentrée dans tous les cas.

En cas de coupure d'énergie pneumatique : il faut supprimer le signal de commande pour garantir le retour du vérin en position rentrée.

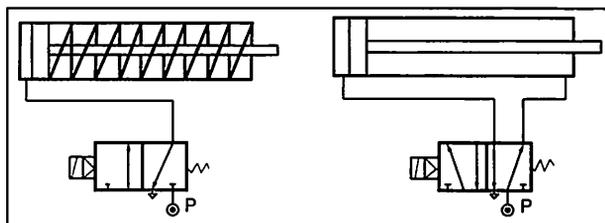


Figure FM 8.6. Retour d'un actionneur en position de référence : distributeurs monostables.

b) Cas 2 – Poursuite de l'action en cours : serrage, aspiration, arrêt, maintien, etc.

● **Solution** : un distributeur 4/2 ou 5/2 bistable avec un vérin double effet.

En cas de disparition des signaux de commande : poursuite du mouvement en cours.

En cas de coupure d'énergie pneumatique : dans tous les cas, arrêt lorsque toutes les inerties sont vaincues.

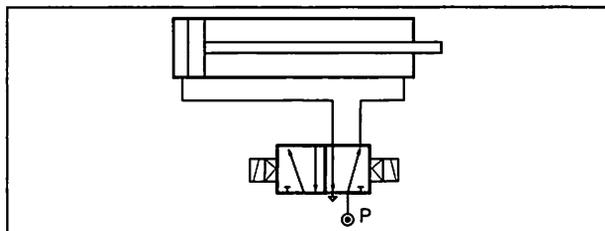


Figure FM 8.7. Poursuite du mouvement d'un vérin : distributeur 4/2 ou 5/2 bistable.

c) Cas 3 – Blocage de l'actionneur : déplacement de charges verticales, déplacements rapides, etc.

● **Solution 1** : deux bloqueurs 2/2 monostables à pilotage pneumatique sont implantés directement sur l'actionneur. Le type du distributeur (4/2, 5/2, monostable ou bistable) est indifférent : dès que le signal d'autorisation disparaît, les deux chambres du vérin sont fermées et le mouvement stoppé.

En cas de disparition des signaux de commande : il faut supprimer le signal d'autorisation afin d'obtenir un blocage.

En cas de coupure d'énergie pneumatique : blocage du vérin dans tous les cas.

● **Solution 2** : un distributeur 5/3 à centre fermé.

En cas de disparition des signaux de commande : blocage du vérin dans tous les cas.

En cas de coupure d'énergie pneumatique : il faut supprimer les signaux de commande pour obtenir le blocage.

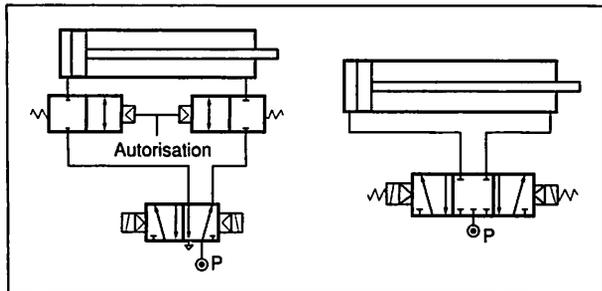


Figure FM 8.8. Blocage d'un vérin par bloqueur 2/2 ou par distributeur 5/3 à centre fermé.

REMARQUE

Les solutions de blocage pneumatique ne garantissent pas une sécurité optimale. On utilise généralement un système de blocage mécanique intégré au vérin ou extérieur.

d) Cas 4 – Arrêt de l'actionneur sur inertie : transfert, tous actionneurs non dangereux, etc.

● **Solution 1** : un distributeur 4/2 ou 5/2 monostable ou bistable.

En cas de disparition des signaux de commande : mise à l'atmosphère des deux chambres du vérin; dans tous les cas, arrêt lorsque toutes les inerties sont vaincues.

En cas de coupure d'énergie pneumatique : dans tous les cas, arrêt lorsque toutes les inerties sont vaincues.

● **Solution 2** : un distributeur 5/3 à centre ouvert.

En cas de disparition des signaux de commande : mise à l'atmosphère des deux chambres du vérin; dans tous les cas, arrêt lorsque toutes les inerties sont vaincues.

En cas de coupure d'énergie pneumatique : dans tous les cas, arrêt lorsque toutes les inerties sont vaincues.

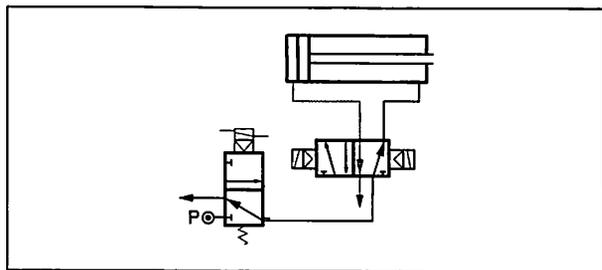


Figure FM 8.9. Arrêt d'un actionneur sur inertie : sectionneur 3/2 monostable ou distributeur 5/3 à centre ouvert.

e) Influence du comportement du distributeur sur le câblage et sur la programmation de la partie commande.

Comportement monostable :

- une seule sortie automate par actionneur;
- mise en référence de l'actionneur dès la mise en énergie;
- nécessité de maintenir la commande pendant tout le mouvement.

Comportement bistable :

- deux sorties automate par actionneur;
- nécessité d'une procédure de mise en référence de l'actionneur lors de la mise en énergie;
- la commande n'a pas besoin d'être maintenue pendant tout le mouvement (mémoire).

3. CHOIX DU TYPE DE PILOTAGE

● Pilote électropneumatique

Le déplacement du tiroir du distributeur est assuré par l'air comprimé, mais celui-ci est admis par l'intermédiaire d'une mini-électrovanne à clapet. Ce type de pilotage est le plus répandu car il est adapté aux parties commandes électriques tout en assurant une consommation électrique minimale.

● Pilote électrique

Le déplacement du clapet du distributeur est assuré directement par un électro-aimant. Ces pilotes sont généralement réservés aux mini-vérins, ventouses et interfaces électropneumatiques.

● Pilote pneumatique

En voie de disparition, excepté pour les bloqueurs 2/2 généralement à commande pneumatique.

4. CHOIX DE L'IMPLANTATION

Les possibilités d'implantation des distributeurs ont considérablement évolué ces dernières années. Les principales sont :

- distributeur intégré à l'actionneur et relié fil à fil ou par bus de terrain ASI;
- distributeur seul, séparé de l'actionneur (solution traditionnelle);
- distributeur associé à d'autres sur embases associables. Câblage fil à fil (solution traditionnelle);
- distributeur implanté sur terminal avec connexion série à l'automate;
- distributeur implanté sur terminal avec entrées sorties et liaison bus de terrain à l'automate;
- distributeur implanté sur terminal avec automate programmable intégré et liaison réseau.

Le regroupement des distributeurs en terminaux autonomes ou intégrés dans un réseau permet des économies de câblage considérables. Par ailleurs la maintenance et la surveillance des processus sont nettement simplifiées. Cette tendance est favorisée par le développement des réseaux de terrain (Bus ASI), des pilotages par liaison série, et des commandes locales.

La figure FM 8.10 représente un terminal de distributeurs possédant 4 à 16 emplacements pour des distributeurs de calibre G1/8 ou G1/4 (voir paragraphe suivant). Deux connexions par emplacement de distributeur permettent de relier des détecteurs. La liaison avec l'automate programmable s'effectue via un connecteur débrochable. Le même terminal existe avec liaison par bus de terrain ASI.

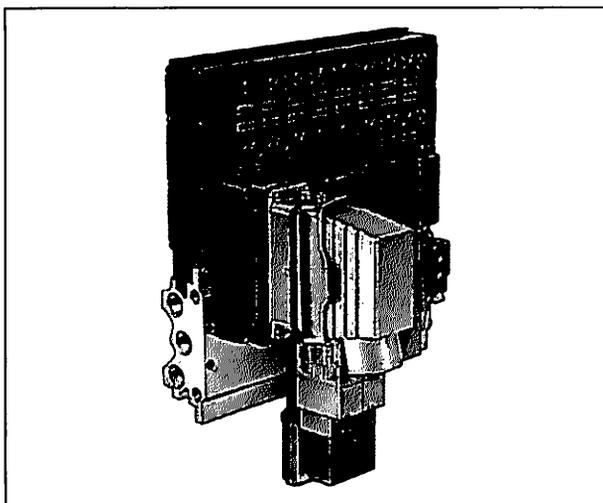


Figure FM 8.10. Terminal de distributeurs (Doc. FESTO).

5. CHOIX DU CALIBRE DU DISTRIBUTEUR

De ce choix dépend la régularité de déplacement, la vitesse maximale et le remplissage du vérin. Encore une fois, la compressibilité de l'air rend le calcul des débits réels (qui conditionnent les vitesses de déplacements des vérins) très difficile. Les constructeurs fournissent généralement un coefficient normalisé de débit Kv qui correspond à un débit d'eau en litres par minutes pour une différence de pression (perte de charge) de 1 bar. En pratique, ce coefficient fournit une information sur le calibre du distributeur à partir de laquelle il est difficile d'extrapoler le débit réel de l'air dans une configuration donnée.

REMARQUE

Le calibre du distributeur n'a pas d'influence directe sur l'effort statique que peut fournir un vérin, qui dépend de la pression et non pas du débit d'air.

● Méthode simplifiée

Cette méthode, qui est applicable dans tous les cas d'utilisation courante, conduit généralement à un surdimensionnement du calibre du distributeur. Elle consiste à choisir un distributeur dont la taille des orifices de raccordement est égale ou immédiatement inférieure à ceux du vérin à alimenter. En effet, les diamètres des orifices des composants sont approximativement proportionnels à leur débit normalisé Kv, avec des valeurs variables suivant les constructeurs.

| Taille des orifices | Kv |
|---------------------|---------|
| M5 | 1,5 à 2 |
| G 1/8" | 4 à 8 |
| G 1/4" | 10 à 15 |
| G 3/4" | 20 à 30 |
| G 1/2" | 40 à 60 |

EXEMPLE

Pour un vérin de 40 mm de diamètre, les orifices sont prévus pour des raccords de 1/4", le distributeur adapté aura des raccords de 1/4" ou de 1/8", suivant la vitesse désirée. Dans l'exemple de détermination du paragraphe 3, un distributeur 1/8" est suffisant pour fournir le débit d'air au vérin de diamètre 40 mm, car la vitesse de déplacement n'est pas très importante ($V_{\text{moy}} = 0,5 \text{ m/s}$).

● Dimensionnement précis

Cette méthode, qui sort du cadre de cet ouvrage, s'impose dès que l'on traite un cas particulier : vérin à charge verticale importante, vérin rotatif avec couple variable, vérin en déplacement rapide ($> 1 \text{ m/s}$), très gros vérin, etc.

Dans ce cas :

- soit le constructeur fournit des abaques de détermination, avec leur méthode d'emploi ;
- soit on consulte les services techniques du constructeur ;
- soit on effectue un calcul approché à partir des débits théoriques fournis par le constructeur.

REMARQUE

Le facteur Kv n'est pas toujours employé. On rencontre également les coefficients de débit suivants : S, section équivalente au mm^2 ; Qn, débit nominal en NI/min pour une perte de charge de 1 bar; Cv, dans les pays anglosaxons en US gallons/S ou f en Imperial-Gallons pour une perte de charge de 1 PSI. Il convient dans chaque cas de se référer à la documentation du constructeur.

Lire un Gemma

I. Le GEMMA

Le GEMMA, guide d'étude des modes de marche et d'arrêt, est l'aboutissement de deux années de recherche et de réflexion collectives dans le cadre du groupe ADEPA⁽¹⁾ « Equipements de Production Automatisée » et au sein de la commission « Modes de Marche ».

Les modes de marche et d'arrêt caractérisent l'état de fonctionnement d'un système automatique isolé. Ils concernent :

- les états de production du système automatique ;
- les différentes phases d'exploitation de ce système ;
- les états et procédures de mise en sécurité sur défaut, sur défaillance ou sur consigne de sécurité.

Le GEMMA répond aux besoins suivants :

● Besoin d'un outil de spécification des modes de marche

Tout au long du cycle de vie d'un système automatique, une coopération entre tous les intervenants (des concepteurs aux exploitants) est nécessaire. Pour pouvoir spécifier, concevoir, réaliser, tester, exploiter, maintenir ce système, des personnes ayant des cultures et compétences différentes doivent communiquer et se comprendre. Les outils graphiques ayant prouvé leur efficacité (Grafcet, logigramme, etc.), une forme graphique a été retenue pour spécifier les modes de marches dans le GEMMA.

● Besoin d'un vocabulaire commun

Il est indispensable de définir un *vocabulaire précis* en le rattachant à des critères fondamentaux (génériques), indépendant du type de production, du type d'équipement et de la technologie utilisée.

● Besoin d'une démarche progressive de spécification

Le spécificateur a besoin d'une *approche guidée et systématique*, (par exemple : recenser l'ensemble des modes de marche et d'arrêt utilisables et analyser les passages possibles et les conditions de passage d'un mode à un autre) pour envisager tous les cas possibles et leurs conséquences.

L'outil graphique GEMMA permet également la prise en compte des normes françaises et européennes (voir encadré) qui réglementent et qui définissent les modes de marche et d'arrêt relatifs à la sécurité des machines.

Quelques normes européennes concernant les modes de marche

EN 292 « Sécurité des machines » – 1991 ; mise à jour prévue en 2004.

EN 418 « Équipement d'arrêt d'urgence » – 1992.

EN 60 204-1 « Équipement électrique des machines » – 1997.

EN 1037 « Consignation. Prévention de la mise en marche intempestive » – 1995.

EN 954-1 « Parties de système de commande relatifs à la sécurité » – 1996 ; mise à jour prévue en 2004.

Le GEMMA se présente sous forme d'une grille support, structurée en différentes zones (Figure FM 9.1). Cet outil permettant la spécification des modes de marche et d'arrêt des systèmes automatiques et qui intègre de nombreux points de vue, est destiné notamment à aider le concepteur à décrire le comportement de la commande. Les exploitants du système automatique utilisent des manuels d'exploitation et de maintenance élaborés à partir des contraintes exprimées dans le cahier des charges après avoir conçu la commande et choisi les interfaces homme/machine.

(1) ADEPA : 17, rue Périer, 92120 Montrouge

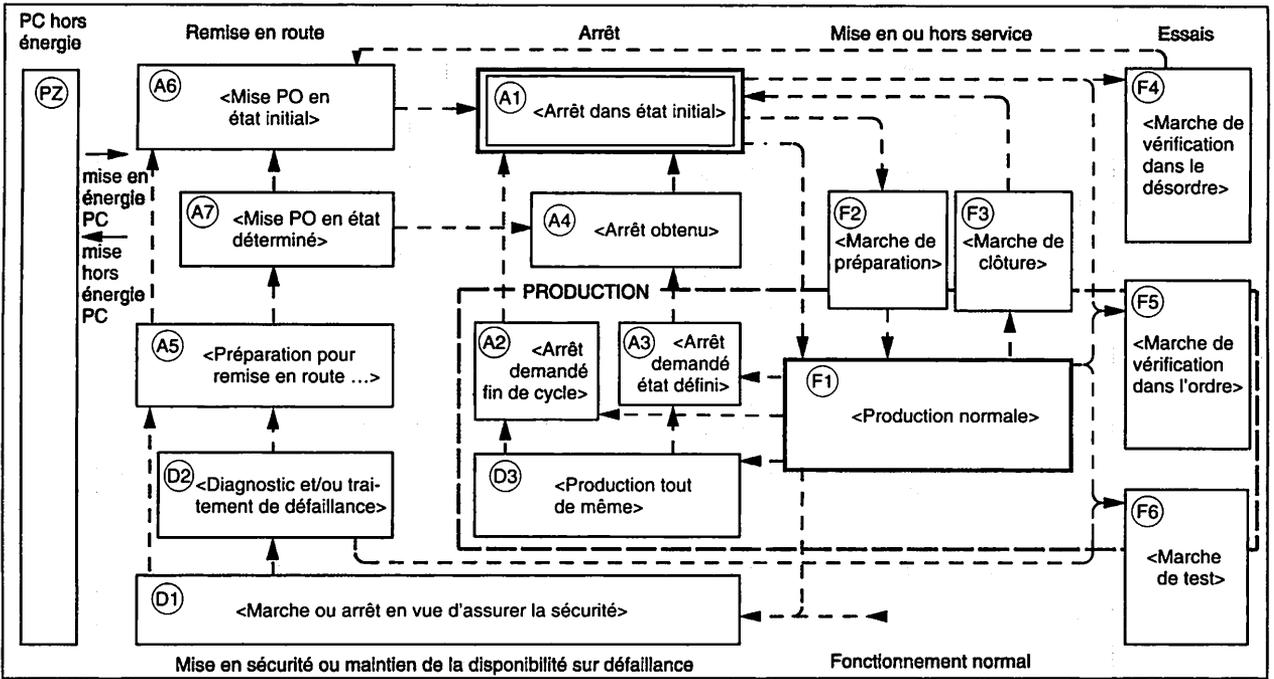


Figure FM 9.1. Grille GEMMA de l'ADEPA.

II. La structure de la grille GEMMA

1. LA COMMANDE EST CONSIDÉRÉE EN ÉNERGIE ET HORS ÉNERGIE

Les modes de marche et d'arrêt du système automatique sont exprimés en considérant la partie commande en énergie. Lorsqu'elle est en ordre de marche (pas de défaillance, ni d'arrêt de fonctionnement total ou partiel de la commande), le système peut apporter la valeur ajoutée attendue.

Par ailleurs, lorsque la commande est mise hors énergie, il faut préciser comment la partie opérative doit réagir. De même, lorsque la commande est mise en énergie, il faut préciser comment réagit le système et quelle procédure devra être suivie pour pouvoir produire avec le système.

Le guide graphique GEMMA est ainsi constitué de deux zones (Figure FM 9.2).

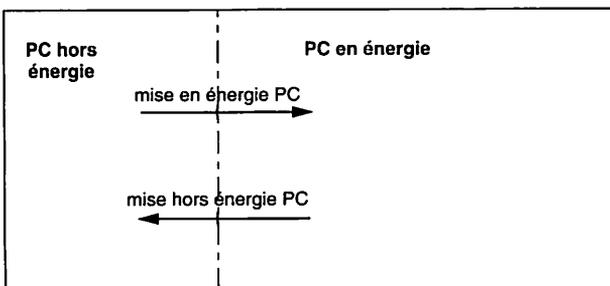


Figure FM 9.2. Les deux zones principales du GEMMA.

2. L'APPORT DE VALEUR AJOUTÉE

Un système automatique est conçu fondamentalement pour apporter une valeur ajoutée à un flux de matière ou d'énergie.

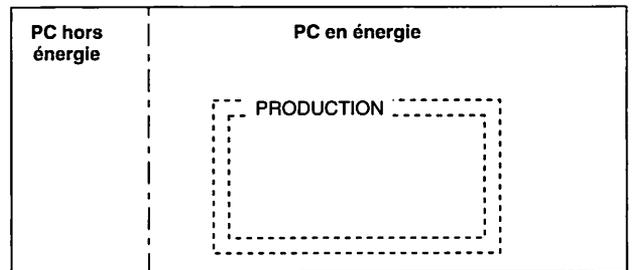


Figure FM 9.3. La zone « EN PRODUCTION ».

Aussi un critère « production » a été retenu. Un système automatique est dit « EN PRODUCTION » si la valeur ajoutée pour laquelle il a été conçu est obtenue, il sera « HORS PRODUCTION » dans le cas contraire.

3. LES TROIS GRANDES FAMILLES DE MODES DE MARCHÉ ET D'ARRÊT

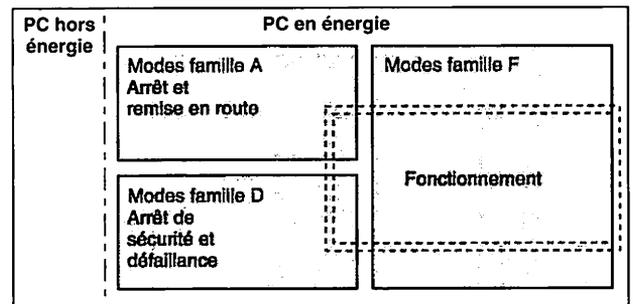


Figure FM 9.4. Les trois familles de modes de marche.

a) Famille F

Tous les modes indispensables (techniquement ou fonctionnellement) à l'obtention de la valeur ajoutée sont regroupés dans cette famille.

Le système ne produit pas forcément dans tous les modes de cette famille : préparation de la production, test, réglage (par exemple, préchauffage de l'outillage pour le moulage en coquille, réglages et contrôle périodiques dans le cadre d'opérations d'usinage, etc.).

b) Famille A

Il est nécessaire de pouvoir arrêter de temps à autre le système automatique, soit pour des raisons extérieures au système, soit parce que la journée est terminée ou encore par manque d'approvisionnement.

On classera dans cette famille tous les modes conduisant à (ou traduisant) un état d'arrêt du système pour des raisons extérieures.

On notera qu'il est possible de produire en étant dans une procédure d'arrêt (arrêt demandé en fin d'opération, etc.).

c) Famille D

Un système automatique ne fonctionnant jamais sans incident pendant son exploitation, il est indispensable de prévoir les défaillances.

On regroupera dans cette famille tous les modes conduisant à (ou traduisant) un état d'arrêt du système pour des raisons intérieures à celui-ci (défaillances de la PO).

4. LE RECTANGLE-ÉTAT

Chaque rectangle représente un état de fonctionnement, c'est-à-dire un mode de marche ou d'arrêt, *unique* du système automatique.

Chaque mode est caractérisé par :

- une *désignation générale* dans un langage fonctionnel (exemple : <Production normale>);
- une *désignation spécifique à l'application*, donnée par l'utilisateur (exemple : Production automatique);
- un *identificateur* (exemple F1) rappelant la famille à laquelle il appartient.

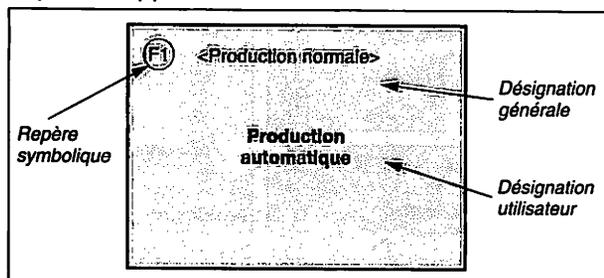


Figure FM 9.5. Caractérisation d'un rectangle-état.

III. Utilisation pratique du GEMMA

La lecture d'un GEMMA s'organise, selon un principe de recherche de boucles fonctionnelles. Il s'agit notamment, suite à un événement de changement de mode, de suivre l'enchaînement des modes permettant de retrouver un état de référence ou le mode de production F1.

EXEMPLE

Figure FM 9.6, de la boucle « arrêt d'urgence » extraite du GEMMA du palettiseur.

C'est ainsi un outil d'aide :

- à la conduite et à la maintenance lors de la première mise en service du système automatique;
- à l'élaboration des manuels de conduite et de maintenance utilisés en phase d'exploitation du système;
- à la conception des commandes, mais cela déborde du cadre de cet ouvrage.

L'approche couramment utilisée consiste à :

- partir du mode <Pz> (PC hors énergie) et identifier le(s) chemin(s) (liaison directe ou suite de modes) conduisant à la production normale (F1);
- partant du mode <Production normale>, identifier les boucles permettant le retour en production après : arrêt de sécurité, arrêt fin de journée, après passage en mode manuel, etc.

Dans les deux cas il faut :

- identifier les conditions de passage entre modes obtenues par des informations sur le système et le produit, ou par des conditions relatives à une intervention extérieure (d'un opérateur, d'un dépanneur, etc.);
- analyser la description générale associée à chaque mode décrivant le comportement du produit, des exploitants, de la partie opérative et de la commande.

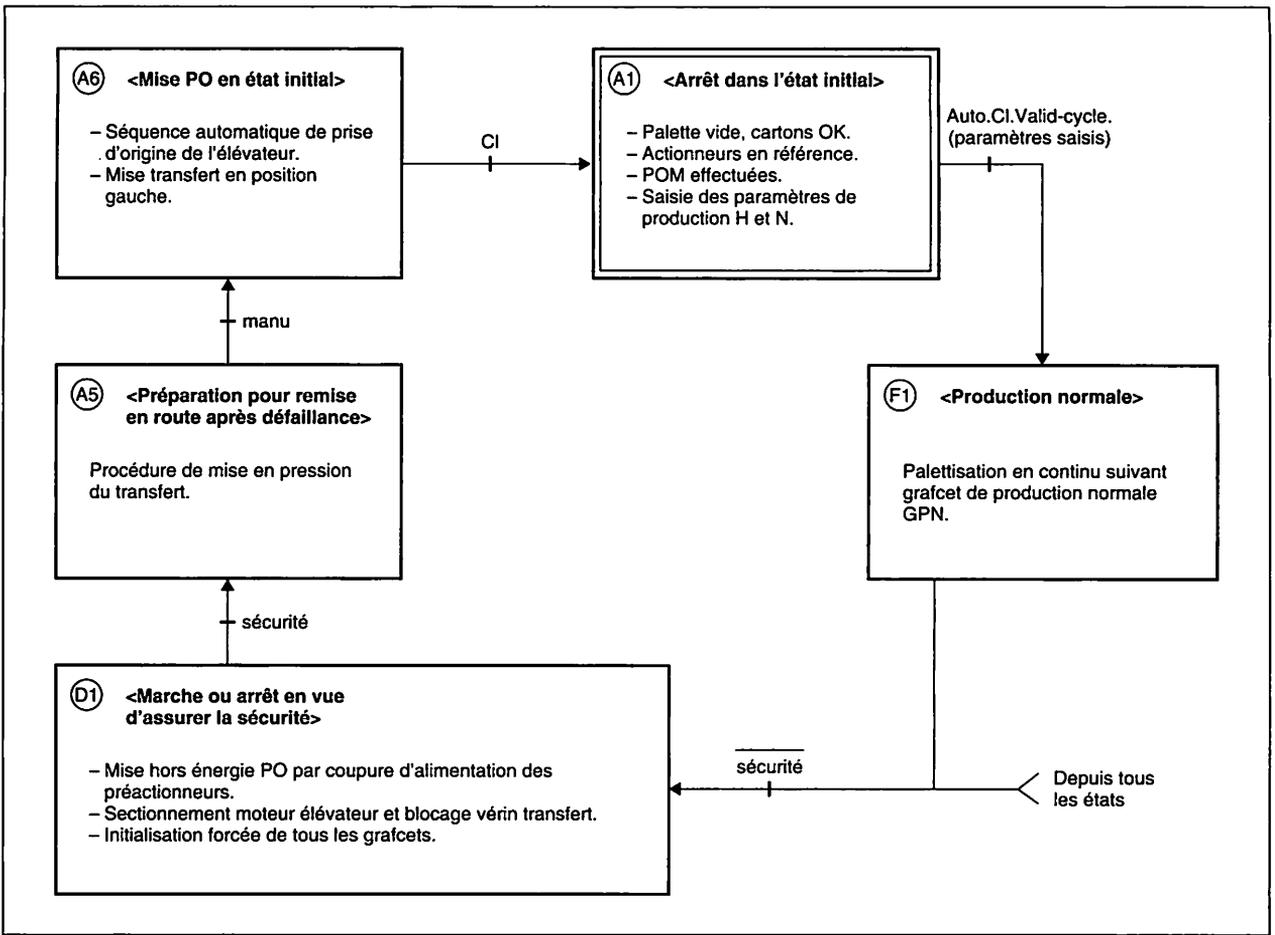


Figure FM 9.6. Boucle d'arrêt d'urgence du palettiseur.

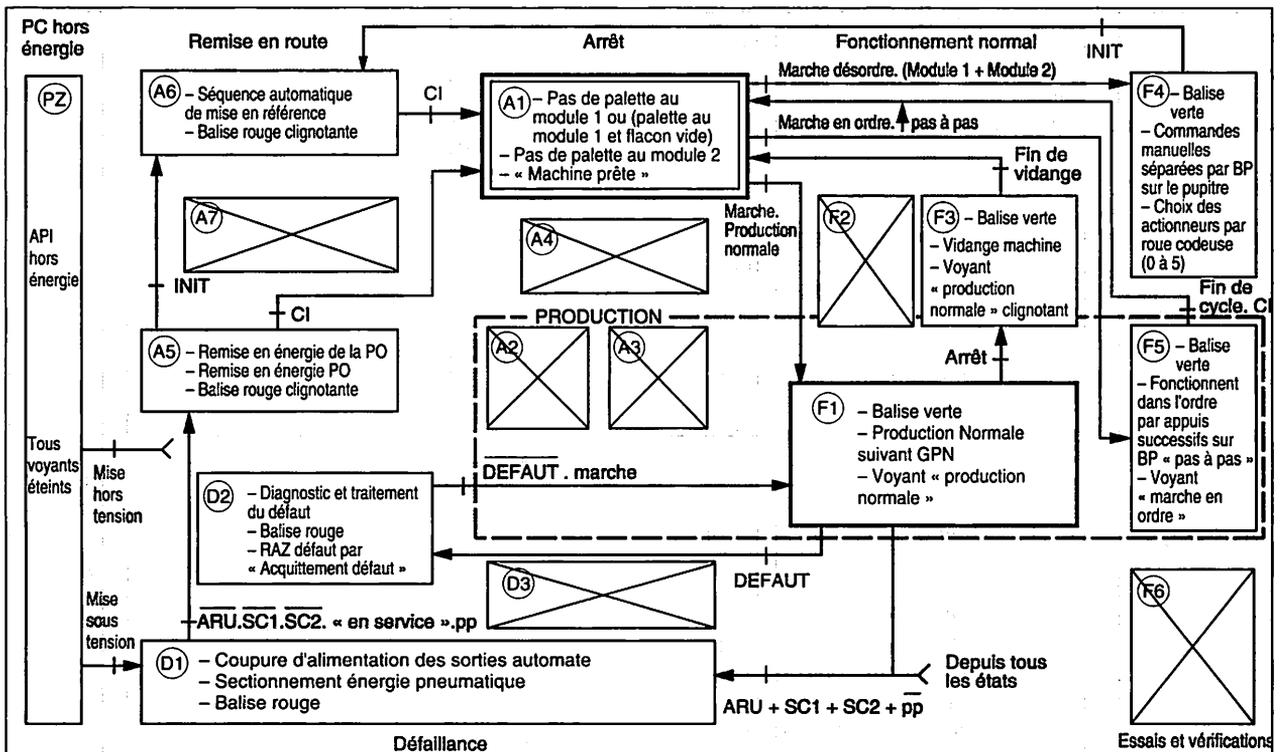


Figure FM 9.7. GEMMA de la machine de conditionnement (voir FICHE SYSTÈME 2).

Solutions

CHAPITRE 1

EXERCICE 1. 1. couteau électrique : système mécanisé. Le mouvement alterné des lames se déclenche dès que l'utilisateur appuie sur la commande située sur le manche et s'arrête dès que l'appui cesse.

Produit entrant : aliment non coupé.

Produit sortant : aliment coupé.

Valeur ajoutée : coupe des aliments sans effort.

2. Portail automatique : système automatisé simple, s'ouvrant ou se fermant sur commande à distance.

Pas de flux de produit

Valeur ajoutée : ouverture et fermeture du portail sans quitter son véhicule.

3. Grille-pain : système automatisé simple : les résistances chauffantes sont alimentées dès que l'utilisateur appuie sur le levier provoquant la descente de la tranche de pain. La durée de chauffe (temporisation) est réglable.

Produit entrant : tranche de pain.

Produit sortant : tranche de pain grillée.

Valeur ajoutée : grillage automatique et reproductible de tranches de pain.

4. Machine à laver le linge : système automatisé complexe, gérant de nombreux paramètres : température de l'eau, vitesse de rotation du tambour, remplissage et vidange du tambour, verrouillage de la porte, etc. Les machines récentes de haut de gamme possèdent des algorithmes de logique floue afin d'optimiser les paramètres de lavage en fonction du programme demandé, de la quantité de linge, etc.

Produit entrant : linge sale.

Produit sortant : linge propre (éventuellement essoré et séché).

Valeur ajoutée : lavage automatique du linge.

5. Distributeur de billets de banque : système automatisé complexe, capable de lire une carte à puce, de questionner à distance une banque, de distribuer une somme donnée en billets, etc.

Produit entrant : billets de banque en stock.

Produit sortant : billets de banque distribués au demandeur.

Valeur ajoutée : fourniture d'argent liquide rapide et à tout moment.

EXERCICE 2. 1 : Canal ou chaîne concernée ; 2 : Jour et heure de début de programme ; 3 : Jour et heure de fin de programme.

Confrontés aux difficultés qu'éprouvent certaines personnes à effectuer cette programmation, les constructeurs ont ajouté une fonction de lecture de code à barres permettant la mémorisation automatique des paramètres d'enregistrement d'un programme donné. Les codes à barres sont fournis dans les revues de programmes télévisés.

CHAPITRE 2

EXERCICE 1. L'information transmise à la partie commande est obtenue en effectuant le comptage des impulsions envoyées par le codeur incrémental. Il s'agit d'une information numérique.

EXERCICE 2. Informations d'entrée TOR sur le palettiseur :

| Information TOR | Objet produisant l'image |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Présence carton dans la pince | Détecteur mécanique Fc9 |
| Vérin pousseur rentré | Détecteur ILS D6 |
| Porte fermée | Interrupteur de sécurité Fc10 |
| Présence carton sur palette | Détecteur photoélectrique D9 |
| Présence d'air comprimé | Contact à pression D12 |

Informations d'entrée TOR sur la machine de conditionnement automatique :

| Information TOR | Objet produisant l'image |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Ordre de marche convoyeur | Bouton poussoir |
| Charge de sole | Détecteur capacitif S1 |
| Présence flacon au poste 1 | Détecteur mécanique S5 |
| Présence de comprimés dans la rampe | Détecteur photoélectrique S2 |
| Présence palette au poste 1 | Détecteur inductif S4 |

EXERCICE 3.

$$(101101)_2 = 1 \times (2)^5 + 0 \times (2)^4 + 1 \times (2)^3 + 1 \times (2)^2 + 0 \times (2)^1 + 1 \times (2)^0$$

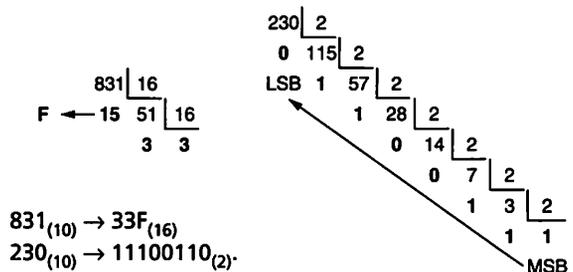
$$= 32 + 8 + 4 + 1 = (45)_{10}$$

$$(A732)_{16} = 10 \times (16)^3 + 7 \times (16)^2 + 3 \times (16)^1 + 2 \times (16)^0$$

$$= 10 \times 4096 + 7 \times 256 + 3 \times 16 + 2 \times 1$$

$$= 40960 + 1792 + 48 + 2 = (42802)_{10}$$

EXERCICE 4.



EXERCICE 5. Le code GRAY correspondant au code binaire 10101 (B4 B3 B2 B1 B0) possède également cinq bits dont les équations logiques sont (voir FICHE MÉTHODE 2) :

$$G_0 = B_0 \bar{B}_1 + \bar{B}_0 B_1 = 1$$

$$G_1 = B_1 \bar{B}_2 + \bar{B}_1 B_2 = 1$$

$$G_2 = B_2 \bar{B}_3 + \bar{B}_2 B_3 = 1$$

$$G_3 = B_3 \bar{B}_4 + \bar{B}_3 B_4 = 1$$

$$G_4 = B_4 = 1$$

Finalement, $10101_{(2)} \rightarrow 11111_{(GRAY)}$.

EXERCICE 6. Les 16 bits autorisent $2^{16} = 65536$ combinaisons. Il est donc possible de coder les nombres entiers positifs de 0 à 65535 inclus.

EXERCICE 7. Les 140 Giga octets correspondent à $140 \times 2^{30} = 140 \times 1073741824 = 150\,323\,855\,360$ octets correspondant à $1\,202\,590\,842\,880$ bits d'information, soit plus de mille milliards.

EXERCICE 8. Après passage en hexadécimal, la séquence ASCII correspond au message suivant :

```
1000011 0100111 1000011 1010011 1010100 0100000
 43      27      43      53      54      20
  C      '      E      S      T      espace
1001010 1010101 1010011 1010100 1000101
 4A      55      53      54      45
  J      U      S      T      E
```

EXERCICE 9. Les mots BADGE, BAIE et DEFI sont incompatibles avec un codage hexadécimal dont les chiffres s'arrêtent à F.

EXERCICE 10. Il faut au minimum $60 \times 360 = 21\,600$ combinaisons pour coder une minute d'arc. 14 bits sont insuffisants, car ils ne permettent de coder que $2^{14} = 16\,384$ positions. Il faudra donc 15 bits permettant de coder $2^{15} = 32\,768$ positions. On obtiendra finalement une résolution de $360/32768 = 0,011^\circ$, meilleure que la minute d'arc.(0,0166).

CHAPITRE 3

EXERCICE 1. Deux roues sont nécessaires pour fournir les codes BCD 0000 0001 (1) à 0001 0000 (10). Les valeurs comprises entre 11 et 99 sont inutilisées.

EXERCICE 2. Détecteur inductif.

EXERCICE 3. Détecteur capacitif.

EXERCICE 4. Détecteur photoélectrique, système reflex polarisé.

EXERCICE 5. Détecteur ultrasonique.

EXERCICE 6. Détecteur photoélectrique à fibre optique, système proximité.

EXERCICE 7. Détecteur photoélectrique à calibrage, système proximité.

EXERCICE 8. Chaque tour du codeur correspondant à un déplacement du chariot de 10 mm, il faut au minimum 1000 points par tour pour atteindre une résolution de 0,01 mm.

EXERCICE 9. La vis tourne à $1000/60 = 16.66$ tours par seconde. Le codeur possédant 1000 points par tour, la fréquence des signaux est de 16.6 kHz. Commentaire : Cette fréquence élevée impose l'emploi d'une carte de comptage rapide ou d'entrées spécifiques sur un automate programmable.

EXERCICE 10. Le codeur incrémental fournit un top tous les 0,01 mm. Le nombre total d'impulsions sur la course de 600 mm est de 60 000. Pour coder des valeurs comprises entre 0 et 60 000, il faut un mot de code binaire de 16 bits (de 0 à $2^{16} - 1 = 65535$).

CHAPITRE 4

EXERCICE 1.

| Phase du cycle de vie | Paragraphes concernés dans la fiche système 2 |
|----------------------------------|---|
| Analyse du besoin | Paragraphe I.1 |
| Spécification du système | Paragraphe I.2 |
| Conception générale et détaillée | Paragraphe II et paragraphes III jusqu'à la figure FS 2.25 |
| Réalisation | Paragraphe III à partir du paragraphe « Programmes automate du poste de remplissage » après la figure FS 2.25 |

EXERCICE 2.

| Comportements | Structures | Données |
|---|---|----------------------------|
| Figures FS 2.8 à FS 2.10 Figure FS 2.11 | Figures FS2.1 à FS 2.7 Figure FS 2.11 Figure FS 2.17 | Tableau paragraphe III.4.b |
| Figures FS2.18 et FS2.19 Figure FS2.21 Figures FS2.22 à FS2.24 Figures FS2.25 à FS2.30 | Figures FS 2.18 et FS 2.19 Figure FS 2.21 Figures FS 2.22 à FS 2.24 | |

EXERCICE 3.

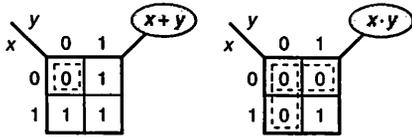
| Niveaux de décision | Figures |
|-----------------------------------|--|
| Conduite | Figure FS 2.10 grafcet de conduite |
| Commande des actions élémentaires | Figures FS 2.8 et FS 2.9, FS 2.25, FS 2.26 et FS 2.28 grafcet de remplissage et grafcet de bouchage Figures FS 2.1, FS 2.21 et FS 2.24 schémas électriques de commande Figures FS 2.27, FS 2.29 et FS 2.30 équations de sortie codées |

EXERCICE 4.

| Phases de la démarche de conception de la commande | Figures |
|--|---|
| Étape du cycle de vie : conception générale. Point de vue : du concepteur de la commande. Objectif : décrire le comportement de la commande du procédé. | FS 2.9, FS 2.10 |
| Étapes du cycle de vie : conception générale et détaillée Point de vue : du concepteur de la commande. Objectif : décrire le comportement de la commande des organes de la partie opérative permettant d'agir sur le produit ou d'informer l'opérateur Niveau de finesse : commande des pré-actionneurs | FS 2.11, FS 2.21, FS 2.24, FS 2.25 |
| Étape du cycle de vie : réalisation. Point de vue : du programmeur. Objectif : décrire les ordres codés, élaborés par la commande programmée. | FS 2.30 |

CHAPITRE 5

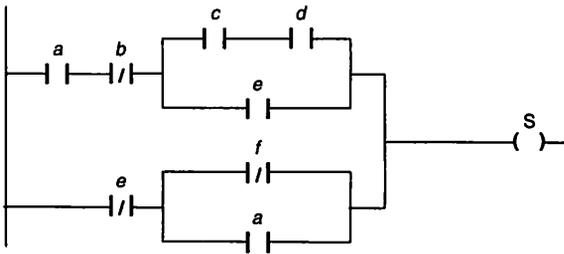
EXERCICE 1. Dans un tableau de Karnaugh, le complément de la fonction de sortie s'obtient en regroupant les zéros. On vérifie qu'en regroupant les zéros de la fonction $x + y$, on obtient la fonction complémentaire, soit et qu'en regroupant ceux de la fonction $x \cdot y$, on obtient la fonction complémentaire, soit $x + y$.



EXERCICE 2.

- Complémentation de la fonction XOR : $\overline{a \oplus b} = \overline{a\bar{b}} + \overline{a\bar{b}}$
- Théorème de De Morgan : $\overline{a\bar{b} + \bar{a}b} = \overline{a\bar{b}} \cdot \overline{\bar{a}b} = (\bar{a} + b) \cdot (a + \bar{b})$
- Distributivité et complément : $\overline{(a + b) \cdot (a + \bar{b})} = \bar{a} \cdot a + \bar{a} \cdot \bar{b} + ab + b\bar{b} = \bar{a} \cdot \bar{b} + ab$

EXERCICE 3. $S = a\bar{b} \cdot (c \cdot d + e) + (e + \bar{f}a)$
 $= a\bar{b} \cdot (c \cdot d + e) + \bar{e} \cdot (\bar{f} + a)$



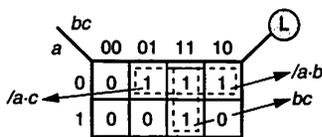
EXERCICE 4.

$$\begin{aligned} S_1 &= (a \oplus b) \oplus c = (a \oplus b) \cdot \bar{c} + \overline{(a \oplus b)} \cdot c \\ &= (a\bar{b} + \bar{a}b) \cdot \bar{c} + (a\bar{b} + \bar{a}b) \cdot c \\ &= (a\bar{b} + \bar{a}b) \cdot \bar{c} + (\bar{a} + b)(a + \bar{b}) \cdot c \\ &= (a\bar{b} + \bar{a}b) \cdot \bar{c} + (\bar{a}b + ab) \cdot c \\ &= a\bar{b}\bar{c} + \bar{a}b\bar{c} + \bar{a}bc + abc \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_2 &= a \oplus (b \oplus c) = \bar{a}(b \oplus c) + a\overline{(b \oplus c)} \\ &= \bar{a}(b\bar{c} + \bar{b}c) + a(b\bar{c} + \bar{b}c) \\ &= \bar{a}(b\bar{c} + \bar{b}c) + a(\bar{b} + c)(b + \bar{c}) \\ &= \bar{a}(b\bar{c} + \bar{b}c) + a(\bar{b}c + bc) \\ &= \bar{a}b\bar{c} + \bar{a}\bar{b}c + a\bar{b}c + abc \end{aligned}$$

Finalement $S_1 = S_2 = S$.

EXERCICE 5. $L = a\bar{b}c + \bar{a}b\bar{c} + \bar{a}bc + abc$

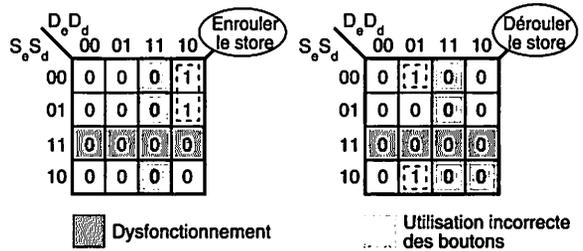


La simplification par regroupements donne : $L = \bar{a}c + \bar{a}b + bc$

EXERCICE 6.

| | |
|--|---|
| Associativité (opérateur OU) | $(a + b) + c = a + (b + c)$ |
| Associativité (opérateur ET) | $(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c)$ |
| Commutativité (opérateur OU) | $a + b = b + a$ |
| Commutativité (opérateur ET) | $a \cdot b = b \cdot a$ |
| Distributivité du ET par rapport au OU | $a(b + c) = ab + ac$ |
| Distributivité du OU par rapport au ET | $(a + b)(a + c) = a + bc$ |
| Élément neutre du OU | $a + 0 = a$ |
| Élément neutre du ET | $a \cdot 1 = a$ |
| Élément absorbant du OU | $a + 1 = 1$ |
| Élément absorbant du ET | $a \cdot 0 = 0$ |
| Identités remarquables | $a \cdot a = a; a + a = a;$ $a \cdot \bar{a} = 0; a + \bar{a} = 1$ $\bar{\bar{a}} = a; a + a\bar{b} = a + b;$ $\bar{a} + ab = \bar{a} + b$ |
| Théorème de De Morgan | $\overline{(a + b)} = \bar{a}\bar{b}$ $\overline{(a \cdot b)} = \bar{a} + \bar{b}$ |

EXERCICE 5. En utilisant la table de vérité représentée figure 5-3, on obtient les deux tableaux de Karnaugh suivants :

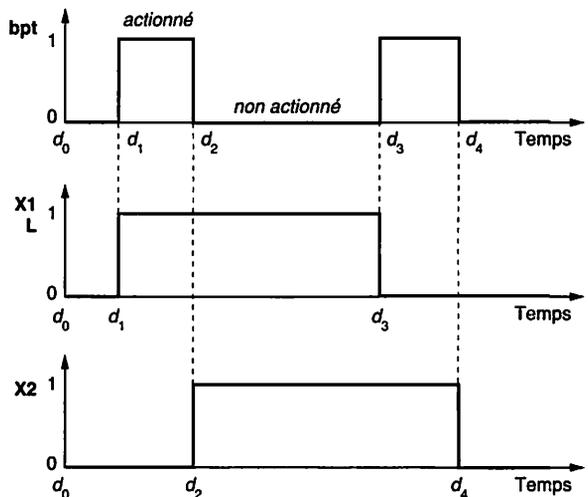


« Enrouler le store » = $D_e \cdot \bar{D}_d \cdot \bar{S}_e$

« Dérouler le store » = $D_d \cdot \bar{D}_e \cdot \bar{S}_d$

CHAPITRE 6

EXERCICE 1.



CHAPITRE 7

EXERCICE 1. Pour les grafcets GARU, GDEF, GRE uni-

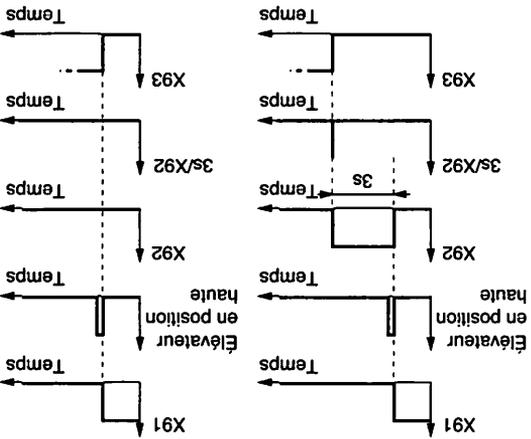
quement.
 Dans GARU les séquences sont : 300 → 301, 302
 Dans GARU les séquences sont : 200 → 201, 202
 Dans GARU les séquences sont : 150 → 151, 152, 153,
 154 → 155

EXERCICE 2. Pour les grafcets GDEF et GRE de la fiche
 système 1 uniquement.

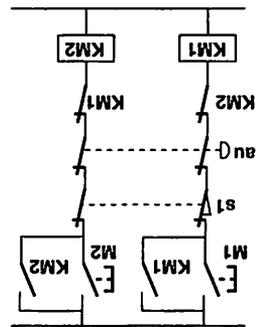
Grafcet GDEF : les réceptivités associées aux transitions
 qui suivent immédiatement l'étape 201 sont exclusives
 car le sélecteur permettant le choix des modes de marche
 ne peut pas être simultanément en mode auto ou pas à
 pas, et en mode manu.

Grafcet GDEF : les réceptivités associées aux trois tran-
 sitions qui suivent immédiatement l'étape 151 sont exclu-
 sives.

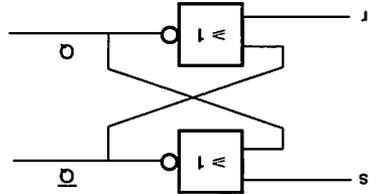
EXERCICE 3.



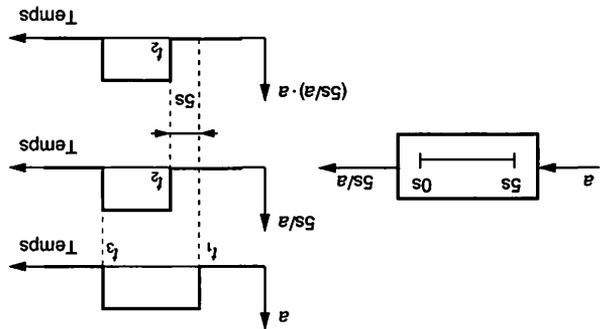
EXERCICE 2.
 $KM1 = (M1 + KM1) \cdot KM2 \cdot \text{au} \cdot s1$
 $KM2 = (M2 + KM2) \cdot KM1 \cdot \text{au} \cdot s1$



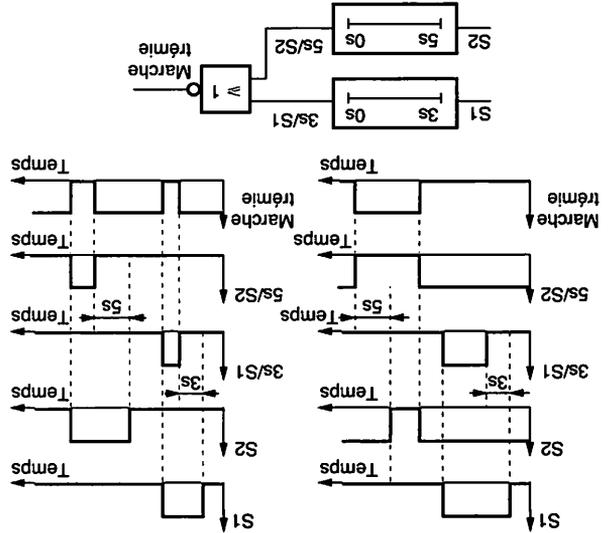
EXERCICE 3.



EXERCICE 4. Les chronogrammes des variables logiques
 $(5s/a)$ et $(5s/a) \cdot a$ sont identiques. Dans le cas où $t_3 - t_1 < 5s$
 ces deux variables logiques restent à l'état 0.



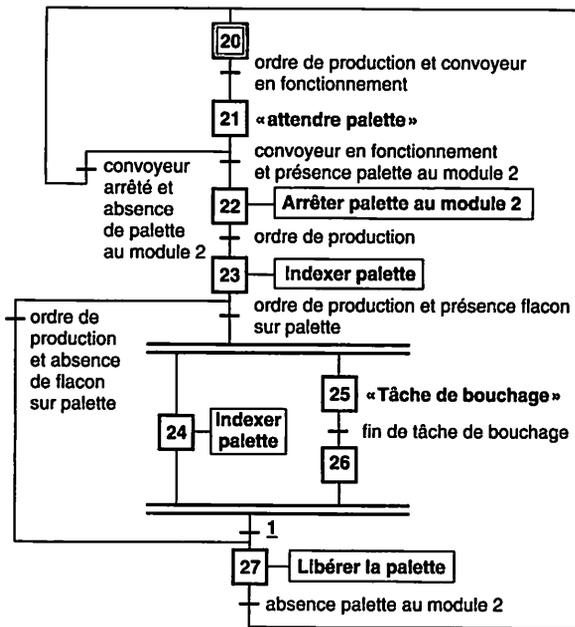
EXERCICE 5.



| | | | | | | | |
|----------------|--------------------------------------|-----------|--|----------|---|----------------------------|---|
| Types d'action | Exemples issus de la fiche système 1 | Mémorisée | Actions associées à l'étape 94 dans le grafcet de prise d'origine, Figure FS 1.9 | Continue | Actions associées aux étapes 152, 153, aux étapes 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 du grafcet GPRE, Figure FS 1.7 et d'arrêt, Figure FS 2.10 | Continue et condi- tionnée | Action « approvi- sionner plateau » conditionnée par la variable « sole pas chargée » et associée à l'étape 51 du grafcet de remplis- sage, Figure FS 2.8 |
|----------------|--------------------------------------|-----------|--|----------|---|----------------------------|---|

EXERCICE 4.

EXERCICE 5.



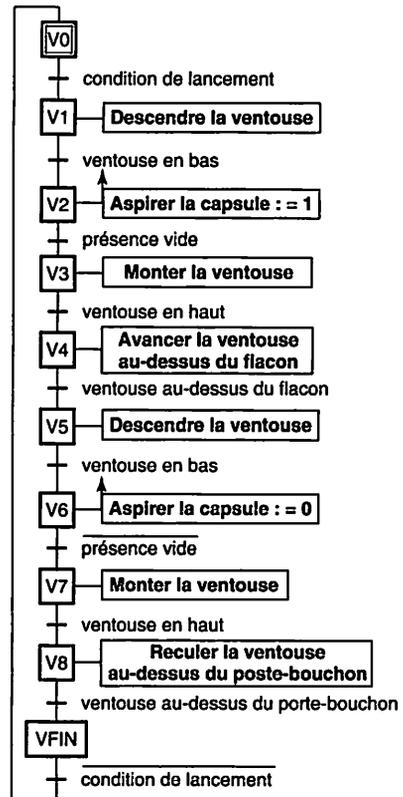
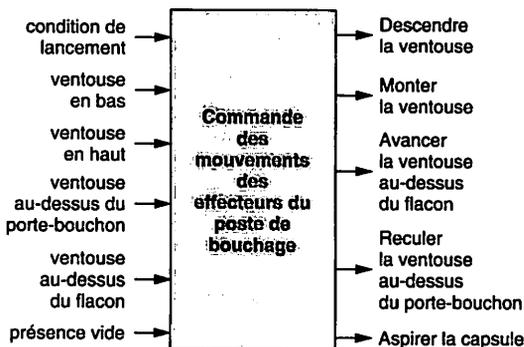
La tâche de bouchage est décrite dans la solution apportée à l'exercice 7. La condition de lancement de cette tâche sera alors X25 (variable logique caractéristique de l'activité de d'étape 25). L'information « fin de tâche de bouchage » peut être associée à la variable XVFIN caractéristique de l'activité de la dernière étape du grafcet de la tâche de bouchage.

Les étapes 22, 23, 24 et 27 sont associées directement à une action continue, la création de tâches ne se justifie pas, elle ne permettrait d'assigner qu'une seule variable de sortie.

EXERCICE 6. Il est possible de libérer la palette dès que le préhenseur à ventouse est remonté après avoir bouché le flacon. Cela permettrait de réaliser le retour du préhenseur à ventouse en position initiale en temps masqué.

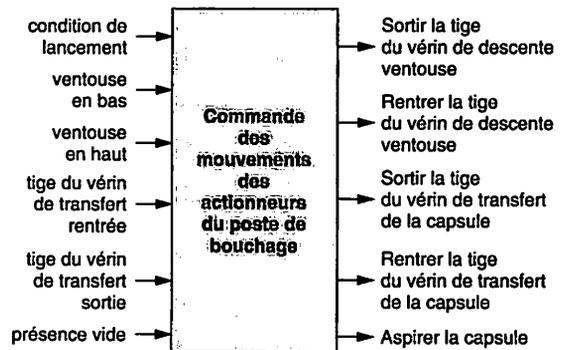
Il faudrait alors supprimer l'étape V8 et la transition qui suit immédiatement dans le grafcet de la tâche de bouchage (solution exercice 7) et associer une deuxième action continue à l'étape 27 (solution exercice 5) qui serait : « Reculer la ventouse au dessus du poste-bouchon ».

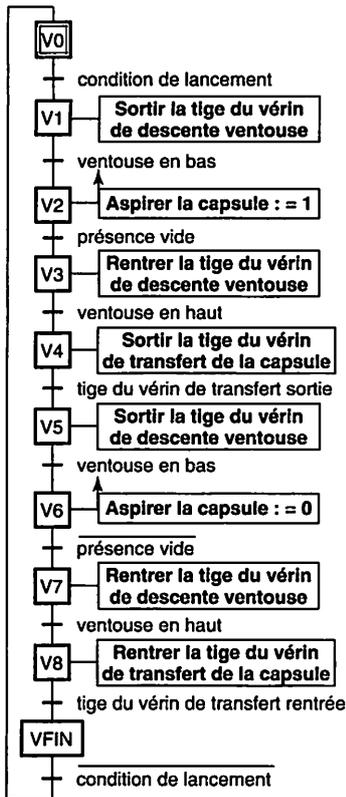
EXERCICE 7. Un dysfonctionnement éventuel de la ventouse n'a pas été pris en compte.



EXERCICE 8.

Un dysfonctionnement éventuel de la ventouse n'a pas été pris en compte.





CHAPITRE 10

EXERCICE 1. Pression absolue = pression relative + 1 (en bars). On obtient : $-0,6 + 1 = 0,4$ bars (0,04 MPa).

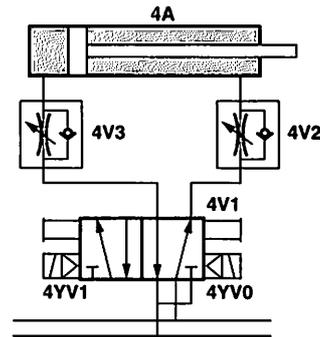
EXERCICE 2. Un RDU monté à l'échappement réalise une restriction de passage de l'air qui provoque une augmentation de la contre pression d'échappement. Cette dernière entraîne une augmentation de l'effort résistant : le vérin ralentit.

EXERCICE 3. En unités SI : $F = PS$, avec F en N, P en Pascals (N/m^2) et S en m^2 . Si P est exprimée en bars ($10^5 N/m^2$) et D en cm ($10^{-2}m$), S est exprimée en cm^2 ($10^{-4}m^2$) et $F = PS$ s'exprime en $10^5 N/m^2 \times 10^{-4} m^2 = 10 N = 1 DaN$.

EXERCICE 4. 3/2 monostable, car un vérin simple effet ne possède qu'un orifice d'alimentation.

EXERCICE 5. Non, le vérin double effet possédant deux orifices d'alimentation, le distributeur 3/2 à un orifice de sortie est inadapté. En revanche, il est possible de piloter le vérin avec deux distributeurs 3/2 montés respectivement sur chaque orifice. Cette solution est parfois adoptée par les constructeurs d'unités de translation à distributeurs intégrés.

EXERCICE 6. Les anomalies portent sur la représentation des circuits, pour les vérins 3A et 4A, à partir de la case repos (normalement à droite pour les distributeurs à deux positions), de même que la place des pilotes (pilote repos à droite). La figure ci-après montre une possibilité obtenue par effet miroir.



CHAPITRE 11

EXERCICE 1. Il s'agit d'un contact commandé par la pression, le repérage du schéma (OSP) utilise le repérage de la représentation pneumatique. Le repérage de la représentation électrique, devrait plutôt s'écrire B. (Transducteur d'une grandeur non électrique en une grandeur électrique et vice et versa).

EXERCICE 2. Les symboles Q11 à Q14 représentent des coupe-circuits à fusibles, destinés à protéger les circuits d'entrées sorties de l'automate (les calibres des fusibles sont précisés). Ils assurent également une fonction de sectionnement (ouverture visible).

CHAPITRE 12

EXERCICE 1.

- La disponibilité (prêt à l'utilisation);
- La fiabilité (continuité du service);
- La sécurité-innocuité (pas de survenue de défaillances catastrophiques);
- La sécurité-confidentialité (manipulations non autorisées d'informations);
- L'intégrité (pas d'altérations inappropriées d'informations);
- La maintenabilité (facilité d'entretenir et de réparer).

EXERCICE 2.

Chemin S1 : - Niveau de risque I

- Catégorie de commande : 1

Chemin S2,F1, P2 : - Niveau de risque III

- Catégorie de commande : 2 ou 3

Chemin S2,F2, P2 : - Niveau de risque V

- Catégorie de commande : 4

EXERCICE 3. L'action sur S2 ne sera efficace qu'à la condition que K1 et K2 soient fermés. (conditions associées au fait que les deux contacteurs ne sont pas « collés »). Si tel était le cas, K1 ou K2 serait ouvert et l'action d'enclenchement sur S2 inopérante.

EXERCICE 4. La coupure des alimentations après l'automate permet à la partie de commande de rester en activité, donc d'être en mesure de surveiller le fonctionnement et de permettre une remise en production dans les meilleures conditions.

LEXIQUE

ASCII : American Standard Code for Information Interchange. Code alphanumérique à 7 ou 8 bits destiné aux échanges informatiques.

Actionneur : constituant convertissant une énergie (une grandeur) d'entrée en une énergie (une grandeur) de sortie utilisable pour obtenir une action définie.

Acquisition : action d'acquérir, et éventuellement de conditionner et de transmettre, un mesurande, une consigne ou une information.

Adressage : méthode de localisation d'un composant, d'une information.

Algorithme : suite d'opérations élémentaires respectant un processus défini aboutissant à une solution. L'algorithme traduit un raisonnement adapté à la résolution d'un problème en fonction des moyens disponibles. Ne pas confondre avec algorithme ou ordigramme, qui sont des représentations graphiques d'un algorithme.

Analogique : qualifie une variable, une grandeur ou une information qui évolue de manière continue dans le temps (par opposition à discrètes ou digitales). Mathématiquement le domaine des données analogiques est celui des nombres réels. Par exemple la température, la pression, la vitesse sont des grandeurs qui varient de manière continue dans le temps.

ASI : acronyme de l'anglais « Actuator Sensor Interface » que l'on peut traduire par « interface actionneur capteur ». Bus de terrain spécialisé dans la transmission d'informations entre la partie commande et la partie opérative.

Asservissement : mise en relation de deux grandeurs mesurables dont l'une, dite « asservie », est astreinte à suivre l'action de réglage de l'autre. Le mot asservissement est fréquemment employé pour désigner un système asservi (voir système asservi).

Automate Programmable Industriel, (abréviation API) : constituant électronique programmable, réalisé en série, et dédié à la commande de processus industriels.

Base (de numération) : nombre de symboles dont on dispose pour représenter tous les nombres entiers.

Bloc fonctionnel (langage de programmation des API) : module logiciel ayant plusieurs variables de sortie possibles et une mémoire interne (mémoire, compteur, temporisation, ...).

Bus : dispositif non bouclé destiné à assurer simultanément et dans un temps maximum donné, les transferts d'information entre des sous-ensembles d'un système informatique selon des spécifications logiques et physiques communes.

Canonique : en algèbre, forme particulière d'une expression ou d'une équation permettant de mettre en évidence certains coefficients et de faciliter la résolution.

Capteur : objet technique de prélèvement d'information sur un processus, réalisant la conversion d'une grandeur physique mesurée (grandeur d'entrée) en une autre grandeur physique accessible aux sens ou exploitable par un constituant de traitement (grandeur de sortie). Un capteur délivre un signal proportionnel à la grandeur qu'il mesure, une image informationnelle analogique ou numérique.

Chaîne d'acquisition : ensemble des constituants qui permettent d'obtenir une image informationnelle directement exploitable par un système de traitement de l'information (processeur de partie commande).

Chaîne d'action : ensemble des constituants qui permettent d'obtenir un effet donné de la partie opérative d'un système automatique sur la matière d'œuvre qu'il traite, à partir d'un ordre de la partie commande. La chaîne d'action typique est constituée des composants d'interface du processeur, d'un préactionneur, d'un actionneur et d'un effecteur.

Chaîne fonctionnelle : ensemble de constituants organisés en vue de l'obtention d'une fonction opérative (par exemple prendre un objet, déplacer une charge, chauffer une pièce, etc.). Une chaîne fonctionnelle comporte généralement une chaîne d'action, son élément de commande, la partie physique associée et une chaîne d'acquisition (compte rendu de d'exécution de l'action).

Chronogramme : diagramme cartésien comportant en abscisse, la variable temps, en ordonnée, la ou les fonction(s) (logique, analogique ou numérique) dont on représente l'évolution en fonction du temps.

Codage : utilisation d'une procédure de changement de base pour représenter des données.

Combinatoire : se dit d'une fonction constituée exclusivement d'une combinaison de variables logiques.

Composant : plus petit élément permettant de construire un constituant, un dispositif ou un système. Une vis, un joint d'étanchéité, un transistor, un circuit intégré, etc., sont des composants dans le sens où ils ne sont pas fractionnables sans destruction.

Compte rendu : information indiquant l'état d'exécution d'un ordre donné par une partie commande.

Consigne : instruction d'un opérateur destinée à une partie commande, sous la forme d'une information, de caractère logique (délivrée par un organe de consigne, bouton marche par exemple) ou non (consigne transmise par un potentiomètre par exemple).

Constituant : ensemble de composants assemblés pour réaliser une fonction élémentaire. Un vérin, un moteur électrique, un automate programmable, un codeur incrémental, etc., sont des constituants.

Contacteur : constituant électromagnétique (préactionneur) dédié à la commutation, sous tension, des phases d'un réseau de distribution vers un moteur électrique ou tout autre actionneur électrique. Un contacteur comporte souvent des fonctions auxiliaires utiles à l'automatisation (contacts TOR auxiliaires, contacts temporisés, etc.).

Convertisseur (électrique) : dispositif électrotechnique destiné à convertir une énergie électrique de caractéristiques données (tension, courant, fréquence) en énergie électrique de caractéristiques différentes et préétablies. Les transformateurs, par exemple, sont des convertisseurs de tension.

DEL : diode électroluminescente qui s'illumine sous l'effet d'un courant électrique dans le sens de la conduction.

Décodage : opération inverse du codage consistant à remettre une information codée dans sa forme originale ou simplement sous forme compréhensible par l'utilisateur (homme ou machine).

Défaillance : c'est un changement d'état qui traduit un écart par rapport au fonctionnement attendu par « l'utilisateur » (l'utilisateur est pris au sens large et peut être un autre système en relation avec le premier).

Défaut : état d'une entité inapte à accomplir une fonction requise (non comprise l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées). Un défaut est souvent la conséquence d'une défaillance de l'entité elle-même, mais peut exister sans défaillance préalable.

Détecteur : constituant d'interface entre l'environnement d'un système automatique et sa partie commande. Un détecteur délivre un signal Tout Ou Rien image du niveau de la grandeur physique à surveiller.

Dialogue : échange d'informations. Dans les systèmes automatiques : échanges entre une partie commande et son environnement; principalement la partie opérative, l'opérateur, le produit et d'autres systèmes.

Discordance : différence entre le comportement observé et le comportement attendu.

Distributeur : préactionneur distribuant un fluide sous pression (air comprimé, huile) dans un actionneur pneumatique ou hydraulique, et contrôlé par un signal de commande mécanique, électrique, pneumatique ou hydraulique.

Effecteur : dispositif terminal d'une chaîne d'action qui agit directement sur la matière d'œuvre traitée par un système automatique.

État : situation d'un système caractérisé par les valeurs des variables appliquées à l'instant considéré, mais également des valeurs appliquées antérieurement (événements passés).

Exploitation : ensemble des actions exercées par l'utilisateur sur les moyens d'un système, en vue d'obtenir les résultats correspondant aux objectifs et d'en assurer le bon fonctionnement. L'exploitation comprend trois grandes classes d'activité : la conduite, le réglage, la maintenance

Fonction (de service) : action attendue d'un produit pour répondre au besoin d'un utilisateur donné (norme NF X 50-150). Exprime une relation entre le produit et un interacteur du milieu environnant, ou une relation entre interacteurs par l'intermédiaire du produit.

Fonction (logique) : relation à base d'opérations logiques (ET, OU, NON, ...) entre plusieurs variables.

Fonction (technique ou de construction) : action interne au produit dans le but d'assurer les fonctions de service.

Fonction (langage de programmation des API) : module logiciel ayant plusieurs variables d'entrée possibles, une seule variable de sortie et pas de mémoire interne (opérations arithmétiques, sélections, comparaisons, ...).

Fusible : composant de sécurité placé dans un circuit électrique qui fond dans des conditions données de courant et en provoquant l'ouverture par coupure.

GRAF CET : langage de spécification du comportement des systèmes logiques séquentiels (norme CEI 60848 février 2002).

Grafcet : modèle comportemental obtenu pour une application donnée à l'aide du langage de spécification GRAFCET.

Grafcet de coordination des tâches opératives : grafcet décrivant l'ordonnement séquentiel (donc temporel) des tâches opératives.

Grphe d'état : graphe ayant une seule étape active à la fois.

GRAY : code binaire, appelé également binaire réfléchi, dont un seul de ses bits change d'état lors du passage d'une valeur du code à la suivante.

Horloge : dispositif électronique délivrant un signal périodique stable dont les changements d'état logique servent à rythmer le temps et à synchroniser des opérations dans un système électronique ou informatique.

Incrément : quantité dont on augmente la valeur d'une variable (de comptage en général) à chaque phase de l'exécution d'un programme ou à chaque changement d'état d'une entrée.

Information : élément de connaissance susceptible d'être représenté à l'aide de conventions pour être conservé, traité ou communiqué.

Implémentation : opération d'implantation d'un algorithme dans un constituant programmable donné.

Instruction : consigne exprimée dans un langage de programmation.

Interface : dispositif de liaison entre deux matériels ou logiciels leur permettant d'échanger des informations par l'adoption de règles physiques ou (et) logiques communes.

LED (anglais) : voir DEL.

Langage (informatique) : ensemble de signes conventionnels (vocabulaire) et de règles combinatoires (syntaxe) permettant de formuler des problèmes en une suite d'instructions ou de symboles graphiques (algorithme) en vue de l'implanter dans un constituant programmable (ordinateur, API, etc.).

Logiciel : ensemble des programmes, procédés et règles, et éventuellement de la documentation, relatifs au fonctionnement d'un ensemble de traitement de l'information.

Logigramme : forme de représentation graphique des opérations sur des variables logiques à base d'association de symboles des fonctions logiques élémentaires (ET, OU, NON, NON-ET, NON-OU, etc.).

Matière d'œuvre : élément sur lequel s'exerce l'activité du système (elle peut être de trois natures différentes : matière, énergie ou information).

Mémoire : organe qui permet l'enregistrement, la conservation et la restitution de données.

Message : ensemble d'informations organisées pour être transmises (à une machine ou à l'homme).

Mesurande : grandeur physique faisant l'objet d'une mesure.

Micro-contrôleur : composant électronique programmable, doté d'entrées et sorties, capable de gérer des opérations logiques et arithmétiques conformément à une procédure préalable et modifiable.

Micro-processeur : processeur miniaturisé dont tous les éléments sont rassemblés en un seul circuit intégré.

Modèle comportemental : représentation formelle du comportement d'un système contrôlé par une partie commande.

Modes de marches et d'arrêts : ensemble ordonné des situations de fonctionnement normal ou dégradé d'un système automatique.

Modulation : procédé par lequel certaines caractéristiques d'un signal sont modifiées en fonction des caractéristiques d'un autre signal appelé signal modulant.

Module logiciel (langage de programmation des API) : unité d'organisation de programme permettant de structurer les applications logicielles implantées dans les API.

Mot de code : groupe de N bits, N étant généralement un multiple de 8, permettant de coder une information afin de la stocker, d'y effectuer des calculs ou de la transmettre.

Moto réducteur : constituant mécanique composé d'un moteur électrique et d'un réducteur associés par construction.

Numération : façon d'écrire les nombres, suivant une base donnée : Décimale, binaire, etc.

Numérique : se dit, par opposition à analogique, de la représentation de variables ou de grandeurs physiques au moyen de caractères – des chiffres généralement – et aussi des systèmes, dispositifs ou procédés employant ce mode de représentation discrète.

Octet : mot de code constitué par huit bits, synonyme de « Byte ».

Opérateur logique : symbole d'une opération logique à effectuer (+, -, /, ...). Par extension objet capable de réaliser l'opération.

Ordre : information ou signal de commande émis par la partie commande d'un système automatique à destination de sa partie opérative.

Partie commande : ensemble des moyens de traitement de l'information et de communication permettant la commande et le pilotage des parties opératives dans un système automatique.

Partie opérative : ensemble des moyens matériels opérant physiquement sur les matières d'œuvre, ou les utilités (énergie, outils, fluides, outillages, etc.), en vue d'assurer leurs transformations. Quelquefois, tout ou partie des préactionneurs, des capteurs et de l'instrumentation implantés sur la partie physique du processus sont inventoriés dans les éléments de la partie opérative.

Piézo-électrique (effet) : apparaît dans un cristal possédant des caractéristiques piézo-électriques. Si on exerce une compression ou une traction selon une direction particulière sur un tel cristal, il apparaît des charges électriques proportionnelles à la pression exercée sur les faces perpendiculaires à l'action.

Poids (d'un digit) : le poids d'un digit (bit, caractère ou chiffre) dans un nombre est le résultat de l'opération $p = B^r$, où B est la base de numération (deux en binaire, dix en décimal, etc.) et r le rang du chiffre (la position comptée de droite à gauche à partir de zéro).

Poste : partie d'une station associée à une fonction spécifique réalisée sur le produit (fonction : opérative, d'identification, de mesure, etc.).

Préactionneur : constituant permettant la distribution d'énergie à un actionneur. Exemples : contacteur, distributeur, variateur, etc.

Procédé : méthode utilisée pour réaliser une opération de stockage, transformation ou de transport de la matière, de l'énergie ou de l'information (voir chapitre 1).

Procédure : méthode utilisée pour obtenir un certain résultat (en technique, organisation, etc.). Exemples : procédure d'homologation, procédure de transmission de données.

Processeur : organe destiné, dans un ordinateur ou une autre machine, à interpréter et à exécuter les instructions d'un programme.

Processus : organisation fonctionnelle et (ou) matérielle d'une unité de production, dans l'espace et dans le temps. Le processus intègre les flux de matières, les flux d'énergie, les flux de données, les moyens opératifs (stockage, transformation, transport), les équipements de contrôle-commande, les opérateurs humains, les auxiliaires (outillages, utilités, ...).

Production : action de produire des biens. La production peut être continue, par lots, à l'unité.

Produit : ce qui est (ou sera) fourni à un utilisateur pour répondre à son besoin (norme X 50-150). Produit fabriqué par une installation de production. Ses fonctions, ses propriétés, ses variantes, ses tolérances de fabrication, sa sécurité, son prix de revient, son délai de livraison, etc.

Programme : ensemble de données et d'instructions ordonnées pour obtenir un résultat donné dans un système informatique.

Programme (langage de programmation des API) : module logiciel construit à l'aide de fonctions et de blocs fonctionnels.

Protocole (de transmission) : ensemble des règles régissant une transmission de données informatiques entre deux processeurs.

Réceptivité : condition logique associée à une transition dans un grafset.

Redondance : existence de plus d'un moyen pour accomplir une même fonction dans un même système.

Relais : commutateur à commande électromécanique ou électronique.

Réductance : grandeur magnétique analogue à la résistance électrique. La réductance R est le coefficient de proportionnalité qui lie le flux d'induction F à la force magnétomotrice. Dans un circuit magnétique de section S (m²) de longueur L (m) et de perméabilité μ , la réductance (Henry -1) est définie par $R = L/\mu S$.

Réseau (local) : ensemble connexe, à caractère privatif, de moyens de communication établi sur un site restreint, pourvu de règles de gestion du trafic et permettant des échanges internes d'informations de toute nature notamment sous forme de données.

Risque : le risque est la mesure d'un danger de la survenue d'un dommage aux biens et aux personnes (telles qu'une lésion ou une atteinte à la santé).

Scrutation : examen répété de l'état de un ou de plusieurs éléments d'un système pour y détecter un changement éventuel.

Sécurité : aptitude d'un dispositif à ne présenter aucun danger pour les personnes, pour les biens ou pour l'environnement.

Sectionneur : appareil mécanique de connexion destiné à isoler électriquement les circuits de puissance et de commande par rapport à l'alimentation générale. Ils peuvent être munis de coupe-circuits fusibles.

Séquence (GRAFSET) : on appelle séquence une succession d'étapes telles que :

– chaque étape, exceptée la dernière, ne possède qu'une seule transition aval;

– chaque étape, exceptée la première, ne possède qu'une seule transition amont validée par une seule étape de la séquence.

Séquentiel : se dit d'un processus dont la réaction à une configuration donnée d'événements extérieurs n'est pas toujours identique mais dépend des événements passés.

Signal : grandeur physique variable en fonction du temps et porteuse d'une information.

Signalisation : ensemble des moyens de communication d'information d'une partie commande à un opérateur humain.

Software (anglais) : voir logiciel.

Station : sous-ensemble d'une machine permettant d'effectuer un ensemble d'opérations sur le produit maintenu en position.

Sûreté : aptitude à assurer un service spécifié.

Système asservi : système de commande appliqué à tout dispositif opératif, capable à chaque instant de corriger les écarts par rapport au comportement attendu, lui-même défini par une consigne qui lui est donnée en permanence. Si la consigne est fixe, on est en présence d'un système régulé.

Système automatique : ensemble constitué d'une partie opérative et d'une partie commande en relation avec l'environnement humain et physique, et organisé en vue de produire de la valeur ajoutée sur des matières d'œuvre (matière, énergie ou information).

Système technique : ensemble d'éléments (matériels et logiciels) en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but.

TOR (Tout Ou Rien) : caractérise une variable logique ou un élément dont le comportement présente un caractère binaire.

Table de Karnaugh : mode de représentation sous forme matricielle des fonctions logiques à partir du codage binaire réfléchi de ses variables.

Table de vérité : représentation sous forme de tableau des états (0, 1) successifs d'une fonction logique pour la suite ordonnée des combinaisons de ses variables.

Tâche : ensemble d'opérations (regroupées selon un critère fonctionnel).

Tâche opérative : tâche agissant directement sur les matières d'œuvre.

Taux de charge : rapport entre l'effort à vaincre par un vérin et l'effort théorique qu'il est capable de développer.

Temporisation : retard volontaire apporté à l'apparition d'une information ou d'une action. Désigne par extension, et par abus de langage, l'objet réalisant ce retard (temporisateur).

Terre : masse conductrice constituée par la terre. Ensemble de conducteurs enfouis dans le sol.

Trame : structure d'un signal codé pour transmettre une donnée. La trame d'un message est constituée des informations de début, de fin, de contrôle de validité et des données proprement dites, le tout organisé conformément à un protocole de transmission.

Transcodage : opération de passage d'un code à un autre. (Voir codage.)

Transition : possibilité d'évolution de la situation d'un grafset matérialisé par un tiret auquel est associée une combinaison de variables logiques qui représente la réceptivité.

Transmission : opération d'envoi et réception de données.

UNICODE : extension du code ASCII permettant de représenter 65536 symboles différents sur 16 bits (norme IS 10646).

Valeur ajoutée : valeur supplémentaire apportée au produit par un système (en termes de qualité et de coût).

Variable booléenne : variable binaire relevant de l'algèbre de Boole.

INDEX

A

| | |
|--|---------|
| Action continue | 95, 104 |
| Action mémorisée | 95, 105 |
| Actionneur électrique | 305 |
| Actionneur pneumatique | 134 |
| Adresse | 128 |
| Algèbre de Boole | 68 |
| Allocation des variables internes | 219 |
| Architectue topo-fonctionnelle | 12 |
| Auto-maintien | 85 |
| Automate programmable industriel (API) | 236 |
| Auxiliaire pneumatique | 140 |

B

| | |
|--|----------|
| Barrage | 303 |
| Base de numération | 22, 279 |
| Besoin | 174 |
| Bistable | 139, 317 |
| BIT | 23 |
| Bloc fonctionnel | 123, 124 |
| Bloqueur 2/2 | 142 |
| Bouton poussoir | 39 |
| Bus (de terrain ou capteurs/actionneurs) | 127, 129 |
| BYTE | 23 |

C

| | |
|--------------------------------|----------------|
| Capteur | 44 |
| Caractéristiques métrologiques | 47 |
| CEI 1131 | 120 |
| Chaîne d'acquisition | 13, 35 |
| Chaîne d'action | 13, 52 |
| Chaîne d'action pneumatique | 134 |
| Chaîne fonctionnelle | 13 |
| Clavier | 40 |
| Codage | 22 |
| Code ASCII | 27 |
| Code BCD | 26 |
| Code binaire naturel | 24 |
| Code EXCESS | 281 |
| Code GRAY | 24 |
| Codeur optique absolu | 223 |
| Codeur optique incrémental | 221 |
| Combinatoire | 66, 68, 74, 78 |
| Combinatoire circuit | 273 |
| Commande | 50 |
| Commande électromagnétique | 155 |
| Comportement | 50 |
| Composant | 52 |
| Comptage | 91, 92, 106 |
| Conditionnement de l'air | 142 |
| Conduite | 49, 55 |

| | |
|----------------------------|---------|
| Constituant | 53 |
| Contraintes | 9 |
| Contrôle en U/f (E/f) | 159 |
| Contrôle vectoriel de flux | 159 |
| Coordination | 55, 111 |
| Corps d'épreuve | 37 |
| Courts-circuits | 155 |
| Cycle de vie | 16, 49 |

D

| | |
|----------------------------|------------|
| Débit | 136, 317 |
| Décodeur | 68, 75 |
| Défaillance | 163 |
| Démarrreur progressif | 143 |
| Démultiplexeur | 68, 75, 76 |
| Départs moteurs | 157 |
| Détecteur | 40 |
| Détecteur capacitif | 233 |
| Détecteur électromécanique | 228 |
| Détecteur fluide | 43 |
| Détecteur ILS | 234 |
| Détecteur inductif | 229 |
| Détecteur photoélectrique | 231 |
| Détecteur ultrasonique | 233 |
| Détendeur | 142 |
| Diagramme FAST | 50, 51 |
| Distributeur pneumatique | 139, 317 |
| Domages | 165 |

E

| | |
|---------------------------------|-------------|
| Entrées de sécurité | 118 |
| Entrées et sorties d'un système | 10 |
| Entrées fonctionnelles | 118 |
| Équipement | 53 |
| Erreur | 163 |
| Étape | 94 |
| État | 81 à 93 |
| Événement | 80, 84, 103 |
| Expression logique | 70 |

F

| | |
|----------------------------------|----------|
| Faute | 163 |
| FDB langage à blocs fonctionnels | 120, 121 |
| Fiabilité | 162 |
| Fonction | 123 |
| Fonction d'automatisation | 14 |
| Fonction de sécurité | 167 |
| Fonction globale | 8 |
| Fonction logique | 273 |
| Fonction retard | 90, 107 |
| Forçage | 107 |

- Front 89, 90, 103
Frontière d'un système 10, 53, 61, 64
- G**
- GARU 181
GCOND 182
GDEF 181
GEMMA 179, 320
GPAP 183
GPN 183
GPOM 183
GPRE 181
GRAFCET ou grafcet 81, 93
Grandeur 270
- I**
- IL Liste d'instructions 120, 122
Information 19, 54, 59, 130
Information analogique 20
Information numérique 19
Information tout ou rien 19
Interface électropneumatique 318
Isolement 54, 64
- K, L**
- Karnaugh 68, 274
LD langage à contacts 120, 121
Logique positive, négative 29
- M**
- Macro-étape 101
Maintenabilité 163
Matière d'œuvre 8
Mémoire 86
Mesurande 36
Modèles de représentation 17
Modes de marches et d'arrêts 176
Modules de sécurité 171
Monostable 90, 115, 139, 317
Moteur à courant alternatif 149
Moteur à courant continu 149
Moteur autosynchrone 150
Moteurs pas à pas 150
Multiplexeur 68, 75, 76
- N, O**
- Niveau de décision 55, 56
Nombre 22, 281
Numération 22, 279
Objectifs 9
Opérateur logique 68
- P**
- Panne 163
Parité 27
Partie commande 11, 12
Partie dite « chart » 219
Partie dite « postérieur » 220
Partie dite « préliminaire » 219
Partie opérative 11
Pneumatique 134
Point de vue 61, 63, 65
Poste 52
Préactionneur pneumatique 139, 317
Préfixe 271
Pression pneumatique 135
Procédé 10, 50, 58, 61, 110
Processus 10, 55, 61
Programme 123, 124
Protection des appareils 272
Protection du moteur 156
Protocole 128, 131
Proximité 303
- R**
- Raccord 319
RDU 141
Réceptivité 95, 98, 102
Redondance 170
Reflex 303
Réseau 126
Risques 9, 164, 165
- S**
- Sectionneur pneumatique 143
Sécurité 162
Séquence 99
Séquentiel 80, 93
Seuil de pression 235
SFC (Séquentiel Function Chart) 120, 122
Signal 28
Simplification 273
Situation 96
Sondes de température 157
Sous-ensemble fonctionnel 52
ST langage littéral 120, 123
Station 52
Surcharges 155
Surveillance 54, 55, 171
Système automatique 7, 8, 49
Système automatisé 6
Système de numération 279
Système international d'unités 270
Systèmes logiques 66, 80

| | | | |
|---------------------------------|-------------|----------------------|----------|
| T | | Transition | 95 |
| Table de vérité | 66, 78, 273 | Transmission | 130 |
| Tableau de Karnaugh | 68, 274 | U, V | |
| Tâche | 112 | Unité | 270 |
| Temporisation | 97 | Unité centrale | 237 |
| Traitement monotâche | 241 | Valeur ajoutée | 8 |
| Traitement multitâche | 242 | Variable | 56, 85 |
| Transcodeur | 75, 77 | Variable logique | 20 |
| Transcodeur BCD vers 7 segments | 277 | Variation de vitesse | 158 |
| Transcodeur Gray vers binaire | 276 | Ventouse | 261 |
| Transducteur | 38 | Vérin | 256, 312 |
| Transduction | 37 | | |