

Bases de la technique d'automatisation

563061



N° de commande : 563061
Situation : 2021
Auteurs : F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz
Lay-out : 05/2008, F. Ebel

© Festo Didactic, D-73770 Denkendorf, Allemand, 2021
Internet : www.festo-didactic.com
E-mail : did@de.festo.com

Toute communication ou reproduction de ce document, toute exploitation ou communication de son contenu sont interdites, sauf autorisation expresse. Tout manquement à cette règle est illicite et expose son auteur au versement de dommages et intérêts. Tous droits réservés, particulièrement le droit de déposer des modèles d'utilité ou des modèles de présentation.

La reproduction partielle du présent document est réservée aux ayant-droits et uniquement à des fins pédagogiques.

Remarque :

Il est possible que la présente brochure fasse uniquement mention des enseignants, étudiants etc. Il va de soi qu'elle s'adresse également aux enseignantes, étudiantes etc. L'absence de déclinaison au féminin dans le présent document n'est en aucun cas l'expression d'une quelconque discrimination. Elle vise uniquement à faciliter la lecture et la compréhension des formulations.

Table des matières

1	COMMENT LES INGENIEURS TRAVAILLENT-ILS ?	7
1.1	DESSINS TECHNIQUES ET NOMENCLATURES	8
1.2	SCHEMAS D'ENSEMBLE	11
1.3	DIAGRAMMES SEQUENTIELS ET PROGRAMMES	12
1.4	SCHEMA TECHNOLOGIQUE ET SCHEMA DE PRINCIPE	13
1.5	CALCULS ET SIMULATION	14
2	LA TECHNIQUE D'AUTOMATISATION, PARTIE INTEGRANTE DES SCIENCES TECHNIQUES	15
2.1	PRINCIPAUX JALONS DE L'HISTOIRE DE LA TECHNIQUE D'AUTOMATISATION	15
2.2	CONSEQUENCES DE L'AUTOMATISATION POUR L'HOMME	17
3	PRINCIPES DE BASE ELECTROTECHNIQUES	19
3.1	COURANT CONTINU ET COURANT ALTERNATIF	19
3.2	RESISTANCE ELECTRIQUE ET PUISSANCE ELECTRIQUE	20
3.2.1	CONDUCTEUR ELECTRIQUE	20
3.2.2	RESISTANCE ELECTRIQUE	20
3.2.3	LOI D'OHM	21
3.2.4	PUISSANCE ELECTRIQUE	21
3.3	MODE DE FONCTIONNEMENT D'UN PILOTE ELECTRIQUE (ELECTRO-AIMANT)	22
3.3.1	STRUCTURE D'UN PILOTE ELECTRIQUE	23
3.3.2	UTILISATIONS DES PILOTES ELECTRIQUES	23
3.4	MODE DE FONCTIONNEMENT D'UN CONDENSATEUR ELECTRIQUE	24
3.5	MODE DE FONCTIONNEMENT D'UNE DIODE	25
3.6	MODE DE FONCTIONNEMENT ET STRUCTURE DES COMMUTATEURS	26
3.6.1	CONTACT A FERMETURE	26
3.6.2	CONTACT A OUVERTURE	27
3.6.3	INVERSEUR	27
3.7	RELAIS ET CONTACTEURS	28
3.7.1	APPLICATIONS DES RELAIS	28
3.7.2	STRUCTURE D'UN RELAIS	29
3.7.3	RELAIS TEMPORISE	30
3.8	FONCTION ET STRUCTURE DU BLOC D'ALIMENTATION	32
3.9	MESURE DANS UN CIRCUIT ELECTRIQUE	33
3.9.1	PROCEDURE DE MESURE DANS UN CIRCUIT ELECTRIQUE	34
4	CAPTEURS	37
4.1	CAPTEURS DE PROXIMITE	37

4.1.1 CAPTEURS MAGNETIQUES	38
4.1.2 CAPTEURS ELECTRONIQUES	39
4.1.3 CAPTEURS DE PROXIMITE INDUCTIFS	40
4.1.4 CAPTEURS DE PROXIMITE CAPACITIFS	41
4.1.5 CAPTEURS DE PROXIMITE OPTIQUES	42
4.2 CAPTEURS DE PRESSION	45
4.2.1 MANOCONTACTS MECANIKES AVEC SIGNAL DE SORTIE BINAIRE	45
4.2.2 MANOCONTACTS ELECTRONIQUES AVEC SIGNAL DE SORTIE BINAIRE	46
 5 PRINCIPES DE BASE PNEUMATIQUES	 47
 5.1 PRINCIPES PHYSIQUES DE BASE	 48
5.1.1 UNITES DE BASE	48
5.1.2 UNITES DERIVEES	48
5.1.3 LOI DE NEWTON	48
5.1.4 PRESSION	49
5.2 PROPRIETES DE L'AIR	50
5.2.1 LOI DE BOYLE-MARIOTTE	50
5.2.2 LOI DE GAY-LUSSAC	51
5.2.3 ÉQUATION GENERALE DES GAZ	52
5.3 COMPOSANTES D'UNE COMMANDE PNEUMATIQUE ET FONCTIONS AFFERENTES	53
5.4 FONCTIONS ET CARACTERISTIQUES DES ACTIONNEURS – VERINS PNEUMATIQUES	55
5.4.1 VERIN A SIMPLE EFFET	55
5.4.2 VERIN A DOUBLE EFFET	55
5.4.3 REGLAGE DE LA VITESSE DES VERINS A SIMPLE EFFET	56
5.4.4 REGLAGE DE LA VITESSE DES VERINS A DOUBLE EFFET	58
5.5 FONCTIONS ET CARACTERISTIQUES DES DISTRIBUTEURS PNEUMATIQUES	60
5.5.1 DESIGNATIONS ET SYMBOLES DES DISTRIBUTEURS PNEUMATIQUES	61
5.5.2 MODES DE COMMANDE DES DISTRIBUTEURS PNEUMATIQUES	62
5.5.3 COMMANDE D'UN VERIN A SIMPLE EFFET	62
5.5.4 COMMANDE D'UN VERIN A DOUBLE EFFET	63
5.6 FONCTIONS ET CARACTERISTIQUES DES ENTRAINEMENTS PNEUMATIQUES	64
5.6.1 ENTRAINEMENTS GUIDES, VERINS SANS TIGE ET VIREURS	64
5.6.2 PINCES PNEUMATIQUES	65
5.6.3 SAISIR LE VIDE	67
5.7 REPRESENTATION DES COMMANDES PNEUMATIQUES DANS LE SCHEMA D'ENSEMBLE	71
5.7.1 DESIGNATION DES SYMBOLES DANS LES SCHEMAS D'ENSEMBLE	72
 6 ACTIONNEURS ELECTRIQUES	 75
 6.1 PRINCIPES DE BASE PHYSICO-TECHNIQUES D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU	 75
6.1.1 COMMANDE DES MOTEURS A COURANT CONTINU	78
6.1.2 LES ELECTRO-AIMANTS : DES SERVOMOTEURS DE CONCEPTION SIMPLE	80
 7 PRINCIPES DE BASE DES TECHNIQUES DE COMMANDE	 81

7.1	STRUCTURE ET MODE DE FONCTIONNEMENT D'UN AUTOMATE PROGRAMMABLE INDUSTRIEL (API)	83
7.2	PRINCIPES DE BASE MATHÉMATIQUES – COMBINAISONS DE BASE D'ÉLÉMENTS LOGIQUES	84
7.2.1	GENERALITES	84
7.2.2	IDENTITE (FONCTION OUI)	84
7.2.3	NEGATION (FONCTION NON)	85
7.2.4	CONJONCTION (FONCTION ET)	86
7.2.5	DISJONCTION (FONCTION OU)	87
7.2.6	AUTRES COMBINAISONS LOGIQUES	89
7.3	EXEMPLES DE STRUCTURE D'UNE COMMANDE	91
8	APPLICATIONS DES RELAIS DANS L'ELECTROPNEUMATIQUE	93
8.1	COMMANDE DIRECTE ET INDIRECTE PAR RELAIS	93
8.1.1	COMMANDE DIRECTE D'UN VERIN A SIMPLE EFFET	94
8.1.2	COMMANDE INDIRECTE D'UN VERIN A SIMPLE EFFET	94
8.1.3	COMMANDE D'UN VERIN A DOUBLE EFFET	95
8.2	COMBINAISONS LOGIQUES AVEC RELAIS	96
8.2.1	MONTAGE EN PARALLELE (CIRCUIT OU)	96
8.2.2	MONTAGE EN SERIE (CIRCUIT ET)	97
8.3	MEMORISATION DES SIGNAUX PAR RELAIS ET ELECTRODISTRIBUTEUR BISTABLE	98
8.3.1	MEMORISATION DES SIGNAUX PAR CIRCUIT A RELAIS AVEC AUTOMANTEN	98
8.3.2	COMMANDE MANUELLE DE COURSE ALLER ET DE COURSE RETOUR PAR RELAIS AVEC AUTOMANTEN	99
8.3.3	MEMORISATION DES SIGNAUX PAR UN ELECTRODISTRIBUTEUR BISTABLE	100
8.3.4	COMMANDE DE RAPPEL AUTOMATIQUE AVEC ELECTRODISTRIBUTEUR BISTABLE	101
8.3.5	COMPARAISON DE LA MEMORISATION DES SIGNAUX D'UN RELAIS A AUTOMANTEN ET D'UN ELECTRODISTRIBUTEUR BISTABLE	101
8.4	CIRCUITS A TEMPORISATION AVEC RELAIS	102
8.4.1	COMMANDE D'UN VERIN DANS LE TEMPS	102
9	AUTOMATES PROGRAMMABLES INDUSTRIELS (API)	103
9.1	GENERALITES	103
9.2	SYMBOLES LOGIQUES DU LOGICIEL DE COMMANDE FLUIDSIM®	104
9.3	PROGRAMMATION D'UNE COMMANDE COMBINATOIRE A L'AIDE D'UN API	105
9.3.1	EXEMPLE 1 : AUTOMANTEN	105
9.3.2	EXEMPLE 2 : FONCTION ET, TEMPORISATEUR	106
9.4	PROGRAMMATION D'UNE COMMANDE SEQUENTIELLE A L'AIDE DE CHAINES SEQUENTIELLES	108

1 Comment les ingénieurs travaillent-ils ?

Les sciences techniques forment, à l'instar des sciences humaines, des sciences sociales et des sciences naturelles, une discipline à part entière avec une terminologie, des procédures et des outils bien spécifiques. Il va de soi que ces sciences se basent sur les résultats issus d'autres disciplines, et plus particulièrement des mathématiques et de la physique, mais aussi des sciences sociales. Réciproquement, nombre de connaissances scientifiques découlent des résultats des recherches menées dans le cadre des sciences techniques.

À la différence des sciences naturelles, les sciences techniques n'ont pas pour vocation première la recherche fondamentale ou la mise en évidence de lois existantes, mais plutôt l'élaboration de solutions techniques destinées à combler les besoins de l'homme.

L'ingénieur adopte systématiquement une approche de résolution de problèmes. Il existe donc des méthodes de travail propres à l'ingénierie, comme l'approche de la boîte noire. Cette approche signifie que les ingénieurs mettent en œuvre des systèmes techniques dans un but bien précis, sans être pour autant obligés de connaître dans le détail le fonctionnement des différents composants et sous-ensembles. Pour l'ingénieur, il suffit de savoir qu'un appareil lambda fournit telle valeur de sortie pour telle valeur d'entrée.

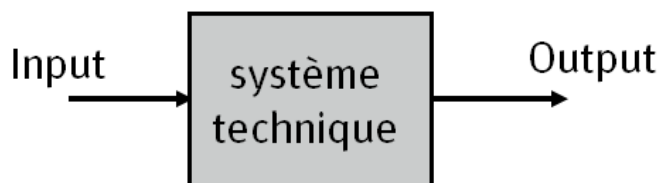


Figure 1.1 : représentation d'un système technique sous la forme d'une boîte noire

Prenons un exemple : les machines automatisées utilisent des moteurs électriques dont les dimensions et les performances varient énormément d'un modèle à l'autre. Le concepteur de la machine n'a pas besoin de savoir précisément comment fonctionne ce moteur électrique. Il lui suffit amplement de sélectionner un moteur adapté, en se basant sur des grandeurs caractéristiques comme les dimensions, le couple, la vitesse de rotation, la consommation de courant, la puissance etc.

La situation est toute autre si un ingénieur est amené à concevoir lui-même des moteurs électriques. Dans ce cas, il a besoin de connaissances détaillées sur le mode de fonctionnement des moteurs électriques, leurs principes physiques de base et leurs composants.

Les sciences de l'ingénieur se distinguent aussi par les modalités de représentation des solutions techniques. En effet, les techniciens ont recours à des supports descriptifs normalisés, principalement axés sur la représentation graphique et utilisés internationalement. Les principaux supports sont les suivants :

- Dessins techniques et nomenclatures
- Schémas d'ensemble
- Diagrammes séquentiels et programmes
- Schémas technologiques et schémas de principe

1.1 Dessins techniques et nomenclatures

Les dessins techniques servent à décrire la forme des produits. Ils indiquent de manière détaillée les dimensions, les tolérances, la structure de surface et les matériaux des pièces (plans cotés) ou la composition des sous-ensembles (plans d'assemblage).

Les différentes vues d'une pièce sont agencées conformément au principe de projection utilisé, c'est-à-dire que la pièce est représentée sous plusieurs angles dans un ordre bien précis, avec une rotation de 90° d'une vue à l'autre. Le nombre maximal de vues est donc de six. En général, cependant, on ne représente pas toutes les vues, mais uniquement celles qui sont nécessaires pour indiquer toutes les cotes requises pour la fabrication. La figure 1.2 illustre un exemple de plan coté.

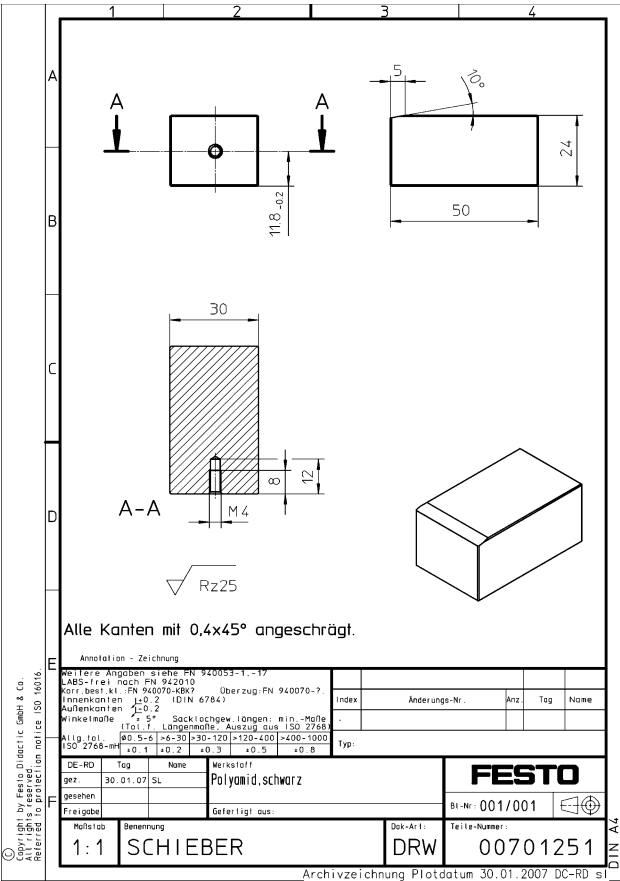


Figure 1.2 : plan coté du tiroir d'un chargeur-empileur (format d'origine : A4)

Les plans d'assemblage ont trait à la composition d'un produit fini ou d'un sous-ensemble, c'est-à-dire à l'agencement de ses pièces constitutives. Il comporte peu de cotes, mais indique précisément la désignation des pièces de rechange (voir figure 1.3).

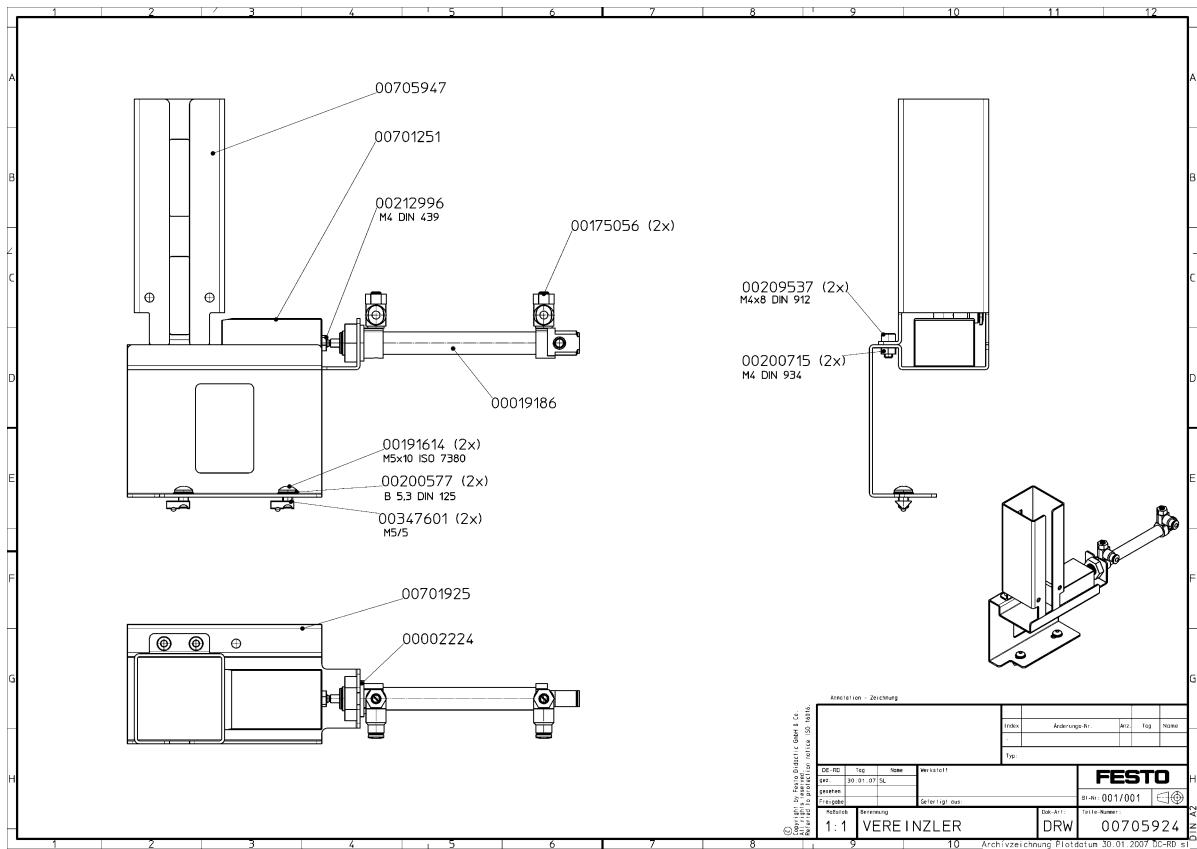


Figure 1.3 : plan d'assemblage d'un chargeur-empileur (format d'origine : A3)

Les pièces de rechange sont rassemblées dans une nomenclature, qui indique la quantité de pièces nécessaires à la fabrication d'un produit (voir tableau 1.1).

Quantité	Référence	Désignation
1	00705947	Tube de descente
1	00701251	Tiroir
1	00701925	Corps de base
1	00019186	Vérin pneumatique DSNU 10-50 PA
2	00175056	Limiteur de débit unidirectionnel GRLA-M5-QS-4-LF-C
2	00191614	Vis à tête cylindrique bombée M5x10 ISO 7380
2	00200577	Rondelle B 5,3 DIN 125
2	00347601	Écrou en T M5
2	00209537	Vis à tête cylindrique M4x8 DIN 912
2	00200715	Écrou M4 DIN 934
1	00002224	Bague d'étanchéité

Tableau 1.1 : exemple de nomenclature (pour figure 1.3)

Chaque composant fait l'objet d'un plan coté distinct, avec des données de fabrication. Seules les pièces standard ou normalisées, comme les vis, les roulements à billes ou autres pièces sous-traitées ne nécessitent pas de plans spécifiques. Ce type de pièces standard peut être identifié, dans la nomenclature, aux désignations qui font référence à la norme concernée, par exemple DIN 125 ou ISO 7380.

Les ingénieurs privilégient les pièces normalisées dans la mesure du possible. En effet, ces pièces sont compétitives et il est possible de les commander à des fabricants spécialisés, dans la quantité nécessaire et avec le niveau de qualité requis, ce qui s'avère généralement plus économique qu'une fabrication en interne. Par ailleurs, les pièces normalisées simplifient la conception du produit, mais aussi sa réparation en cas de défaut.

1.2 Schémas d'ensemble

Si les dessins techniques servent à représenter la forme extérieure d'un produit, les schémas d'ensemble indiquent les interconnexions entre les composants électriques, pneumatiques ou hydrauliques d'un système technique ou d'une installation. Ces schémas font systématiquement appel à des symboles normalisés qui renvoient à la fonction des composants, et non à leur forme extérieure ou à leur aspect. Les schémas d'ensemble sont beaucoup plus abstraits que les dessins techniques.

La figure 1.4 illustre le schéma d'ensemble d'un circuit pneumatique réel.

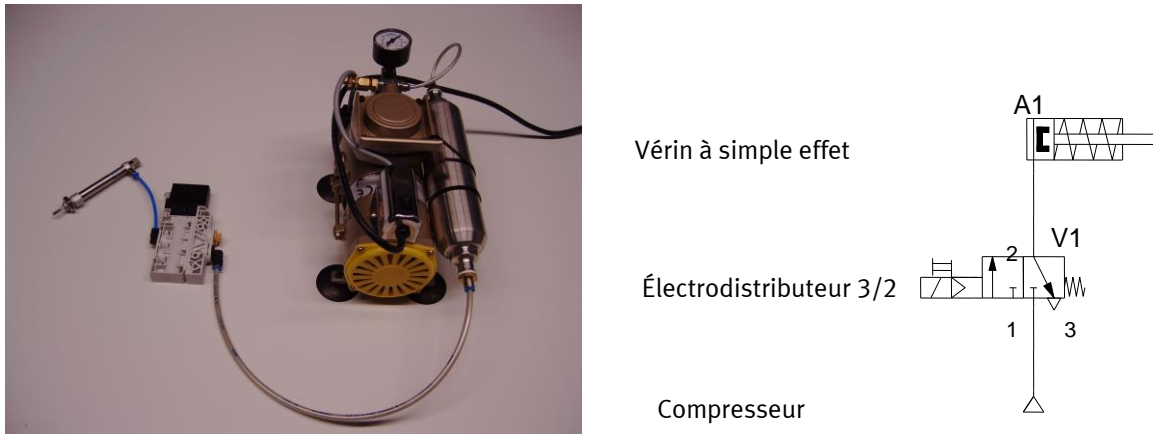


Figure 1.4 : composants réels et représentation dans un schéma d'ensemble (pneumatique)

Pour conserver une bonne vue d'ensemble de la structure du circuit, les composants, raccords etc. portent chacun un numéro d'ordre. Les composants de la machine portent exactement les mêmes numéros, de manière à pouvoir retrouver leur fonction dans le schéma d'ensemble.

1.3 Diagrammes séquentiels et programmes

La plupart des commandes actuelles sont des commandes dites « par programme ». Cela signifie que c'est un programme informatique qui pilote et coordonne les différentes phases de commande. Les langages de programmation sont aussi variés que les problèmes qui se posent dans le domaine de la technique. Citons notamment le Fortran (Formula Translation), à vocation essentiellement mathématique, le Cobol (Common Business Oriented Language), destiné aux programmes de gestion, le langage LADDER (schéma à contacts) pour les commandes combinatoires ou le Basic (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code), un langage général, accessible et destiné aux débutants.

Prenons un exemple simple de développement de programme :

Avant d'aborder la programmation à proprement parler, l'algorithme est mis au point sous la forme d'un organigramme. La figure 1.5 illustre un organigramme correspondant au déroulement logique suivant :

- lecture de l'état de commutation des boutons-poussoirs 1 et 2,
- sortie du vérin si les deux contacts sont à l'état 1 (état activé),
- répétition de la lecture d'état dans tous les autres cas.

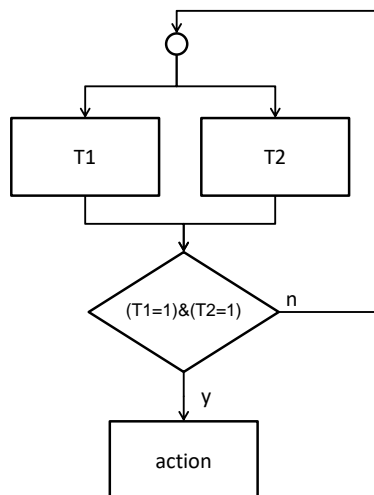


Figure 1.5 : organigramme

La séquence illustrée par la figure 1.5 pourrait prendre la forme du programme suivant (en Basic) :

```
10   T1 = bouton-poussoir 1
20   T2 = bouton-poussoir 2
30   If (T1 = 1) and (T2 = 1) then sortie du vérin, else goto 10
```

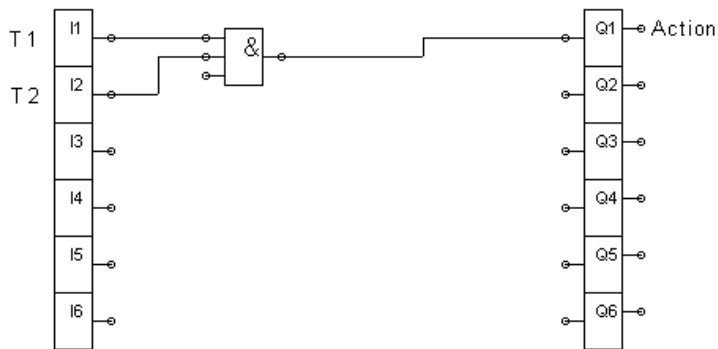


Figure 1.6 : programme logique

1.4 Schéma technologique et schéma de principe

Le schéma technologique, tout comme le schéma de principe, sert à représenter graphiquement la fonction d'une machine. Cette représentation peut être plus ou moins abstraite en fonction de la finalité, l'essentiel étant de représenter fidèlement les interactions et le principe d'implantation des composants et des sous-ensembles. Il est possible de reprendre, dans le schéma technologique, les mêmes désignations abrégées que dans le programme ou le schéma d'ensemble, de manière à clarifier les principales interactions, notamment entre les composants de commande tels que les capteurs et les actionneurs. La figure 1.7 illustre un exemple.

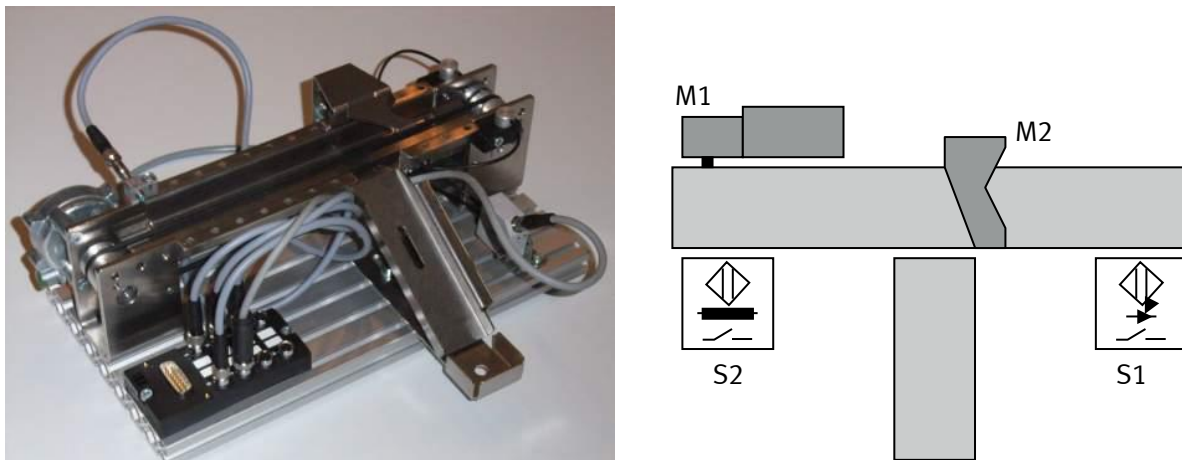


Figure 1.7 : photo et schéma de principe du module « bande transporteuse »

1.5 Calculs et simulation

Les calculs de dimensionnement des composants comptent parmi les étapes cruciales du processus de développement. Dans bien des cas, des calculs d'endurance détaillés sont nécessaires, voire expressément prescrits par le législateur (par exemple dans les secteurs de la construction ou de l'aéronautique), afin d'exclure tout risque lié à des machines sous-dimensionnées. Quoi qu'il en soit, les calculs sont très fréquemment indispensables pour s'assurer que les machines restent opérationnelles en toutes circonstances. Citons notamment le calcul des forces et des couples de rotation pour la configuration des entraînements, ou les calculs d'intensité pour le dimensionnement des câbles électriques.

La simulation est étroitement liée aux calculs. Les ingénieurs ont systématiquement recours, lorsque cela est possible, à la simulation pour tester et optimiser leurs solutions avant de passer à la phase de conception d'un prototype, car celui-ci est plus coûteux.

Le programme FluidSIM® est un bon exemple, puisqu'il permet aux élèves de tester leurs circuits électriques, logiques ou pneumatiques par le biais d'une simulation avant de s'atteler à la construction à proprement parler. Si le circuit fonctionne correctement, il peut être réutilisé pour commander le modèle réel. Dans le cas qui nous intéresse, la simulation permet à plusieurs élèves de travailler simultanément sur un même problème et de réduire la quantité d'équipement de formation (coûteux) nécessaire.

2 La technique d'automatisation, partie intégrante des sciences techniques

Parmi les domaines de spécialité des ingénieurs, citons :

- la construction mécanique,
- l'électrotechnique,
- les techniques de fabrication,
- les techniques de construction,
-

Tous ces domaines ont en commun la recherche, la création et l'utilisation de techniques. Leurs différences résident dans les objets d'étude et dans l'orientation des diverses spécialités.

La technique d'automatisation est une discipline transversale, qui utilise les connaissances et les méthodes issues de plusieurs autres sciences techniques. La norme DIN 19223 définit un automate comme un système artificiel qui, en combinant des entrées aux divers états du système, prend des décisions en vue d'obtenir les résultats précisément attendus.

Les processus automatiques actuels nécessitent trois composants :

- des capteurs pour la détection des états du système,
- des actionneurs qui exécutent les instructions de commande,
- des commandes qui gèrent le déroulement du programme et la prise de décision.

2.1 Principaux jalons de l'histoire de la technique d'automatisation

De nos jours, l'expression « technique d'automatisation » évoque instantanément les robots industriels et autres commandes informatisées. Elle remonte cependant beaucoup plus loin dans l'ère de l'industrie et de l'artisanat, et plus précisément à l'amélioration de la machine à vapeur, brevetée par James Watt en 1769. C'est la toute première fois qu'une machine pouvait se substituer à la force de l'homme ou de l'animal.

Les premières machines à vapeur servaient à remonter les seaux d'eau hors des mines et à mettre des machines-outils en mouvement. Une seule machine à vapeur pouvait entraîner plusieurs machines, par le biais d'une structure complexe associant des bielles à des courroies de cuir (également appelées courroies de transmission), située au plafond de l'atelier.

En 1820, le physicien danois Oersted découvre les principes de l'électromagnétisme.

En 1834, Thomas Davenport met au point le premier moteur à courant continu avec collecteur (inverseur de polarité) et dépose un brevet l'année suivante. Le moteur électrique ne se généralise toutefois pas avant 1866. Il faut en effet attendre que Werner von Siemens invente la dynamo, qui permet de fabriquer facilement du courant électrique en grande quantité. Le moteur électrique se substitue alors à la machine à vapeur en matière d'entraînement.

C'est en 1913 que Henry Ford lance la célèbre Ford T, qui marque l'avènement de l'assemblage à la chaîne (figure 2.1). Ce principe a considérablement augmenté la productivité, puisque la durée de fabrication d'une automobile est passée de 750 à 93 heures. Il a marqué les débuts de la production de série des véhicules. Forte de l'amélioration de sa productivité, l'entreprise Ford a pu instaurer en 1913 un système de rémunération inédit, avec 5 dollars par jour pour 8 heures de travail. Le prix du modèle T est alors descendu à environ 600 dollars. La voiture est devenue par là même un produit de consommation accessible au plus grand nombre, et non plus seulement à une clientèle aisée.

L'assemblage à la chaîne est principalement issu des travaux scientifiques de l'Américain Frederick Winslow Taylor sur la division du travail. Cette démarche consiste à segmenter la production en plusieurs étapes simples, qui peuvent notamment être confiées à une main d'œuvre non qualifiée.

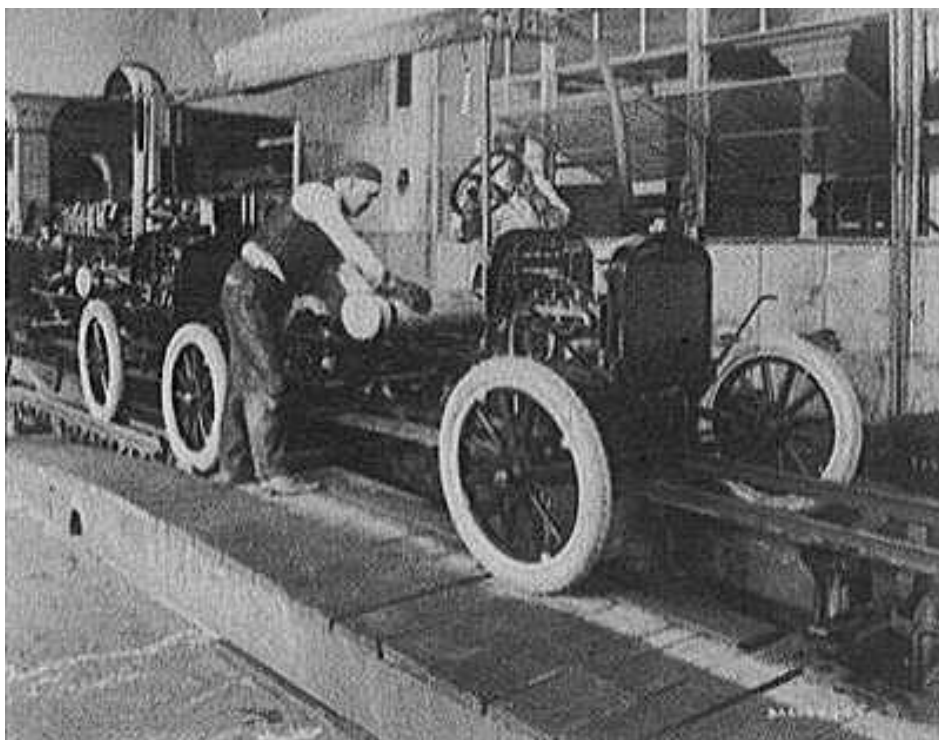


Figure 2.1 : production à la chaîne à l'usine Ford, en 1913

C'est en 1833 qu'est déposé le brevet d'une machine totalement automatique pour la production de vis, où les différentes séquences de déroulement du programme sont matérialisées par des cames.

En 1837, Joseph Henry invente un interrupteur électromagnétique baptisé relais, en hommage aux relais de poste, où les messagers à cheval avaient coutume de changer de monture.

Ces relais servent d'abord à amplifier le signal dans les stations de télégraphe Morse. Ce n'est que plus tard qu'ils sont utilisés pour fabriquer des commandes électriques. Ce type de commande, où les relais sont reliés les uns aux autres par des câbles fixes, est alors appelé « commande câblée ». Cette appellation est toujours utilisée. À l'époque, les relais permettent certes de gérer des fonctions de commande complexes, mais le câblage fixe rend la programmation relativement fastidieuse et la recherche des erreurs demande énormément de temps.

En 1959, Joseph Engelberger présente un prototype de robot industriel, mis en œuvre dans la production automobile en 1961, chez General Motors. Ce robot est entraîné par un système hydraulique. Par la suite, les robots industriels utilisent exclusivement des moteurs électriques.

En 1968, une équipe de la société américaine Allen Bradley met au point le premier automate programmable industriel (API), sous la direction d'Odo Struger. Il devient alors possible de modifier facilement un programme, sans avoir à modifier le câblage de nombreux relais.

Les robots industriels se généralisent dans la production industrielle à partir de 1970. Leur succès ne n'est pas démenti. Aucune installation de production ne pourra s'en passer à court terme. Bien au contraire, ils sont de plus en plus nombreux. L'Allemagne compte à elle seule plus de 100 000 robots, principalement dédiés à l'industrie automobile et à sa sous-traitance.

2.2 Conséquences de l'automatisation pour l'homme

Les systèmes automatisés étaient principalement utilisés pour rendre la production plus compétitive par rapport à la concurrence et cela n'a pas changé. La technique d'automatisation offre, à cet égard, nombre d'avantages :

- La production automatisée nécessite moins de main d'œuvre.
- La production peut s'effectuer 24 h/24 h, exception faite des rares interventions de maintenance périodique.
- Les machines font généralement moins d'erreurs, ce qui confère aux produits manufacturés un niveau de qualité élevé et constant.
- Les flux physiques se font plus courts, ce qui permet d'augmenter les quantités tout en réduisant les délais de livraison.
- L'automatisation dispense les opérateurs des tâches fastidieuses, harassantes ou potentiellement dangereuses pour la santé (humanisation du monde du travail).

Si la technique d'automatisation a des incidences très positives, elle a aussi d'autres conséquences qui ne sont pas aussi bien perçues :

- Suppression d'emplois, et plus particulièrement de postes de main d'œuvre faiblement qualifiée (remplacement de 10 opérateurs de montage non qualifiés par un seul technicien de service hautement qualifié).
- L'automatisation de la production suppose, de la part des salariés, des prises de décision ponctuelles dont ils ont du mal à cerner totalement les conséquences, du fait de la structure complexe des installations.
- Le coût que représente un système automatisé renforce les responsabilités de tout un chacun envers le fonctionnement de l'entreprise dans son ensemble.

3 Principes de base électrotechniques

3.1 Courant continu et courant alternatif

L'électrotechnique fait partie des principes de base de la technique d'automatisation. En effet, la plupart des systèmes techniques ont besoin de l'énergie électrique, tant pour leur entraînement que pour le traitement des signaux entrants. C'est la raison pour laquelle nous allons dresser une vue d'ensemble des principes élémentaires de l'électrotechnique.

Un circuit électrique simple se compose d'une source de tension, d'un récepteur ainsi que de câbles de raccordement, qui servent à véhiculer l'énergie électrique. Tout circuit électrique obéit à une règle simple : « le courant va du générateur au récepteur, puis il revient ! ». Sur le plan de la physique, un circuit électrique comporte des porteurs de charge négative, appelés électrons, qui circulent du pôle négatif de la source de tension vers le pôle positif en empruntant un conducteur électrique. Ce mouvement des porteurs de charge est appelé courant électrique. Le courant électrique ne peut circuler que dans un circuit fermé.

On distingue le courant continu du courant alternatif.

- Si le sens de la tension qui agit à l'intérieur du circuit ne change pas, le courant circule toujours dans la même direction. On parle alors de courant continu ou de circuit à courant continu.
- Dans le cas d'un courant alternatif, c'est-à-dire d'un circuit à courant alternatif, la tension et le courant changent de sens et d'intensité à intervalles réguliers.

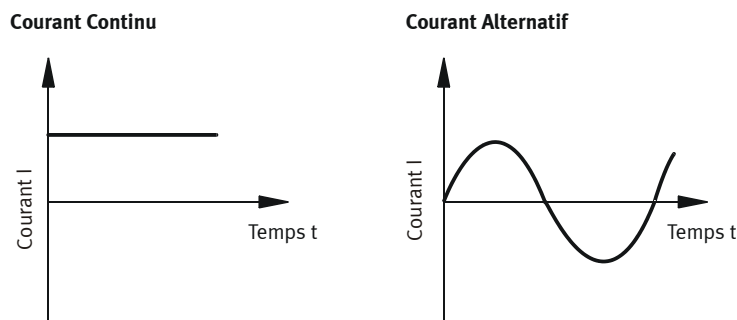


Figure 3.1 : évolution dans le temps d'un courant continu et d'un courant alternatif

La figure 3.2 illustre un circuit électrique simple à courant continu, composé d'une source de tension, de câbles électriques, d'un interrupteur et d'un récepteur (en l'occurrence une lampe à incandescence).

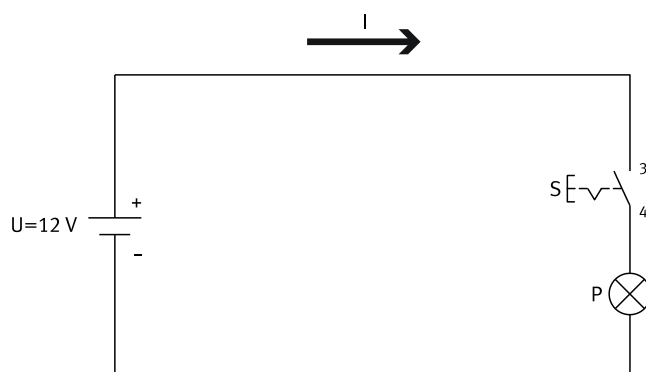


Figure 3.2 : circuit à courant continu

Sens conventionnel du courant

Lorsque l'interrupteur est fermé, le récepteur est traversé par un courant I . Les électrons transitent du pôle négatif vers le pôle positif de la source de tension. Avant de découvrir l'existence des électrons, on considérait que le courant allait du « plus » vers le « moins ». Ce sens est encore utilisé dans la pratique. Il est appelé « sens conventionnel du courant électrique ».

3.2 Résistance électrique et puissance électrique

3.2.1 Conducteur électrique

Le courant électrique renvoie au déplacement de porteurs de charge dans un sens précis. Pour qu'un courant puisse circuler dans un matériau, il faut que celui-ci comporte suffisamment d'électrons libres. C'est précisément le cas des matériaux qui sont « conducteurs ». Les métaux comme le cuivre, l'aluminium et l'argent font d'excellents conducteurs électriques. La technique de commande fait principalement appel à des conducteurs en cuivre.

3.2.2 Résistance électrique

Tous les matériaux, y compris les conducteurs électriques, opposent une résistance au passage du courant. Elle est due au fait que les électrons libres mobiles s'entrechoquent avec des atomes du matériau conducteur, ce qui entrave leur mouvement. Dans les matériaux conducteurs, la résistance est faible. Les matériaux qui opposent une résistance particulièrement élevée au passage du courant électrique sont appelés isolants. C'est notamment le cas des matériaux à base de caoutchouc et de matière plastique, qui servent à isoler les câbles électriques.

3.2.3 Loi d'Ohm

La loi d'Ohm a trait au rapport entre la tension, l'intensité et la résistance. Cette loi dit que dans un circuit électrique avec une résistance électrique donnée, l'intensité varie dans les mêmes proportions que la tension, c'est-à-dire que :

- si la tension augmente, l'intensité augmente également ;
- si la tension baisse, l'intensité diminue également.

$$U = R \cdot I$$

U	= tension	Unité : volt (V)
R	= résistance	Unité : ohm (Ω)
I	= intensité	Unité : ampère (A)

3.2.4 Puissance électrique

Dans le domaine de la mécanique, la puissance est définie par le travail qu'elle produit. Plus le travail est exécuté rapidement et plus la puissance requise est importante. La puissance correspond donc à la formule suivante : travail par unité de temps.

Les récepteurs d'un circuit électrique servent à convertir l'énergie électrique en énergie cinétique (par ex. rotation d'un moteur électrique), en rayonnement lumineux (par ex. lampe) ou en énergie thermique (par ex. chauffage électrique, lampe). Plus la transformation de l'énergie est rapide et plus la puissance électrique est importante. La puissance correspond alors à la formule suivante : transformation d'énergie par unité de temps. Elle augmente au gré du courant et de la tension.

La puissance électrique d'un récepteur est aussi appelée puissance absorbée.

$$P = U \cdot I$$

P	= puissance	Unité : watt (W)
U	= tension	Unité : volt (V)
I	= intensité	Unité : ampère (A)

Exemple d'application : puissance électrique d'une bobine

La bobine d'un distributeur pneumatique (par ex. électrodistributeur 4/2 de la station manutention) est alimentée par une tension continue de 24 V. La résistance de la bobine s'élève à 60 Ω .

- Pouvez-vous calculer la puissance absorbée de la bobine ?

Commençons par déterminer l'intensité à l'aide de la loi d'Ohm :

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24 \text{ V}}{60 \Omega} = 0,4 \text{ A}$$

La puissance absorbée est égale au produit de l'intensité et de la tension :

$$P = U \cdot I = 24 \text{ V} \cdot 0,4 \text{ A} = 9,6 \text{ W}$$

La puissance absorbée de cette bobine est de 9,6 W.

3.3 Mode de fonctionnement d'un pilote électrique (électro-aimant)

Un champ magnétique se forme systématiquement autour d'un conducteur électrique traversé par un courant. Plus l'intensité est élevée et plus ce champ magnétique est important. Les champs magnétiques exercent une force d'attraction sur les pièces en fer, en nickel ou en cobalt. Plus le champ magnétique est intense et plus cette force est importante.

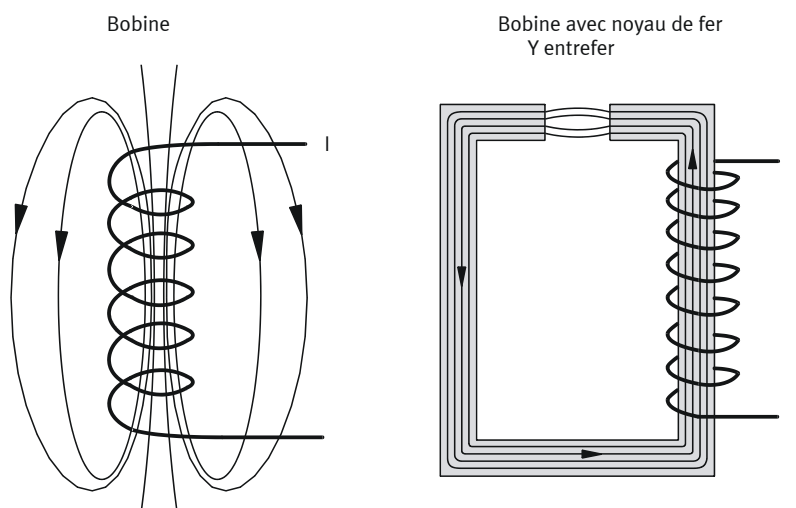


Figure 3.3 : bobine électrique avec et sans noyau de fer et lignes de champ magnétique correspondantes

3.3.1 Structure d'un pilote électrique

Un pilote électrique se compose des éléments suivants :

- Le conducteur traversé par le courant est enroulé sous forme de bobine (bobine à air). La superposition des lignes de champ magnétique de toutes les spires de la bobine (voir fig. 3.3) renforce le champ magnétique.
- On insère un noyau de fer à l'intérieur de la bobine. Le fer est également magnétisé lorsqu'un courant électrique circule. Un courant de même intensité permet alors de générer un champ magnétique beaucoup plus important qu'avec une bobine à air.

Ces deux mesures permettent au pilote électrique d'exercer une force élevée sur les pièces contenant du fer moyennant une faible intensité électrique.

3.3.2 Utilisations des pilotes électriques

Dans le cas des commandes électropneumatiques, les pilotes électriques servent principalement à influencer sur la position de commutation des distributeurs, relais ou contacteurs. Prenons l'exemple d'un distributeur à commande par déplacement à rappel par ressort :

- le piston du distributeur est actionné lorsqu'un courant électrique circule dans la bobine ;
- si le courant cesse de circuler, un ressort ramène le piston du distributeur à sa position initiale.

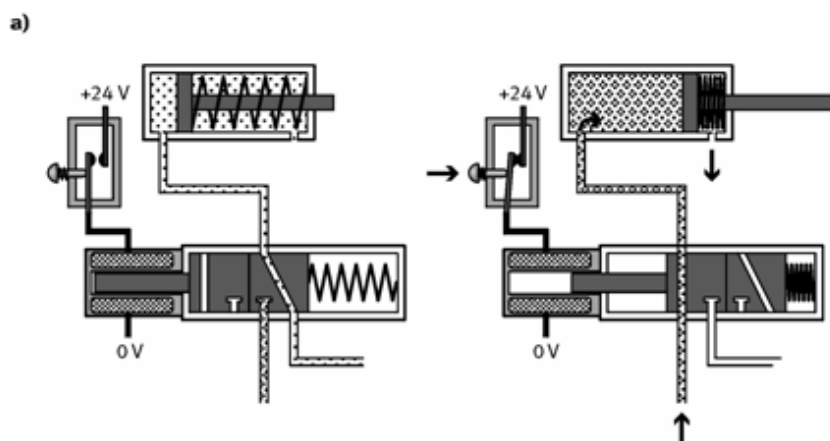


Figure 3.1 : mode de fonctionnement d'un électrodistributeur

3.4 Mode de fonctionnement d'un condensateur électrique

Un condensateur se compose de deux plaques conductrices (armatures) séparées par une couche isolante (diélectrique). Si l'on raccorde un condensateur à une source de tension continue (fermeture du commutateur à bouton-poussoir S1 dans la figure 3.5), un courant de charge se met à circuler temporairement. Les deux plaques sont donc chargées électriquement.

Si l'on coupe le raccordement à la source de tension (ouverture du commutateur à bouton-poussoir S1), le condensateur conserve sa charge. Plus la capacité d'un condensateur est élevée et plus il peut emmagasiner de porteurs de charge pour une tension donnée. La capacité C est une caractéristique importante d'un condensateur. Elle a trait au rapport entre la quantité de charge d'entrée Q et la tension U présente au niveau du condensateur :

$$C = \frac{Q}{U}$$

La capacité est exprimée en « farad » (F) :

$$1\text{ F} = 1 \frac{\text{As}}{\text{V}}$$

Si l'on raccorde un condensateur chargé électriquement à un récepteur (fermeture du commutateur à bouton-poussoir S2 dans la figure 3.5), il y a équilibrage des charges. Un courant électrique se met à circuler dans le récepteur jusqu'à ce que le condensateur soit totalement déchargé.

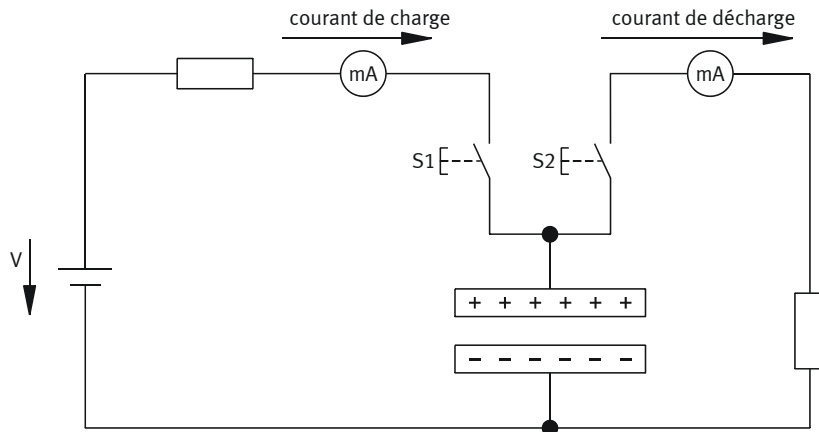


Figure 3.5 : mode de fonctionnement d'un condensateur

3.5 Mode de fonctionnement d'une diode

Les diodes sont des composants électriques semi-conducteurs, dont la résistance varie en fonction du sens de déplacement du courant :

- Si la diode est commutée dans le sens de passage, elle présente une résistance très faible et le courant électrique peut alors circuler quasiment sans être freiné.
- En revanche, elle ne permet pas au courant de circuler dans le sens de non-conduction, car elle lui oppose une résistance très élevée.

Si on monte une diode dans un circuit à courant alternatif, le courant ne peut donc circuler que dans un sens. Le courant électrique est ainsi « redressé » (voir figure 3.6).

L'effet d'une diode sur un courant électrique est comparable à celui d'une valve de roue de vélo, qui laisse passer l'air en direction de la chambre à air, mais l'empêche de sortir.

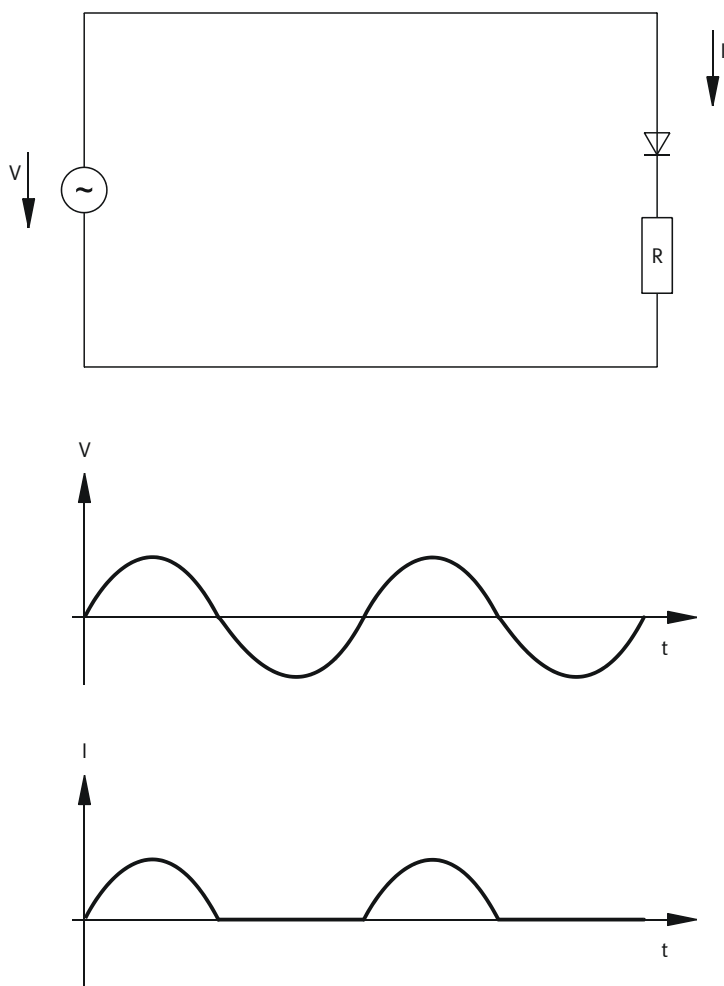


Figure 3.6 : mode de fonctionnement d'une diode

3.6 Mode de fonctionnement et structure des commutateurs

Les commutateurs servent à faire circuler et à couper le courant dans un circuit électrique. Ces commutateurs peuvent adopter diverses formes : commutateur à bouton-poussoir ou interrupteur.

- Dans le cas d'un commutateur à bouton-poussoir, la position de commutation sélectionnée est maintenue tant que ce dernier est actionné. Les commutateurs à bouton-poussoir sont par exemple utilisés pour les sonnettes de maison.
- Dans le cas des interrupteurs, les deux positions de commutation (MARCHE/ARRÊT) sont verrouillées par voie mécanique. La position de commutation est donc maintenue jusqu'à ce que l'interrupteur soit de nouveau actionné. Les interrupteurs d'éclairage constituent un bon exemple d'application.

L'état de commutation au repos, c'est-à-dire lorsque les commutateurs ne sont pas actionnés, constitue un critère de classification et de sélection supplémentaire.

3.6.1 Contact à fermeture

Dans le cas d'un contact à fermeture (appelé aussi « contact de travail » ou contact NO, *Normally Open*), le circuit électrique est coupé lorsque le commutateur à bouton-poussoir est en position de repos.

L'actionnement du commutateur permet de fermer le circuit électrique, et donc d'alimenter le récepteur.

Lorsque le commutateur à bouton-poussoir est relâché, il revient en position de repos sous l'action du ressort, de manière à couper le circuit.

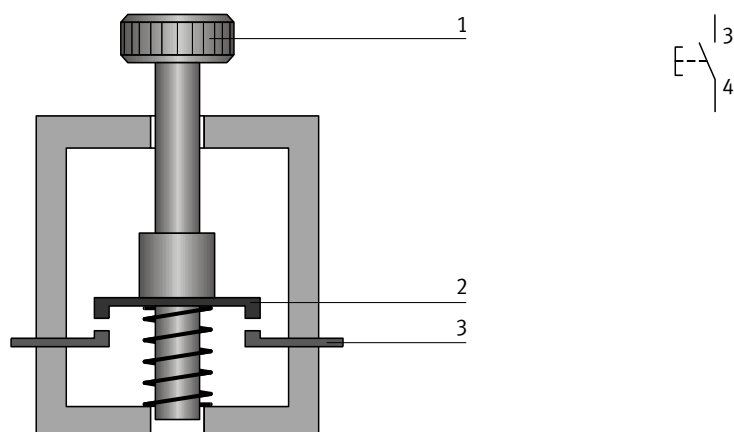


Figure 3.7 : contact à fermeture – dessin en coupe et symbole

3.6.2 Contact à ouverture

Dans le cas d'un contact à ouverture (appelé aussi « contact de repos » ou contact NC, *Normally Closed*), le circuit électrique est fermé par la force du ressort lorsque le commutateur à bouton-poussoir est en position de repos. Il est coupé lorsque le commutateur à bouton-poussoir est actionné.

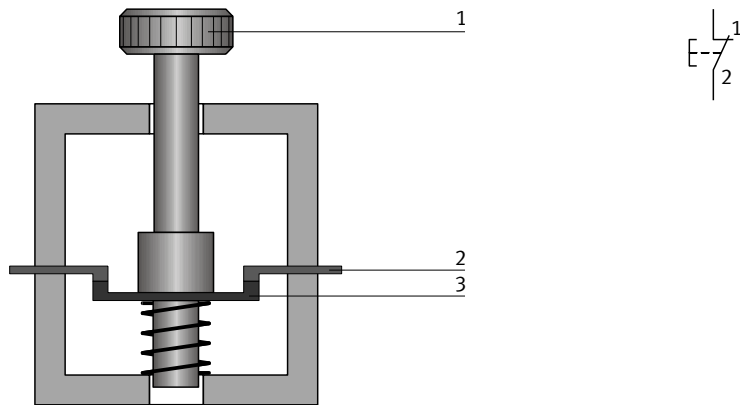


Figure 3.8 : contact à ouverture – dessin en coupe et symbole

3.6.3 Inverseur

L'inverseur réunit les fonctions d'un contact à ouverture et d'un contact à fermeture. Les inverseurs servent à fermer un circuit électrique et à en ouvrir un autre en une seule opération de commutation. Les deux circuits sont coupés pendant un court instant lors du basculement.

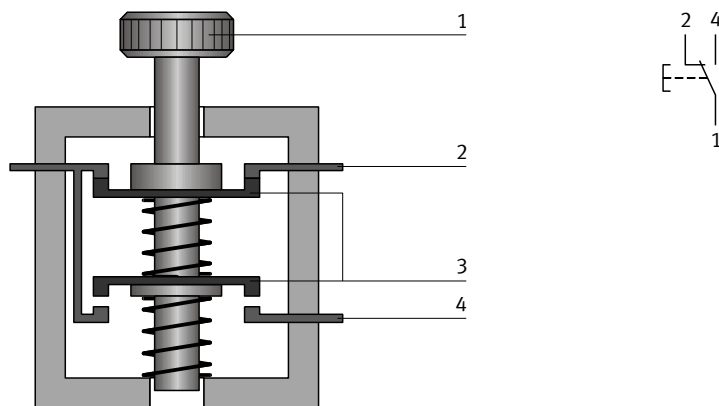


Figure 3.9 : inverseur – dessin en coupe et symbole

3.7 Relais et contacteurs

3.7.1 Applications des relais

Les commandes électropneumatiques utilisent des relais pour les fonctions suivantes :

- multiplication de signal,
- temporisation et conversion de signaux,
- établissement de relations entre des informations,
- séparation du circuit de courant de pilotage du circuit de courant principal.

Dans les commandes purement électriques, ils servent également à séparer les circuits à courant continu des circuits à courant alternatif.

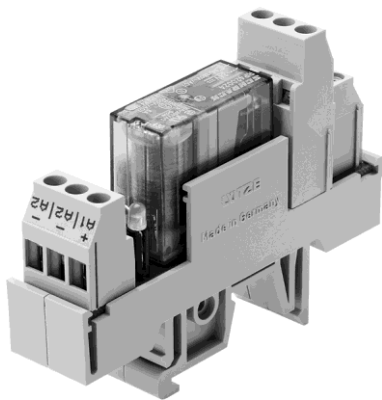


Figure 3.10 : relais

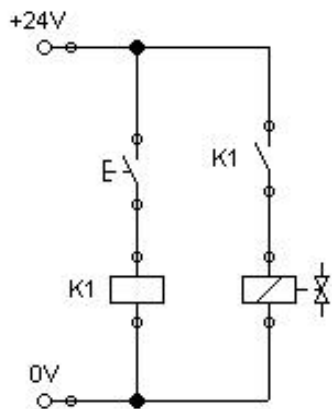


Figure 3.11 : schéma d'ensemble d'un circuit basique à relais

3.7.2 Structure d'un relais

Un relais est un commutateur à commande électromagnétique dédié à la séparation galvanique entre le circuit de courant de pilotage et le circuit électrique piloté. Il se compose principalement d'une bobine avec noyau de fer (voir (3), (1) dans la figure 3.12), d'un élément de commande mécanique appelé induit (4), d'un ressort de rappel (2) et de contacts de commutation (6). Un champ électromagnétique se forme en présence de tension au niveau de la bobine du pilote électrique. L'induit mobile est alors attiré vers le noyau de la bobine. L'induit agit sur les contacts du relais, lesquels s'ouvrent ou se ferment en fonction de leur configuration. Si le flux de courant s'interrompt au niveau de la bobine, un ressort ramène l'induit à sa position initiale.

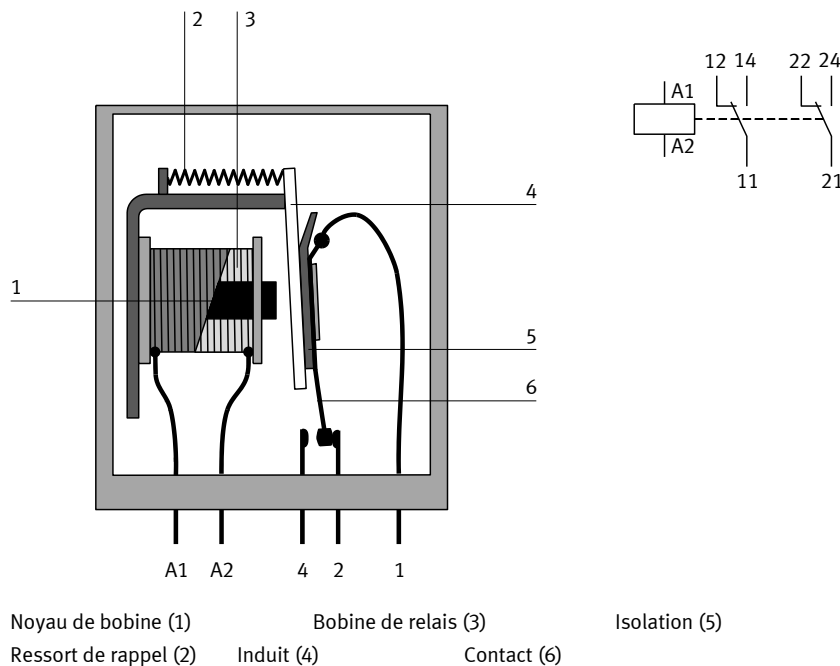


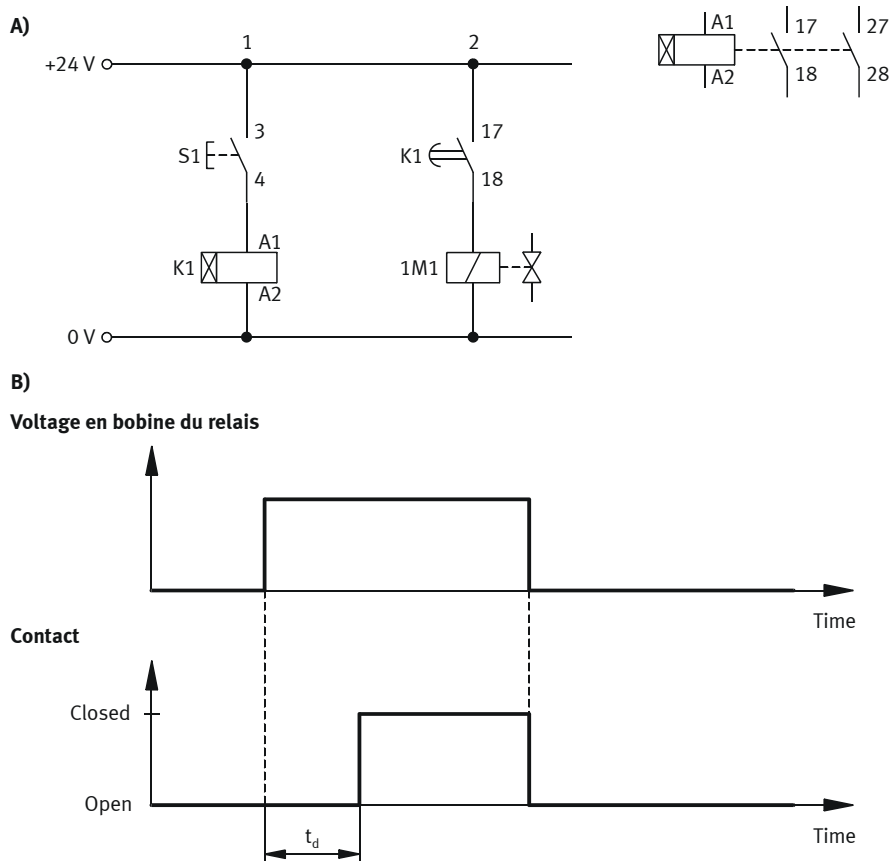
Fig. 3.12 : relais – dessin en coupe et symbole

Une bobine de relais peut commuter un ou plusieurs contacts. Outre le type de relais décrit ci-dessus, il existe d'autres modèles de commutateurs à commande électromagnétique, comme les relais rémanents, les relais temporisés et les contacteurs.

3.7.3 Relais temporisé

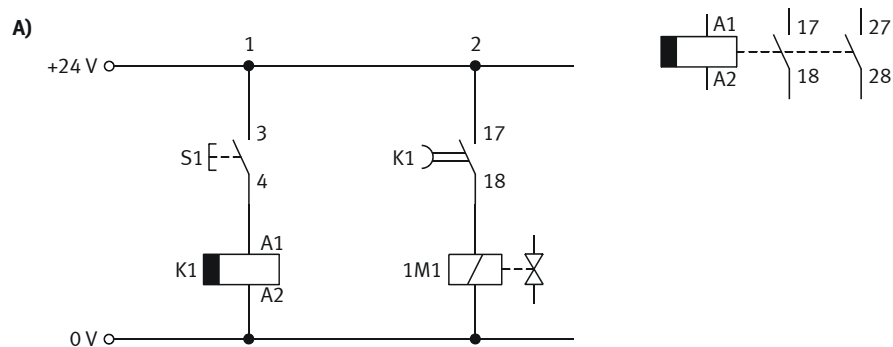
Parmi les relais temporisés, on distingue les relais temporisés à l'attraction (travail) et les relais temporisés à la retombée (repos).

Dans le cas d'un relais temporisé à l'attraction, l'induit est activé au bout d'un laps de temps défini t_v , tandis que sa retombée a lieu immédiatement. Dans le cas d'un relais temporisé à la retombée, c'est l'inverse. Il en va de même pour la commutation des contacts (voir fig. 3.13/3.14). La durée de temporisation t_v est réglable.



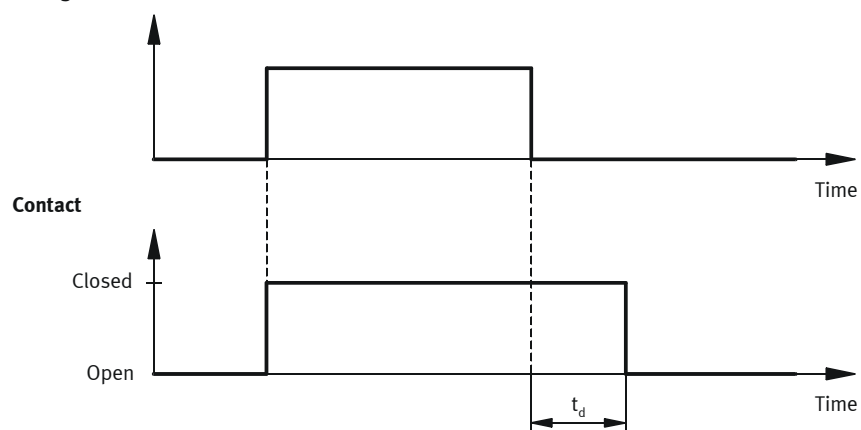
a) Représentation dans le schéma d'ensemble b) Évolution du signal

Figure 3.13 : relais temporisé à l'attraction



B)

Voltage en bobine du relais



a) Représentation dans le schéma d'ensemble

b) Évolution du signal

Figure 3.14 : relais temporisé à la retombée

3.8 Fonction et structure du bloc d'alimentation

Les commandes sont alimentées par le réseau électrique. C'est la raison pour laquelle la commande MecLab® est équipée d'un bloc d'alimentation (voir figure 3.15). Les divers modules du bloc d'alimentation ont les fonctions suivantes :

- Le transformateur sert à réduire la tension de service. L'entrée du transformateur est soumise à la tension d'alimentation (par ex. tension alternative de 230 V), tandis que sa sortie présente une tension réduite (par ex. tension alternative de 24 V).
- Le redresseur sert à transformer la tension alternative en une tension continue. Le condensateur, situé à la sortie du redresseur, lisse la tension.
- La régulation de la tension à la sortie du bloc d'alimentation est indispensable pour maintenir une tension constante indépendamment du courant qui circule.

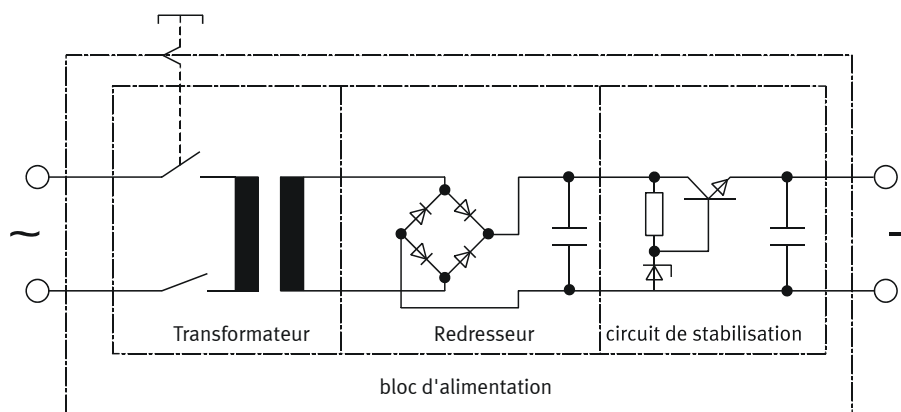


Figure 3.15 : modules du bloc d'alimentation d'une commande électropneumatique



Consignes de sécurité

- Les installations haute tension comportent des blocs d'alimentation, du fait de leur tension d'entrée élevée (DIN/VDE 100).
- Il convient de respecter les consignes de sécurité applicables aux installations haute tension.

Toute intervention au niveau d'un bloc d'alimentation doit être exclusivement confiée à des personnes dûment habilitées !

3.9 Mesure dans un circuit électrique

La mesure a trait à la comparaison entre une grandeur inconnue (par ex. la longueur d'un vérin pneumatique) et une grandeur connue (par ex. les graduations d'un mètre à ruban). Les appareils de mesure (par ex. mètre en acier) servent à effectuer ces comparaisons. Le résultat, c'est-à-dire la valeur de mesure, se compose d'une valeur numérique associée à une unité (par ex. 30,4 cm).

Les courants électriques, tensions et résistances sont la plupart du temps mesurés à l'aide de multimètres. Ces appareils de mesure offrent plusieurs modes de fonctionnement différents :

- Tension alternative/courant alternatif et tension continue/courant continu.
- Mesure de courant, de tension et de résistance.

Pour que les mesures soient correctes, il faut non seulement que le mode de fonctionnement soit bien réglé, mais aussi que l'appareil soit correctement raccordé au circuit électrique.

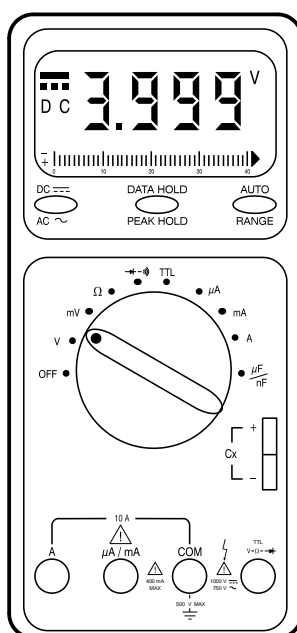


Figure 3.16 : multimètre



Consignes de sécurité

- Il convient de s'assurer, avant d'effectuer la mesure, que la tension de la section de la commande sur laquelle le relevé doit être effectué n'est pas supérieure à 24 V !
- Toute mesure sur des sections de la commande dont la tension de service est supérieure (par ex. 230 V) ne peut être effectuée que par des personnes dûment qualifiées ou formées à cet effet.
- Toute mesure réalisée de façon inadéquate peut présenter des risques de mort !

3.9.1 Procédure de mesure dans un circuit électrique

Pour effectuer une mesure dans un circuit électrique, procéder dans l'ordre suivant :

- Couper la tension d'alimentation du circuit.
- Régler le mode de fonctionnement qui convient sur le multimètre (mesure de courant ou de tension, tension continue ou alternative, mesure de résistance).
- Contrôler le point zéro si l'instrument de mesure comporte une aiguille et le régler si nécessaire.
- En cas de mesure de courant continu/de tension continue, respecter la polarité de raccordement de l'appareil (borne « + » de l'appareil reliée au pôle positif de la source de tension).
- Sélectionner le calibre de mesure le plus grand.
- Mettre le circuit sous tension.
- Observer l'aiguille ou l'écran et basculer graduellement sur les calibres inférieurs.
- Relever le résultat lorsque la déviation de l'aiguille est la plus importante (c'est-à-dire lorsque le calibre de mesure est le plus petit possible).
- Systématiquement se placer à la verticale des instruments à aiguille pour éviter les erreurs de lecture (erreur de parallaxe).

Mesure de tension

Dans le cas d'une mesure de tension, l'appareil de mesure est raccordé en parallèle au récepteur. La chute de tension au niveau du récepteur correspond à la chute de tension au niveau de l'appareil de mesure. Chaque appareil de mesure de tension (voltmètre) est doté d'une résistance interne. Pour que le résultat de mesure soit le plus fiable possible, l'appareil de mesure ne doit être traversé que par un courant très faible, c'est-à-dire que la résistance interne du voltmètre doit être la plus importante possible.

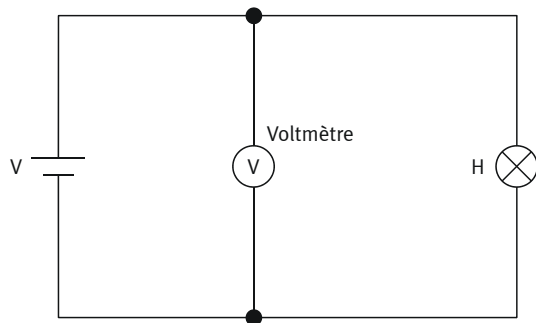


Figure 3.17 : mesure de tension

Mesure de courant

Dans le cas d'une mesure de courant, l'appareil doit être branché en série avec le récepteur. Il est ainsi traversé par la totalité du courant du récepteur.

Chaque appareil de mesure du courant (ampèremètre) est doté d'une résistance interne. Cette résistance supplémentaire réduit le flux de courant. Pour minimiser les erreurs de mesure, l'appareil de mesure du courant doit être doté d'une résistance interne très faible.

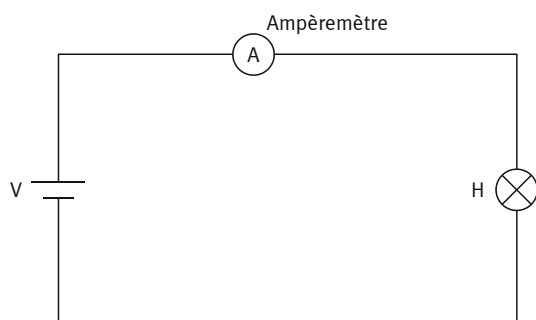


Figure 3.18 : mesure de courant

Mesure de résistance

La résistance d'un récepteur électrique au sein d'un circuit à courant continu peut être mesurée soit directement, soit indirectement.

- La mesure indirecte consiste à mesurer le courant qui traverse le récepteur et la chute de tension au niveau du récepteur (figure 3.19a). Il est possible d'effectuer les deux mesures soit simultanément, soit l'une à la suite de l'autre. La résistance est ensuite calculée à l'aide de la loi d'Ohm.
- Dans le cas d'une mesure directe, le récepteur est isolé du reste du circuit (figure 3.19b). L'appareil de mesure est réglé en mode « mesure de résistance » et relié aux deux bornes du récepteur. Il suffit de relever directement la valeur de résistance sur l'appareil de mesure.

Si le récepteur est défectueux (par exemple si la bobine d'un distributeur a « grillé »), la mesure de résistance se traduit soit par une valeur infinie, soit par une valeur nulle (court-circuit).

Attention

La résistance ohmique d'un récepteur dans un circuit à courant alternatif doit être déterminée par mesure directe !

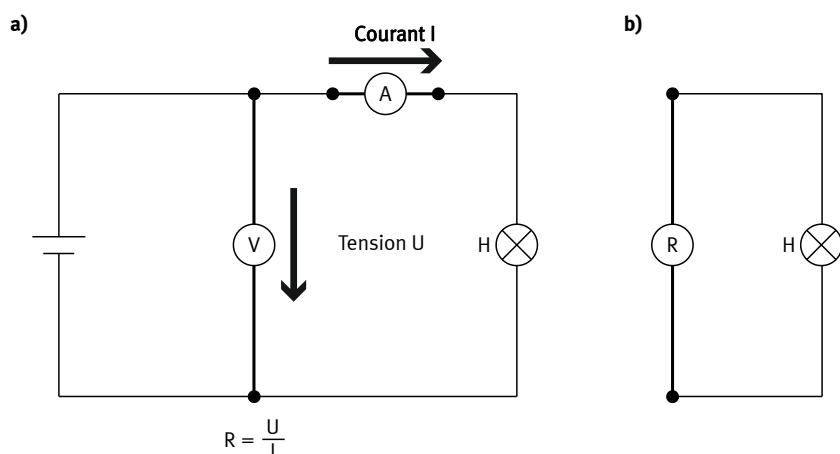


Figure 3.19 : mesure de résistance

4 Capteurs

Les capteurs servent à détecter des informations et à les transmettre au module de traitement des signaux sous une forme exploitable. Ils ont des usages très variés dans le domaine technique, se déclinent en plusieurs modèles et utilisent différents principes de fonctionnement. Il est donc important de les caractériser. Les capteurs peuvent notamment être classés en fonction des critères suivants :

- principe de fonctionnement (optique, inductif, mécanique, fluidique, ...) ;
- valeur mesurée (course, pression, distance, température, valeur de pH, intensité lumineuse, présence d'objets, ...) ;
- signal de sortie (analogique, numérique, binaire, ...).

La technique d'automatisation fait principalement appel à des capteurs avec sortie numérique, car ces derniers sont beaucoup moins sensibles aux perturbations que les capteurs avec sortie analogique. En outre, les commandes numériques peuvent traiter directement ces signaux, sans avoir à les convertir d'abord en signaux numériques par le biais d'un convertisseur analogique-numérique, comme c'est le cas avec les signaux analogiques.

En matière d'automatisation industrielle, les capteurs les plus fréquemment utilisés sont les capteurs dits « de proximité », qui servent à détecter la présence (ou l'approche) d'une pièce.

4.1 Capteurs de proximité

Les capteurs de proximité fonctionnent sans contact et ne nécessitent pas d'action mécanique extérieure. Ils se caractérisent donc par leur grande longévité et leur fiabilité élevée. On distingue les types suivants :

- Capteurs avec contact de commutation mécanique
 - Capteurs à contact Reed
- Capteurs avec sortie de commande électronique
 - Capteurs de proximité inductifs
 - Capteurs de proximité capacitifs
 - Capteurs de proximité optiques

4.1.1 Capteurs magnétiques

Les capteurs à contact Reed sont des capteurs de proximité à commande magnétique. Ils se composent de deux languettes de contact situées dans un petit tube de verre rempli de gaz protecteur. Un aimant permet de former un contact entre les deux languettes pour que le courant puisse circuler (voir figure 4.1). Dans le cas des capteurs à contact Reed à ouverture, les languettes de contact sont précontraintes par de petits aimants. Cette précontrainte est surmontée par les aimants de commande, qui sont nettement plus puissants.

Les capteurs à contact Reed se caractérisent par leur grande longévité et leur durée de commutation réduite (0,2 ms environ). Ils ne nécessitent pas de maintenance mais ne peuvent pas être utilisés dans les zones soumises à des champs magnétiques intenses (par ex. à proximité des machines de soudage par résistance ou des tomographes numériques).

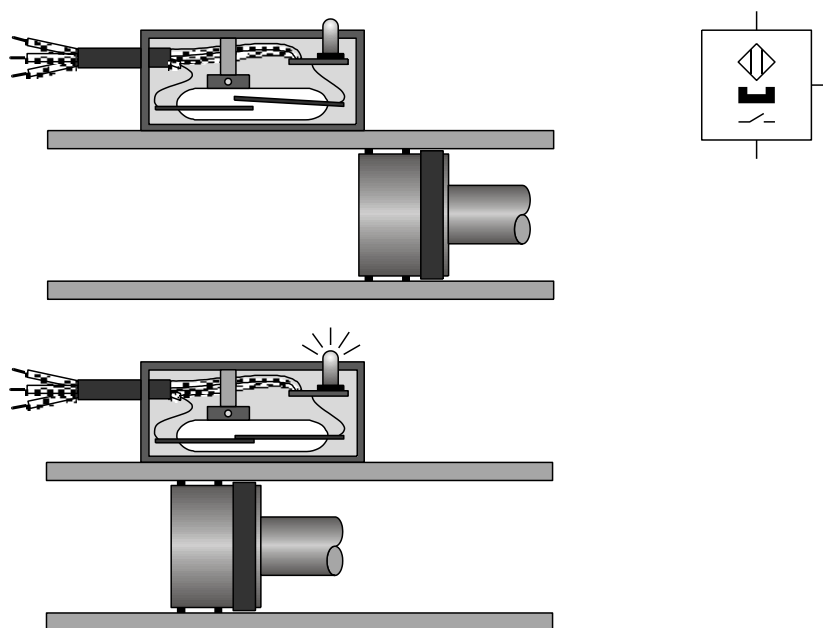


Figure 4.1 : capteur à contact Reed (à fermeture) – schéma de principe et symbole



Figure 4.2 : capteur à contact Reed – image réelle

4.1.2 Capteurs électroniques

Les capteurs de proximité inductifs, optiques et capacitifs comptent tous parmi les capteurs électroniques. Ils comportent généralement trois raccordements :

- le raccordement de la tension d'alimentation,
- le raccordement de la masse,
- le raccordement du signal de sortie.

Les capteurs électroniques sont dépourvus de contact mobile. C'est la sortie électrique qui est soit reliée à la tension d'alimentation, soit mise à la masse (tension de sortie = 0 V).

On distingue deux modèles de capteurs de proximité électroniques, en fonction de la polarité du signal de sortie :

- Dans le cas des capteurs électroniques à commutation positive, la tension de sortie est nulle (ARRÊT) en l'absence de pièce dans la zone de détection. L'approche d'une pièce fait basculer la sortie (MARCHE), qui passe alors sur la tension d'alimentation.
- Dans le cas de capteurs à commutation négative, la sortie relaie la tension d'alimentation en l'absence de pièce dans la zone de détection. À l'approche d'une pièce, la sortie bascule et passe sur une tension de 0 V.

4.1.3 Capteurs de proximité inductifs

Un capteur de proximité inductif est composé d'un circuit électrique oscillant (1), d'une bascule (2) et d'un amplificateur (3) (voir figure 4.3). En présence de tension au niveau des raccords, le circuit oscillant génère un champ magnétique alternatif (haute fréquence) au niveau de la face du capteur.

L'arrivée d'un conducteur électrique dans le champ alternatif provoque une « atténuation » du circuit oscillant. Le circuit électronique situé en aval, composé de la bascule et de l'amplificateur, analyse les réactions du circuit oscillant et actionne la sortie en conséquence.

Les capteurs de proximité inductifs peuvent détecter tous les matériaux conducteurs, comme les métaux ou le graphite.

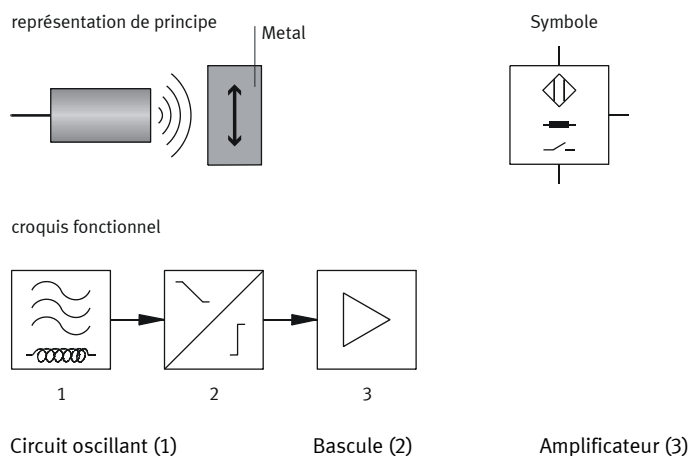


Figure 4.3 : capteur de proximité inductif – principe, fonction, symbole



Figure 4.4 : capteur inductif – illustration

4.1.4 Capteurs de proximité capacitifs

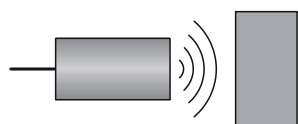
Un capteur de proximité capacitif est composé d'une résistance électrique (R) et d'un condensateur (C) qui forment un circuit oscillant RC, ainsi que d'un circuit électronique d'analyse de l'oscillation.

Un champ électrostatique s'établit entre l'électrode active et l'électrode de masse du condensateur. Un champ de dispersion se forme à la surface du capteur. Dès qu'un objet est amené dans ce champ de dispersion, il modifie la capacité du condensateur (voir figure 4.5).

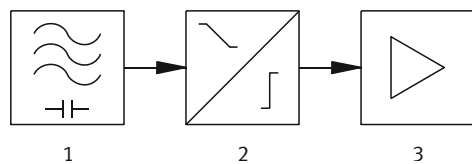
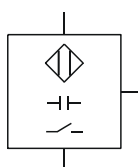
L'atténuation du circuit oscillant provoque la commutation de la sortie sous l'action du circuit électronique situé en aval.

Les capteurs de proximité capacitifs ne réagissent pas seulement à la présence de matériaux fortement conducteurs (comme les métaux) mais également à celle de tous les isolants dont la constante diélectrique est importante, tels que les matières plastiques, le verre, la céramique, les fluides et le bois.

principe de fonctionnement



Symbole



Circuit oscillant (1)

Bascule (2)

Amplificateur (3)

Figure 4.5 : capteur de proximité capacitif– principe, fonction, symbole

4.1.5 Capteurs de proximité optiques

Les capteurs de proximité optiques comportent systématiquement un émetteur et un récepteur. Ils mettent en œuvre des éléments optiques (lumière rouge ou infrarouge) ainsi que des composants et des modules électroniques pour détecter tout objet situé entre l'émetteur et le récepteur.

Les diodes électroluminescentes (LED) semi-conductrices sont des émetteurs de lumière rouge et infrarouge particulièrement fiables. Elles sont petites, robustes, compétitives, durables et faciles à installer dans des systèmes techniques. La lumière rouge présente l'avantage de pouvoir être vue sans équipement auxiliaire lors de l'alignement (ajustement) des axes optiques des capteurs de proximité.

Les éléments récepteurs des capteurs de proximité optiques sont généralement des photodiodes ou des phototransistors.

On distingue trois types de capteurs de proximité optiques :

- barrière à transmission,
- barrière à réflexion,
- détecteur à réflexion.

Barrière à transmission

La barrière à transmission se caractérise par des unités d'émission et de réception réparties dans l'espace. Les composants sont agencés de telle sorte que la lumière de l'émetteur est directement orientée vers le récepteur (par ex. phototransistor) (voir figure 4.6). Dès lors qu'un objet, une pièce ou même une personne s'intercale entre l'émetteur et le récepteur, le faisceau lumineux est coupé et un signal se déclenche, provoquant la commutation de la sortie (MARCHE/ARRÊT).

principe de fonctionnement

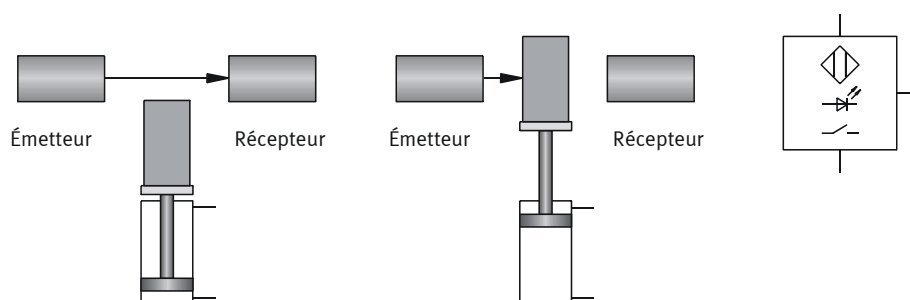


Figure 4.6 : barrière à transmission – schéma de principe et symbole

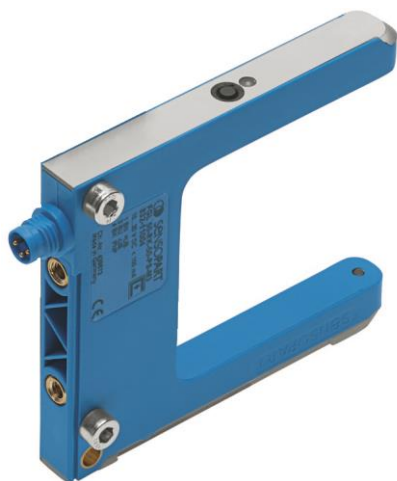
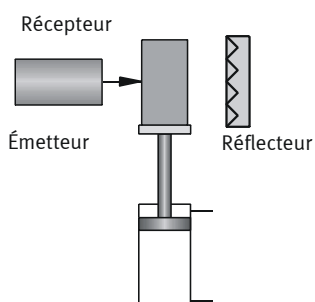
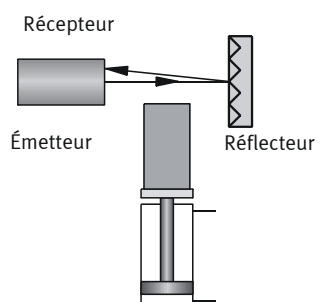


Figure 4.7 : barrière lumineuse fourchue

Barrière à réflexion

Dans le cas d'une barrière à réflexion, l'émetteur et le récepteur sont agencés l'un à côté de l'autre dans un boîtier. Le réflecteur répercute la lumière de l'émetteur sur le récepteur. Il est monté de manière à réfléchir presque intégralement le faisceau lumineux de l'émetteur vers le récepteur. Dès lors qu'un objet, une pièce ou même une personne s'intercale entre l'émetteur et le réflecteur, le faisceau lumineux est coupé et un signal se déclenche, provoquant la commutation de la sortie (MARCHE/ARRÊT).

principe de fonctionnement



Symbole

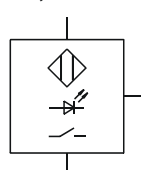
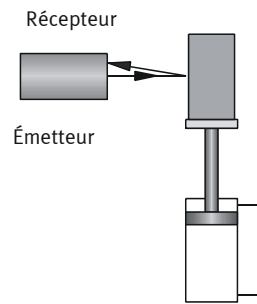
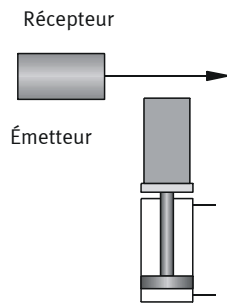


Figure 4.8 : barrière à réflexion – schéma de principe et symbole

Détecteur à réflexion

L'émetteur et le récepteur du détecteur à réflexion sont situés l'un à côté de l'autre au sein d'un même composant. À la différence de la barrière à réflexion, le détecteur à réflexion est dépourvu de réflecteur distinct. Il utilise le pouvoir de réflexion de l'objet ou de la pièce qui arrive dans la plage d'émission. Lorsque la lumière parvient sur un support réfléchissant, elle est déviée vers le récepteur et la sortie du détecteur est commutée. Du fait de son principe de fonctionnement, un détecteur à réflexion ne peut être utilisé que si la pièce ou l'organe de la machine à détecter présente un haut pouvoir de réflexion (surface métallique, couleur claire).

principe de fonctionnement



Symbole

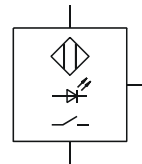


Figure 4.9 : détecteur à réflexion – schéma de principe et symbole

4.2 Capteurs de pression

Les capteurs de pression se déclinent en divers types :

- manocapteurs mécaniques avec signal de sortie binaire,
- manocapteurs électroniques avec signal de sortie binaire,
- capteurs de pression électroniques avec signal de sortie analogique.

4.2.1 Manocapteurs mécaniques avec signal de sortie binaire

Dans le cas d'un manocapteur mécanique, la pression agit à la surface du piston. Si la force exercée par la pression est supérieure à la force du ressort, le piston se déplace et actionne les contacts des éléments de commutation.

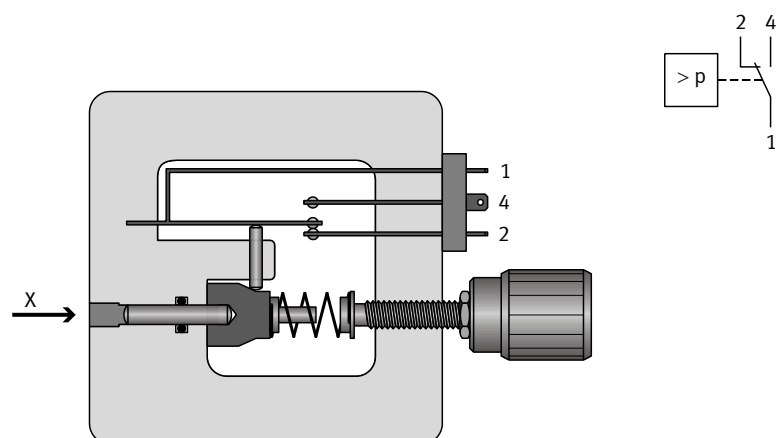


Figure 4.10 : manocapteur à piston – schéma de principe et symbole

4.2.2 Manocontacts électroniques avec signal de sortie binaire

Parmi les exemples types, citons les manocontacts à membrane, qui ne sont pas basés sur la commande mécanique d'un contact, mais sur la commutation électronique d'une sortie. À cet effet, la membrane est dotée de capteurs sensibles à la pression ou aux forces. Le signal du capteur est analysé par un circuit électronique. Dès que la pression dépasse un seuil prédéfini, la sortie est commutée.



Figure 4.11 : manocontact électronique et symbole

5 Principes de base pneumatiques

Le mot pneumatique vient du grec « pneuma » qui a de nombreuses acceptions, comme le vent ou le souffle. Dans le domaine technique, il a trait à l'utilisation d'air comprimé ou aux systèmes commandés par air comprimé. Du point de vue de la technique d'automatisation, une installation pneumatique moderne se compose des sous-systèmes suivants :

- production et fourniture de l'air comprimé (compresseur, refroidisseur, filtres) ;
- distribution de l'air comprimé (conduites, flexibles pneumatiques, accouplements) ;
- commande de l'air comprimé (régulateurs de pression, distributeurs, clapets) ;
- exécution du travail à l'aide de l'air comprimé (vérins, vireurs).

L'air comprimé est principalement employé pour des tâches mécaniques, c'est-à-dire pour exécuter des mouvements et produire des forces élevées.

Les entraînements pneumatiques servent à convertir l'énergie contenue dans l'air comprimé en énergie cinétique.

Les vérins sont les entraînements pneumatiques les plus répandus. Ils se caractérisent par leur robustesse, leur grande diversité de modèles, leur simplicité d'installation et leur bon rapport qualité/prix. Autant de raisons pour lesquelles les systèmes pneumatiques sont couramment utilisés dans les techniques actuelles. Les autres avantages sont les suivants :

Caractéristiques	Avantages de la pneumatique
Quantité	L'air est disponible quasiment partout, en quantité illimitée.
Transport	L'air peut très facilement être convoyé sur de longues distances moyennant des conduites.
Capacité de stockage	L'air peut être stocké dans un réservoir sous pression où il sera ensuite prélevé. Il existe en outre des réservoirs sous pression portables (bonbonnes).
Température	L'air comprimé est quasiment insensible aux variations de température. Il garantit un fonctionnement fiable des systèmes, y compris dans des conditions extrêmes.
Sécurité	L'air comprimé ne présente pas de risque d'incendie ou d'explosion.
Propreté	L'air comprimé non lubrifié ne pollue pas l'environnement.
Structure	Les organes de travail présentent une structure simple et sont donc économiques.
Vitesse	L'air comprimé est un fluide qui circule vite. Il peut déplacer des pistons avec une grande vitesse et se prête à une cadence rapide.
Protection contre les surcharges	Les outils et organes de travail pneumatiques peuvent être sollicités jusqu'à leur arrêt et ne présentent pas de risque de surcharge.

5.1 Principes physiques de base

L'air est un mélange gazeux dont la composition est la suivante :

- env. 78 % vol. d'azote
- env. 21 % vol. d'oxygène

Il contient également de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone, de l'argon, de l'hydrogène, du néon, de l'hélium, du krypton et du xénon, mais uniquement à l'état de traces.

Nous allons présenter, ci-après, quelques grandeurs physiques permettant de mieux assimiler les lois de fonctionnement de l'air. Les données indiquées sont issues du « système international d'unités », ou SI.

5.1.1 Unités de base

Grandeur	Symbole	Unité
Longueur	l	Mètre (m)
Masse	m	Kilogramme (kg)
Temps	t	Seconde (s)
Température	T	Kelvin (K, 0 °C = 273,15 K)

5.1.2 Unités dérivées

Grandeur	Symbole	Unité
Force	F	Newton (N), 1 N = 1 kg • m/s ²
Surface	A	Mètre carré (m ²)
Volume	V	Mètre cube (m ³)
Débit volumique	q _v	(m ³ /s)
Pression	p	Pascal (Pa) 1 Pa = 1 N/m ² 1 bar = 10 ⁵ Pa

5.1.3 Loi de Newton

Force = masse • accélération

$$F = m \cdot a$$

En cas de chute libre, on substitue à l'accélération « a » la valeur de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

5.1.4 Pression

1 Pa équivaut à la contrainte (pression) exercée par une force de 1 N qui agit perpendiculairement sur une surface de 1 m².

La pression qui règne à la surface de la terre est appelée pression atmosphérique (p_{amb}). Cette pression est aussi appelée pression de référence. Cette pression de référence délimite la plage de surpression ($p_e > 0$) et la plage de vide ($p_e < 0$) (dépression). La différence par rapport à la pression atmosphérique p_e peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$p_e = p_{abs} - p_{amb}$$

Ce rapport est illustré par le graphique suivant :

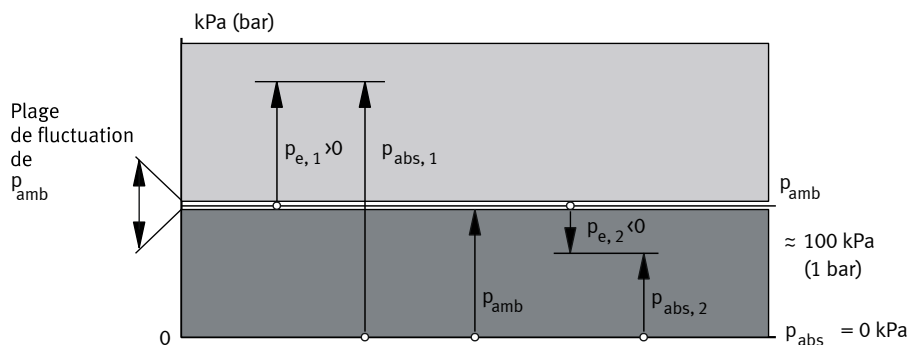


Figure 5.1 : pression de l'air

La pression atmosphérique n'est pas constante. Elle varie au gré de la position géographique et des conditions météorologiques.

La pression absolue p_{abs} renvoie à une pression par rapport au zéro absolu (vide). Elle est égale à la somme de la pression atmosphérique et de la surpression ou de la dépression. En réalité, les manomètres indiquent généralement la surpression p_e . La valeur de pression absolue p_{abs} est supérieure d'environ 100 kPa (1 bar).

Dans le domaine pneumatique, l'ensemble des données relatives à la quantité de l'air font généralement référence à un état dit « normal ». L'état normal, tel que défini par la norme DIN 1343, se rapporte à l'état d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz à une température et une pression normales.

- Température normale $T_n = 273,15 \text{ K}$, $t_n = 0 \text{ °C}$
- Pression normale $p_n = 101\,325 \text{ Pa} = 1,01325 \text{ bar}$

5.2 Propriétés de l'air

L'air se caractérise par sa très faible cohésion. Les forces qui agissent entre les molécules d'air sont donc négligeables dans les conditions de service usuelles des systèmes pneumatiques. L'air, tout comme l'ensemble des gaz, n'a pas de forme définie et il suffit de forces infimes pour la modifier. L'air occupe systématiquement tout l'espace disponible.

5.2.1 Loi de Boyle-Mariotte

L'air peut être comprimé (compression) et tend naturellement à se dilater (expansion). C'est précisément ces propriétés que décrit la loi de Boyle-Mariotte : le volume d'une quantité de gaz enfermée est, pour une température constante, inversement proportionnel à la pression absolue. En d'autres termes, le produit du volume par la pression absolue est constant pour une quantité de gaz donnée.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = p_3 \cdot V_3 = \text{konstant}$$

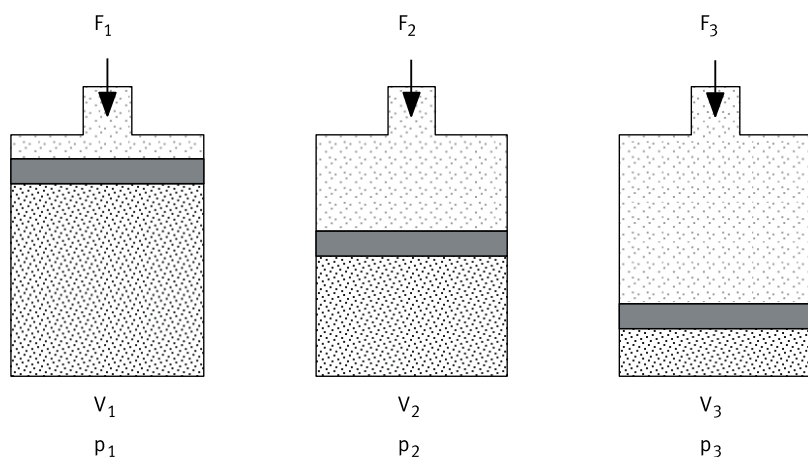


Figure 5.2 : loi de Boyle-Mariotte

Exemple de calcul

On comprime de l'air à pression atmosphérique à hauteur de 1/7 de son volume. Quelle sera la pression correspondante à une température constante ?

Solution

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{V_1}{V_2} \quad \text{Remarque : } \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{7}$$

$$p_1 = p_{\text{amb}} = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$$

$$p_2 = 1 \cdot 7 = 700 \text{ kPa} = 7 \text{ bars (absolue)}$$

$$\text{En conséquence : } p_e = p_{\text{abs}} - p_{\text{amb}} = (700 - 100) \text{ kPa} = 600 \text{ kPa} = 6 \text{ bars}$$

Un compresseur qui génère une surpression de 600 kPa (6 bars) présente un taux de compression de 7:1.

5.2.2 Loi de Gay-Lussac

L'air se dilate, à pression constante, de 1/273 de son volume lorsqu'il subit un échauffement de 1 °K à une température de 273 °K. La loi de Gay-Lussac énonce le principe suivant : le volume d'une quantité de gaz enfermée est proportionnel à la température absolue tant que la pression ne varie pas.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad V_1 = \text{volume à } T_1, V_2 = \text{volume à } T_2$$

ou

$$\frac{V}{T} = \text{constante}$$

$$\text{La variation de volume } \Delta V \text{ est la suivante : } \Delta V = V_2 - V_1 = V_1 \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_1}$$

$$\text{Pour } V_2 : V_2 = V_1 + \Delta V = V_1 + \frac{V_1}{T_1} (T_2 - T_1)$$

Les équations ci-dessus ne sont valables qu'avec des températures en K. Avec des températures en °C, la formule est la suivante :

$$V_2 = V_1 + \frac{V_1}{273^\circ\text{C} + T_1} (T_2 - T_1)$$

Exemple de calcul

Un volume d'air de $0,8 \text{ m}^3$ à une température $T_1 = 293 \text{ °K}$ (20 °C) subit un échauffement qui le porte à une température $T_2 = 344 \text{ °K}$ (71 °C). Quelle sera sa dilatation ?

$$V_2 = 0,8 \text{ m}^3 + \frac{0,8 \text{ m}^3}{293 \text{ K}} (344 \text{ K} - 293 \text{ K})$$

$$V_2 = 0,8 \text{ m}^3 + 0,14 \text{ m}^3 = 0,94 \text{ m}^3$$

L'air se dilate de $0,14 \text{ m}^3$ pour atteindre un volume de $0,94 \text{ m}^3$.

Si le volume est maintenu à un niveau constant au cours de l'échauffement, l'augmentation de la pression obéit à la formule suivante :

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

ou

$$\frac{p}{T} = \text{constante}$$

5.2.3 Équation générale des gaz

L'équation générale des gaz énonce les lois fondamentales comme suit :

Lorsqu'une quantité de gaz est enfermée, le produit de la pression par le volume divisé par la température absolue est constant.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{constante}$$

L'équation générale des gaz permet d'énoncer les lois ci-dessus à condition qu'un facteur reste constant (p , V ou T) sur les trois.

- Pression p constante ➔ variations isobares
- Volume V constant ➔ variations isochores
- Température T constante ➔ variations isothermes

5.3 Composantes d'une commande pneumatique et fonctions afférentes

Compresseurs

Les circuits d'air comprimé sont alimentés par des compresseurs à vis ou à piston. Leur pression de sortie est de l'ordre de 700 à 800 kPa (7 à 8 bars). Ils garantissent ainsi une pression de service minimale de 600 kPa (6 bars) au niveau des vérins en cas de défauts d'étanchéité (points de fuite par lesquels l'air s'échappe de manière intempestive) et de pertes de charge dans les conduites.

Filtres pour air comprimé

Les filtres pour air comprimé sont implantés en amont de l'installation pneumatique. Ils sont soit communs à l'ensemble de l'installation, soit décentralisés. Ils servent à éliminer les particules d'impuretés et les condensats. Une filtration correcte de l'air comprimé contribue de manière significative à la longévité des éléments qui sont raccordés en aval.

Manodétendeur

Le manodétendeur sert à régler le niveau de pression nécessaire aux différentes parties de l'installation. Il compense les fluctuations qui se produisent dans le circuit d'air comprimé. La pression ainsi réglée demeure constante dès lors que la pression à l'entrée du détendeur est supérieure d'au moins 50 kPa (0,5 bar) à la pression théorique souhaitée.

Distributeurs de mise en circuit

Il s'agit de sectionneurs qui séparent les différents circuits d'air comprimé.

Distributeurs de commande

Ils servent à bloquer le passage de l'air comprimé et à le transmettre aux organes de travail au moment opportun. Une interconnexion adéquate des éléments est indispensable pour garantir la sécurité et la fiabilité de l'installation.

Distributeurs de puissance

Ces distributeurs servent à alimenter les vérins avec la quantité d'air comprimé requise. Leur taille est fonction du diamètre du vérin.

Vérins

Les vérins pneumatiques sont des organes de travail robustes, caractérisés par une grande longévité et une faible propension aux pannes. Ils peuvent atteindre des vitesses élevées dès lors qu'ils sont correctement dimensionnés. Ils font preuve de fiabilité à condition que l'installation soit bien conçue et que le montage soit correctement effectué.

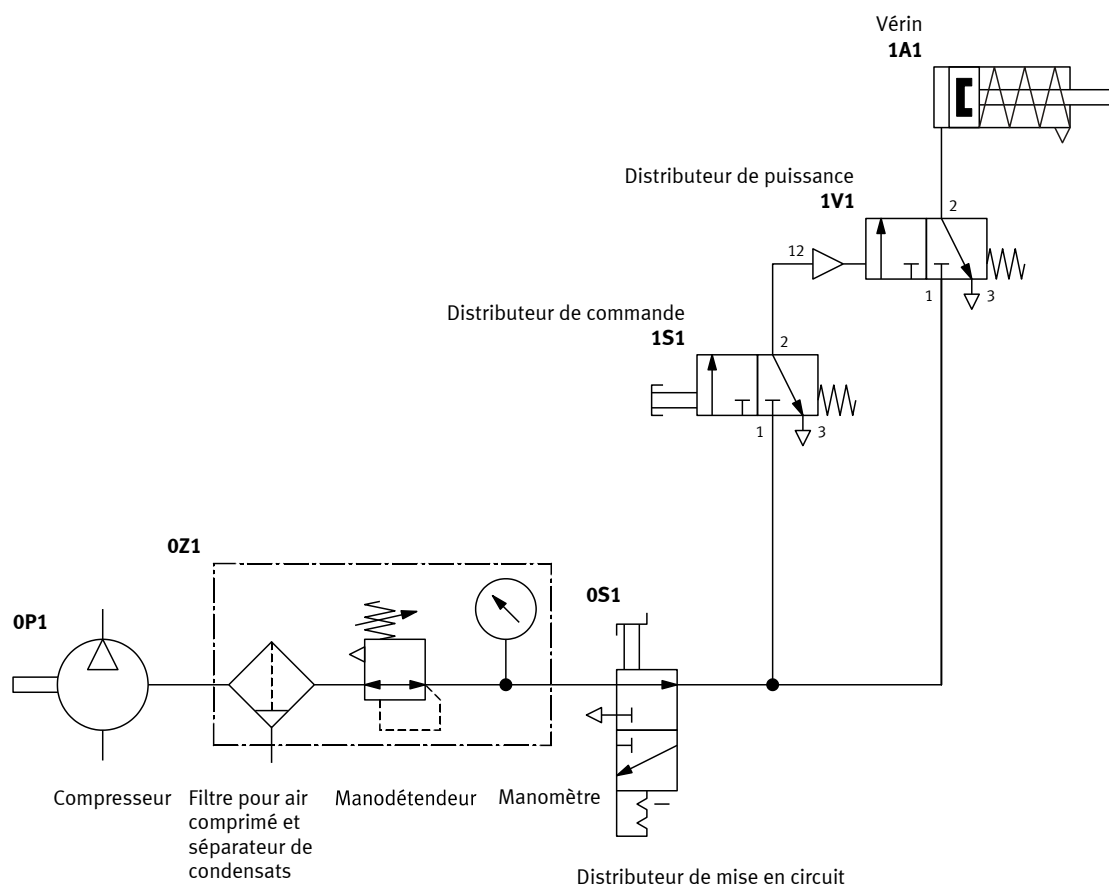


Figure 5.3 : principaux composants et sous-ensembles d'une commande pneumatique

5.4 Fonctions et caractéristiques des actionneurs – vérins pneumatiques

5.4.1 Vérin à simple effet

Les vérins à simple effet ne sont alimentés en air comprimé que d'un seul côté. Ils ne comportent donc qu'un raccord pneumatique d'alimentation et peuvent fonctionner uniquement dans un sens. L'air doit s'échapper de la chambre du vérin pour qu'il puisse revenir à sa position initiale. La tige du piston peut alors rentrer dans le vérin, sous l'effet d'un ressort incorporé ou d'une force extérieure (voir figure 5.4). L'échappement s'effectue à travers un alésage au niveau de la culasse.

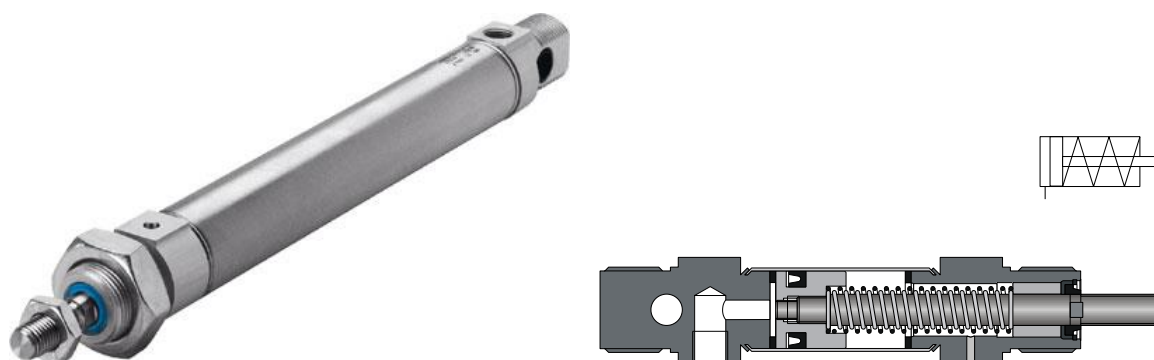


Figure 5.4 : image réelle, dessin en coupe et symbole d'un vérin à simple effet

5.4.2 Vérin à double effet

Les vérins à double effet sont alimentés en air comprimé des deux côtés. Ils peuvent donc fonctionner dans les deux sens. La force transmise à la tige de piston pour l'aller est sensiblement supérieure à celle du retour, puisque la surface exposée à l'air comprimé du côté du piston est plus grande que du côté de la tige de piston (voir figure 5.5).

Sur les vérins à double effet, chaque chambre de pression comporte un raccord. L'inversion du mouvement suppose donc l'échappement de l'air qui se trouve dans la chambre correspondante (côté piston ou côté tige de piston).



Figure 5.5 : image réelle, dessin en coupe et symbole d'un vérin à double effet

5.4.3 Réglage de la vitesse des vérins à simple effet

Limiteur de débit

Un limiteur de débit se caractérise par la variation progressive de la section de passage. L'effet de réduction du débit volumique est identique dans les deux sens.



Limiteur de débit unidirectionnel

Il s'agit d'un limiteur de débit qui n'agit que dans un sens. Il est inefficace dans le sens inverse. Le débit volumique transite par le clapet anti-retour. Sur la représentation graphique des éléments, le sens de l'étranglement est symbolisé par une flèche.

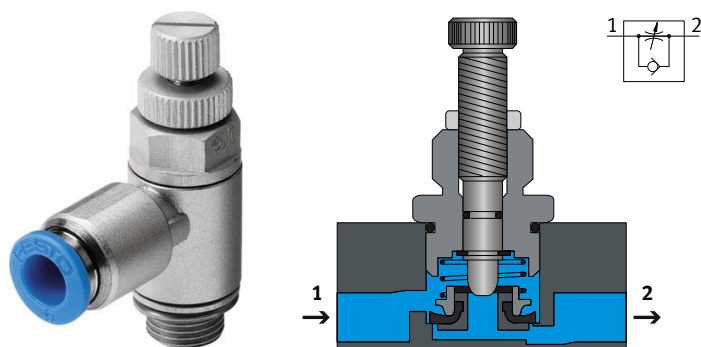
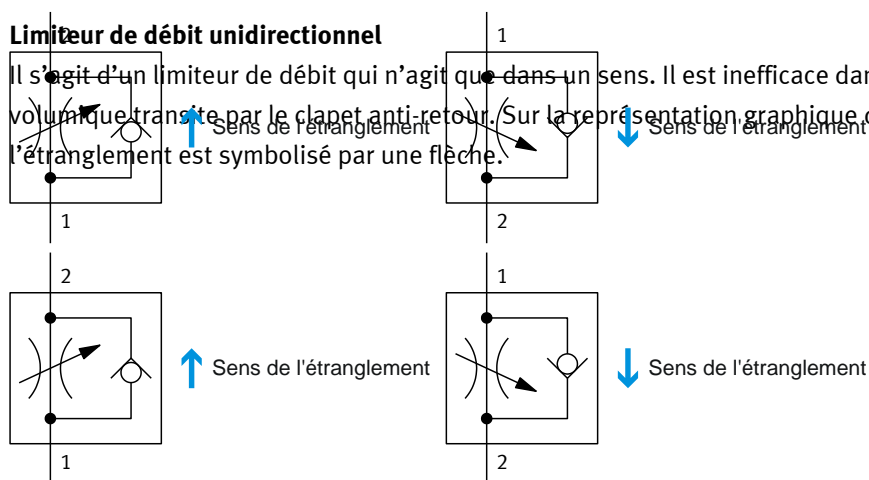
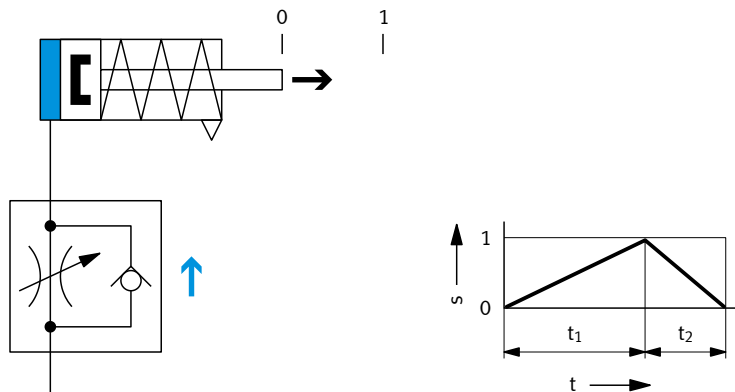


Figure 5.6 : image réelle d'un limiteur de débit unidirectionnel, dessin en coupe d'un limiteur de débit unidirectionnel et symbole

Course aller

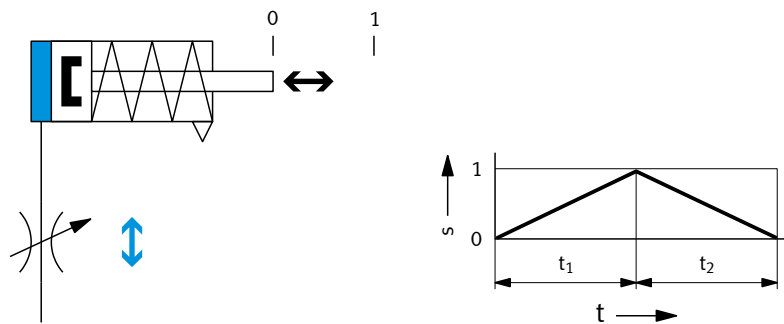
L'apport d'air est réduit par un limiteur de débit unidirectionnel. La vitesse ainsi réglée ne s'applique qu'à la course aller. Lors de la course de retour, le débit volumique transite par le clapet anti-retour.



$t_1 = \text{réglable}, t_2 = \text{constant (non réglable)}$

Course aller et retour

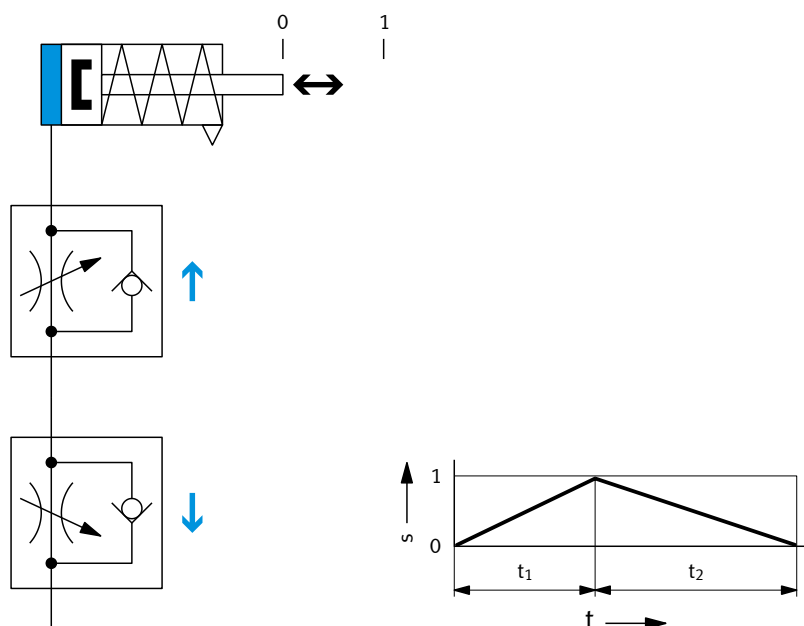
Le raccord d'alimentation et le raccord d'échappement sont tous les deux pourvus d'un étranglement. La vitesse réglée s'applique donc à la course aller comme à la course retour.



$t_1 = t_2 = \text{réglable}$

Deux limiteurs de débit unidirectionnels

La vitesse peut être réglée séparément pour la course aller et la course retour.

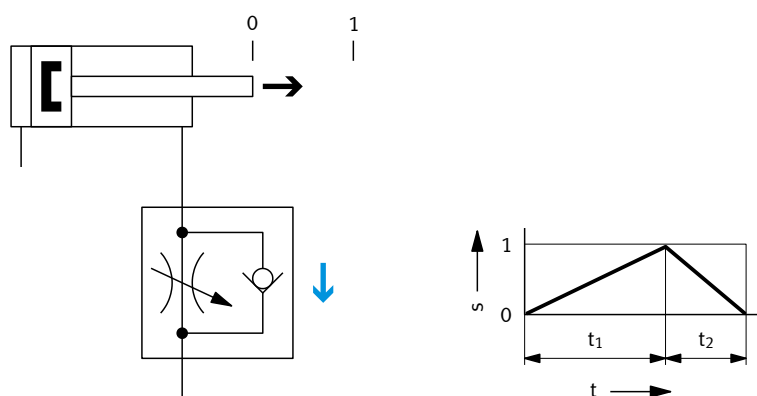


$t_1 = \text{réglable}, t_2 = \text{réglable}$

5.4.4 Réglage de la vitesse des vérins à double effet

Course aller (réduction du débit d'échappement)

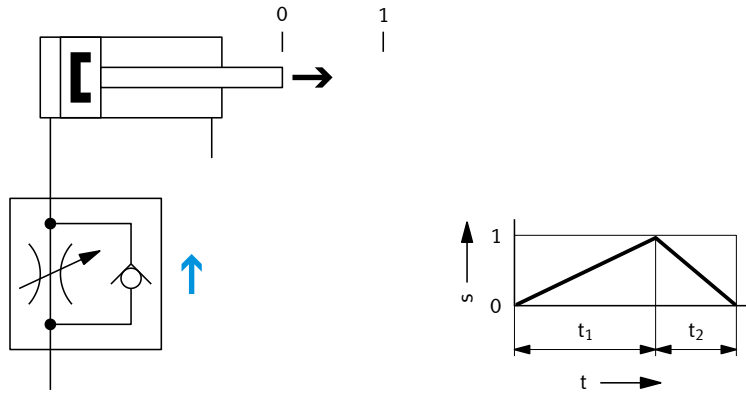
Le limiteur de débit unidirectionnel est situé au niveau du raccord d'échappement (réduction du débit d'échappement). L'air qui s'échappe du vérin transite donc par l'étranglement. La réduction du débit d'échappement est la méthode la plus couramment employée pour les vérins à double effet. Le réglage de la vitesse est fonction de la charge.



$t_1 = \text{réglable}, t_2 = \text{constant (non réglable)}$

Course aller (réduction du débit d'alimentation)**(dispositif incompatible avec les vérins implantés à la verticale)**

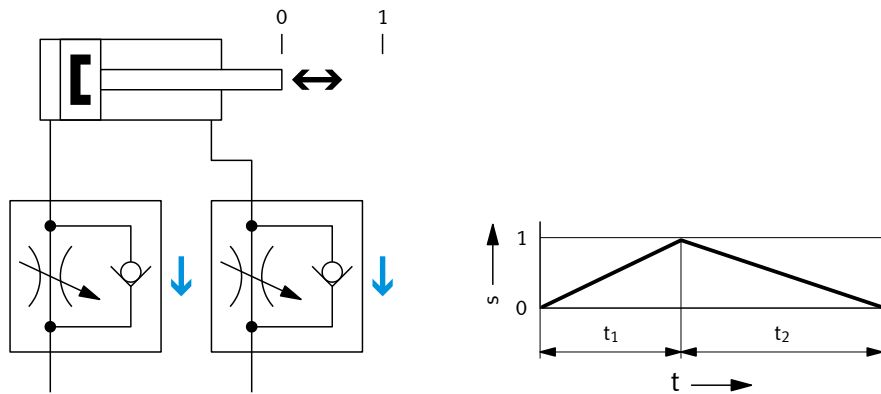
Le limiteur de débit unidirectionnel est situé au niveau du raccord d'alimentation en air comprimé (réduction du débit d'alimentation). La vitesse réglée ne s'applique qu'à la course aller. La vitesse d'avance se fait très irrégulière en cas de variations de charge infimes au niveau de la tige de piston. Toute charge qui agit dans le sens de déplacement du vérin se traduit par un dépassement de la vitesse réglée.



t_1 = réglable, t_2 = constant (non réglable)

Course aller et retour

Le débit d'échappement est réduit par deux limiteurs de débit unidirectionnels. La vitesse peut être réglée séparément pour la course aller et la course retour.



t_1 = réglable, t_2 = réglable

5.5 Fonctions et caractéristiques des distributeurs pneumatiques

Les distributeurs pneumatiques servent à piloter la trajectoire de l'air comprimé. Le sens de passage est symbolisé par une flèche. Ces distributeurs admettent divers modes de commande : actionnement manuel, mécanique, pneumatique ou électrique. Dans les installations automatisées, il est généralement fait appel à des distributeurs à commande électromagnétique, qui font office d'interface entre la commande électrique et la commande pneumatique. Ces distributeurs, commutés par les signaux de sortie de la partie commande des signaux, servent à bloquer ou ouvrir les raccords de la partie puissance pneumatique. Les principales fonctions des électrodistributeurs sont les suivantes :

- activation ou blocage de l'alimentation en air comprimé ;
- rentrée et sortie de vérins d'entraînement.

Les figures 5.7 et 5.8 illustrent deux modèles de distributeurs existants.



Figure 5.7 : distributeur 3/2 à commande manuelle avec fonction d'arrêt



Figure 5.8 : image réelle d'un électrodistributeur 4/2 monostable avec commande manuelle auxiliaire

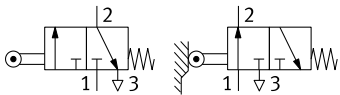
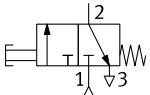
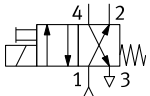
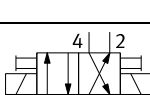
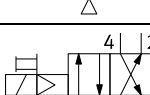
5.5.1 Désignations et symboles des distributeurs pneumatiques

Le tableau suivant reprend les principaux types de distributeurs.

Symbole	Désignation	Fonction
	Distributeur 2/2 – fermé au repos – ouvert au repos	Distributeur avec deux positions de commutation et deux raccords
	Distributeur 3/2 – fermé au repos – ouvert au repos	Distributeur avec deux positions de commutation et trois raccords
	Distributeur 4/2	Distributeur avec deux positions de commutation et quatre raccords
	Distributeur 5/2	Distributeur avec deux positions de commutation et cinq raccords
	Distributeur 5/3, centre à l'échappement	Le piston du vérin d'entraînement n'exerce aucune force sur la tige de piston. La tige de piston se déplace librement.
	Distributeur 5/3, centre fermé	La tige de piston ne bouge pas, y compris lorsqu'elle n'est pas en butée.
	Distributeur 5/3, centre alimenté	La tige de piston des vérins à simple tige se déploie avec une force réduite.

5.5.2 Modes de commande des distributeurs pneumatiques

Le tableau suivant récapitule les principaux modes de commande des distributeurs.

Symbole	Désignation	Fonction
	Distributeur à levier et galet, à rappel par ressort, monostable	Ce distributeur est actionné, par exemple, par la came d'un vérin. Il sert principalement à détecter la fin de course.
	Commande manuelle, rappel par ressort, monostable	Ce distributeur est à commande manuelle. Il est ramené en position initiale par un ressort lorsqu'il est relâché.
	Électrodistributeur avec commande manuelle auxiliaire, à rappel par ressort, monostable	Ce distributeur est actionné par un électro-aimant et ramené en position initiale par un ressort dès que le courant de pilotage s'interrompt.
	Électrodistributeur avec commande manuelle auxiliaire, bistable	Ce distributeur est commandé par des électro-aimants et conserve sa position jusqu'à ce que l'autre électro-aimant soit actionné.
	Électrodistributeur à pilotage pneumatique	Ce distributeur est actionné par un électro-aimant. L'électro-aimant commande un circuit pneumatique auxiliaire qui actionne le coulisseau.

5.5.3 Commande d'un vérin à simple effet

La figure 5.9a illustre un distributeur électrique qui pilote le déplacement d'un vérin d'entraînement à simple effet. Il est doté de trois raccords et offre deux positions de commutation.

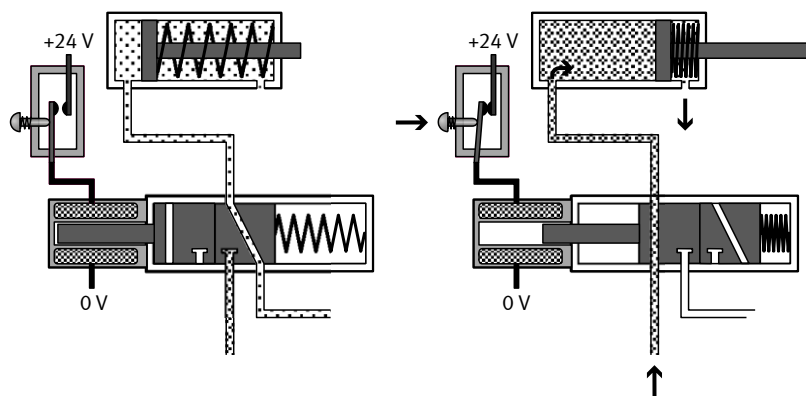
- Lorsque la bobine du distributeur est hors tension, la chambre du vérin est mise à l'échappement. La tige de piston rentre.
- Lorsque la bobine est traversée par un courant, le distributeur est commuté et la chambre du vérin est alimentée. La tige du piston sort.
- Le distributeur rebascule lorsque la bobine est hors tension. La chambre du vérin est mise à l'échappement et la tige de piston rentre.

5.5.4 Commande d'un vérin à double effet

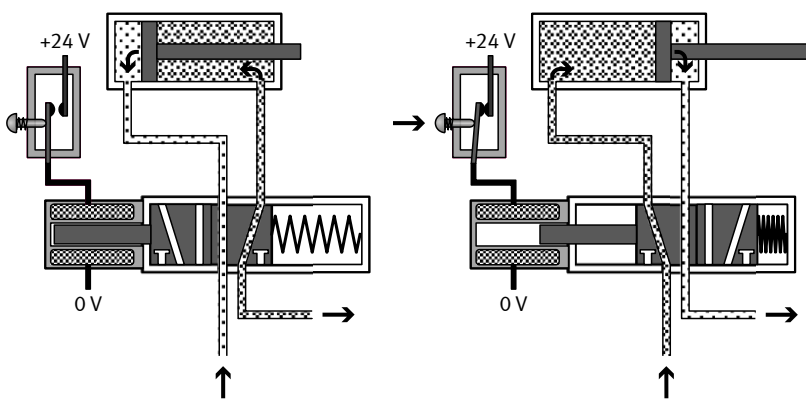
Le vérin d'entraînement à double effet de la figure 5.9b est actionné par un distributeur qui comporte cinq raccords et deux positions de commutation.

- Lorsque la bobine est hors tension, la chambre gauche du vérin est mise à l'échappement, tandis que la chambre droite est alimentée. La tige de piston rentre.
- Lorsque la bobine est traversée par un courant électrique, le distributeur est commuté. La chambre gauche du vérin est alimentée tandis que la droite est mise à l'échappement. La tige du piston sort.
- Le distributeur rebascule et la tige de piston rentre dès que la bobine n'est plus sous tension.

a)



b)



a) simple effet

b) double effet

Figure 5.9 : commande de vérins avec des électrodistributeurs

5.6 Fonctions et caractéristiques des entraînements pneumatiques

5.6.1 Entraînements guidés, vérins sans tige et vireurs

Les entraînements pneumatiques guidés sont fréquemment utilisés dans des applications spécifiques, et plus particulièrement dans le cadre des techniques de manipulation (voir figure 5.11). À la différence des vérins classiques, la tige de piston ne subit pas de torsion, ni de charge. Selon les modèles, on distingue les guidages à palier lisse pour les applications simples qui ne sont pas soumises à des charges importantes sous l'effet des forces extérieures et tolèrent une précision moyenne, et les guidages à billes, qui offrent une grande précision et peuvent absorber des forces et des couples considérables, moyennant un coût supérieur.

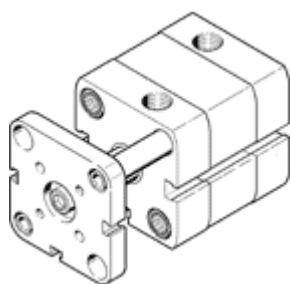


Figure 5.11 : entraînement pneumatique guidé

Autre catégorie d'entraînements, les vérins sans tige (voir figure 5.12). Ils sont dépourvus de tige de piston et se prêtent donc particulièrement bien aux grandes longueurs de course.

Le vérin sans tige est à peine plus long que sa course, tandis que le vérin avec tige de piston est au minimum deux fois plus long que sa course lorsqu'il est déployé. Par ailleurs, ces entraînements sont généralement équipés de guidages de grande qualité.



Figure 5.12 : vérin pneumatique sans tige de piston

Les vireurs pneumatiques trouvent place dans les applications qui nécessitent un mouvement tournant ou oscillant.

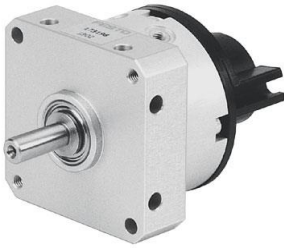
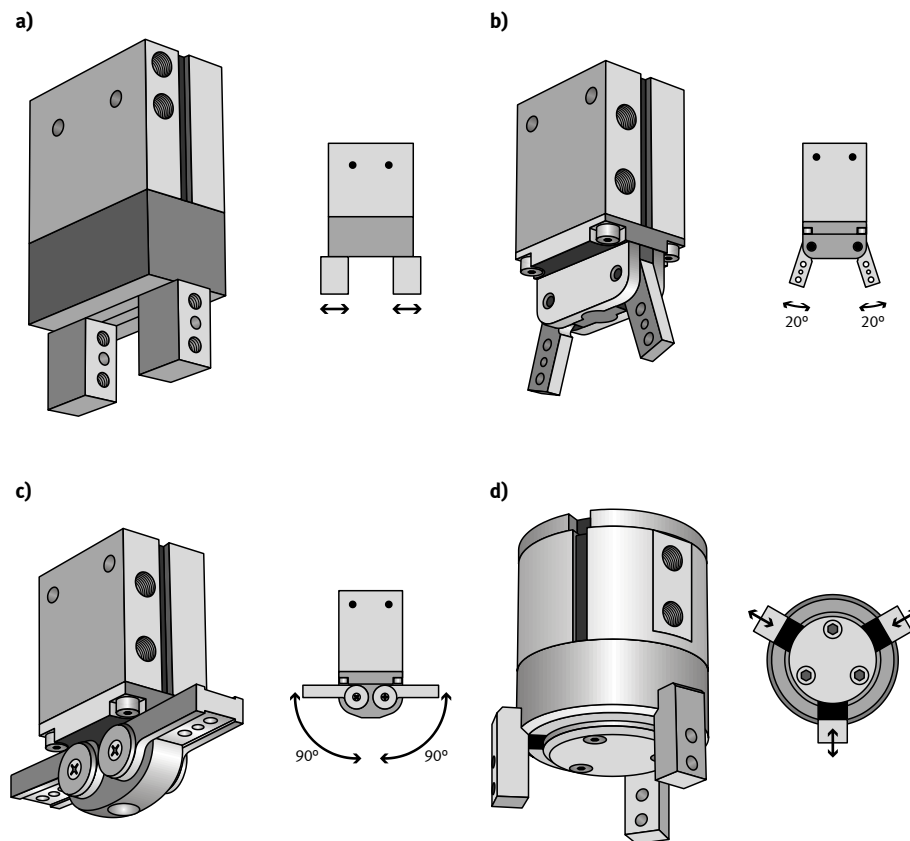


Figure 5.13 : vireur pneumatique

5.6.2 Pinces pneumatiques

Les pinces à commande pneumatique servent à manipuler des pièces. Les figures suivantes illustrent divers types de pinces.



- a) Pince à serrage parallèle
- b) Pince à serrage angulaire
- c) Pince à serrage radial
- d) Pince à serrage concentrique

Figure 5.14 : pinces pneumatiques

La figure suivante (voir figure 5.15) illustre la vue en coupe d'une pince à serrage angulaire actionnée par un vérin à double effet. Elle montre bien l'implantation des mors (pour pièces cylindriques) et des capteurs de proximité sur la pince.

Ce sont la forme et le poids des pièces qui déterminent le type de pince, sa taille ainsi que les mors utilisés.

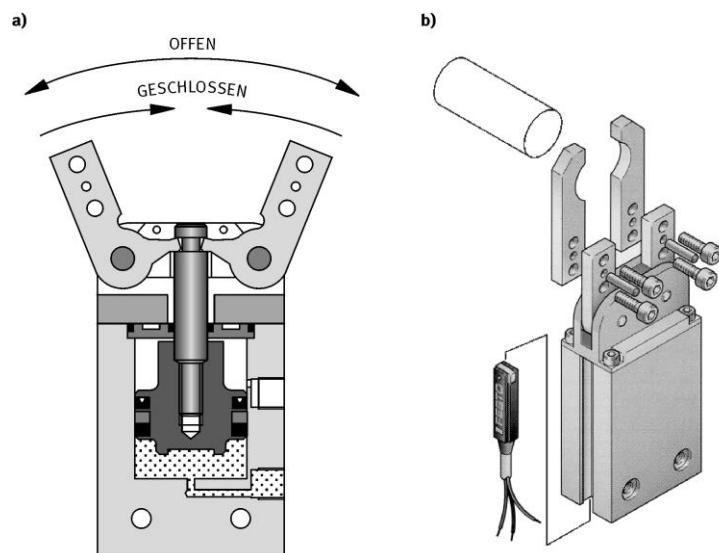


Figure 5.15 : pince à serrage angulaire : principe d'actionnement, mors et capteur de proximité

5.6.3 Saisir le vide

En plus des pinces mécaniques, des pinces à vide sont également utilisées pour tenir des objets. Une pince à vide se compose du générateur de vide (pompe ou buse Venturi), d'une ou plusieurs ventouses et, si nécessaire, de soupapes permettant de contrôler le vide. 5.16 montre une simple pince à vide dans le poste de manutention. Une vanne à 3/2 voies commute l'alimentation en air comprimé vers la buse Venturi (1), qui à son tour alimente la ventouse (2) en vide.

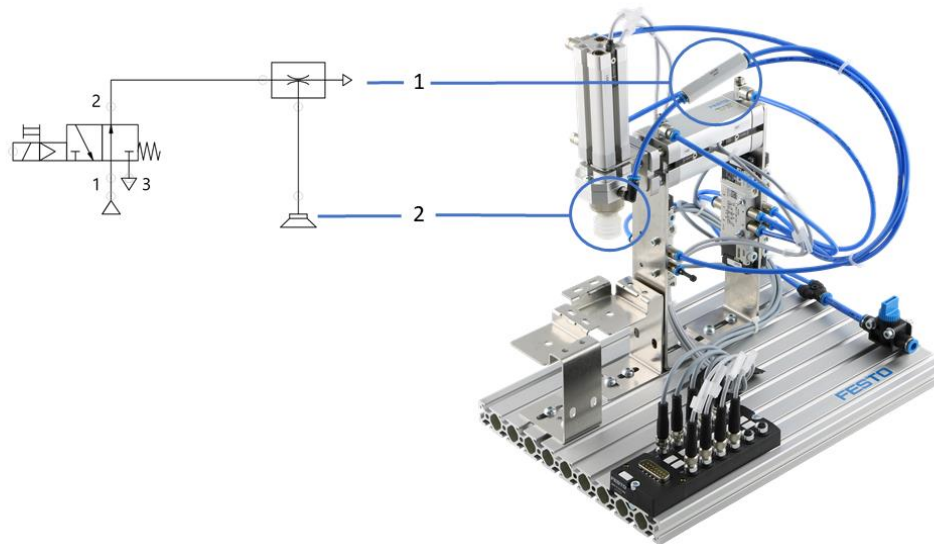


Figure 5.16 : Conception d'une pince à vide : schéma du circuit / image réelle

Le vide est défini comme suit selon la norme DIN 28 400, partie 1 :

"Le vide est l'état d'un gaz dont la densité numérique des particules est inférieure à celle de l'atmosphère à la surface de la terre. L'état d'un gaz peut être appelé vide lorsque sa pression est inférieure à la pression atmosphérique".

Fonction

Une ventouse adhère à une surface parce que la pression ambiante (p_u) est supérieure à la pression p_v dans le volume d'aspiration fermé par la surface de la pièce (5.17). En pratique, la pression ambiante est constante. Pour générer un vide, la ventouse est reliée à une source de vide. Plus la pression négative générée est élevée, plus la force agissant sur la ventouse depuis l'extérieur est importante. Cette force est appelée force d'aspiration ou force de maintien et est généralement spécifiée par le fabricant comme une force de maintien théorique.

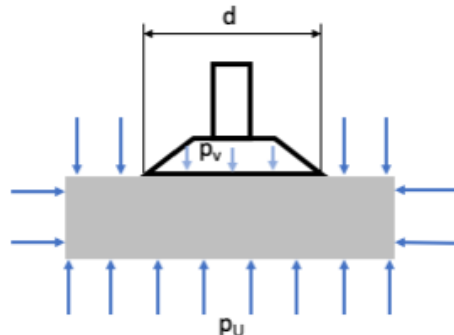


Figure 5.17 : La pression ambiante plus élevée presse la pièce contre la pression interne plus faible de la ventouse

La force de maintien maximale F d'un préhenseur à vide dépend donc de la surface de la ventouse A et de la différence de pression entre la pression ambiante p_u et la pression interne de la ventouse p_v :

$$F = (p_u - p_v)A = (p_u - p_v)\pi d^2$$

Pour les charges d'aspiration perpendiculaires à la surface d'aspiration, un facteur de sécurité de 2 est courant, pour les charges d'aspiration parallèles à la surface d'aspiration, un facteur de 4. Il existe essentiellement deux méthodes pour générer un vide, soit avec des pompes, soit avec des éjecteurs. Les deux méthodes visent à réduire la pression ambiante dans une ventouse à une pression inférieure.

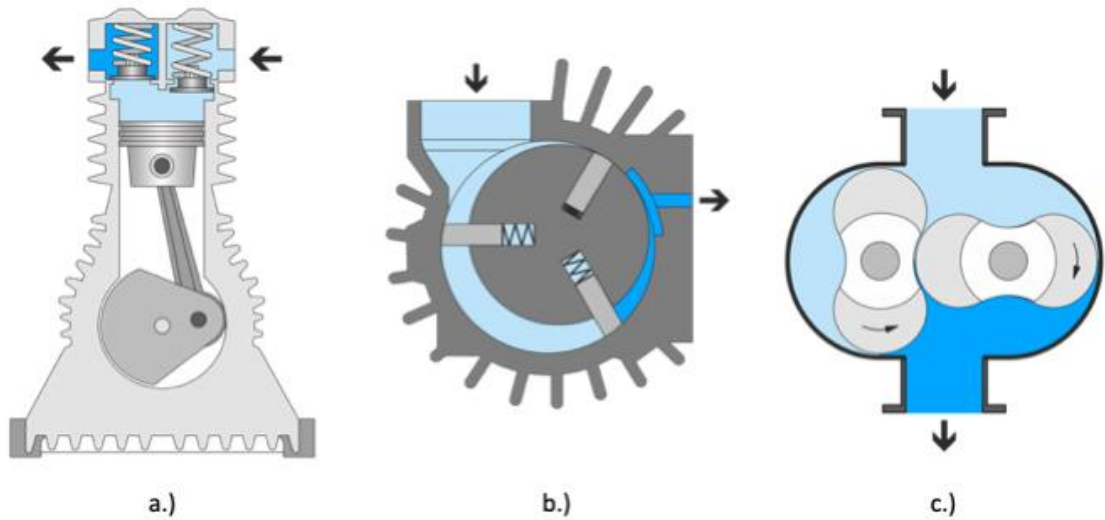


Figure 5.18 : Types de pompes à vide : a.) Pompe à piston alternatif, b.) Pompe à palettes, c.) Pompe Roots

Les éjecteurs sont une alternative aux pompes à vide. Ceux-ci fonctionnent selon le principe de Venturi. L'air comprimé passe à travers un rétrécissement de la section transversale, appelé buse à jet de l'éjecteur. Ici, la vitesse d'écoulement de l'air augmente pour atteindre une vitesse supersonique. Après avoir quitté la buse du jet, l'air se dilate et sort par la buse de capture avec silencieux en aval. Au cours de ce processus, un vide est créé dans la chambre autour de la buse du jet. Cela entraîne l'aspiration de l'air dans le raccord d'aspiration.

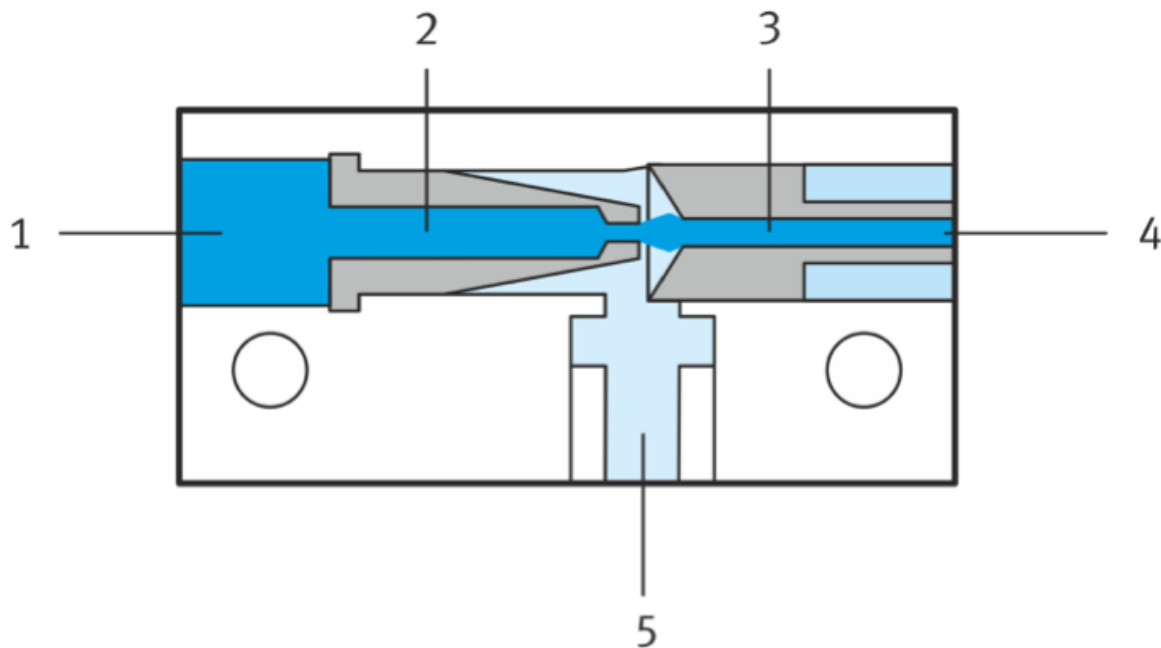


Figure 5.19 : Éjecteur - vue en coupe ; 1 : Raccord d'air comprimé, 2 : Buse de jet, 3 Buse de capture, 4 : Air d'échappement, 5 : Raccord d'aspiration (vide)

Les buses Venturi sont compactes et peuvent être situées très près de la ventouse, consomment de l'air comprimé pendant le fonctionnement et sont relativement bruyantes et ont donc un silencieux pour l'air d'échappement.

Les pompes à vide génèrent des vides plus importants, sont alimentées par l'électricité, mais sont très grandes et donc situées relativement loin des ventouses.

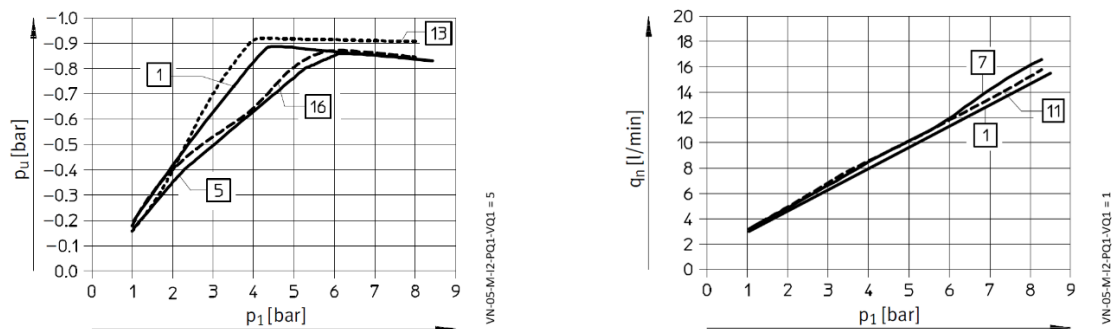


Figure 5.20 : Courbes caractéristiques d'une buse de Venturi. La buse à venturi utilisée chez MecLab est caractéristique 5 ou 1

a) Pression de vide en fonction de la pression d'alimentation

b) La consommation d'air en fonction de la pression d'alimentation.

La figure 5.20 montre les courbes caractéristiques d'une buse de Venturi. La courbe caractéristique a montre le vide réalisable p_u en fonction de la pression d'alimentation p_l . On peut constater que le meilleur vide est obtenu à 3 - 4 bars. Cependant, plus la pression d'alimentation p_l augmente, plus la consommation d'air comprimé q_n et donc la consommation d'énergie de la buse Venturi augmentent. Il faut donc toujours utiliser le plus grand diamètre de ventouse possible afin de maintenir la pression d'alimentation et donc la consommation d'énergie à un faible niveau pour une force de maintien donnée.

Si la pièce est poreuse ou présente une ouverture, il y aura des fuites et la buse de Venturi devra constamment extraire de l'air pour maintenir le vide. Dans certaines limites, c'est possible, mais si la fuite devient trop importante, il n'est plus possible de la saisir en toute sécurité. Vous pouvez alors utiliser, par exemple, plusieurs petites ventouses disposées autour de l'ouverture de la pièce.

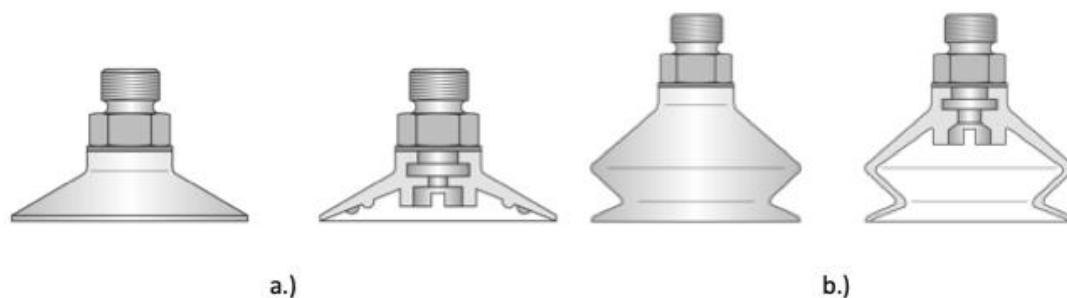


Figure 5.21 : Différents types de ventouses a) Ventouse b) Ventouse à soufflet

Il existe différents types de ventouses (5.21). Les ventouses à disque sont les plus courantes, elles sont simples et assurent une bonne prise de la pièce. Les ventouses à soufflet peuvent mieux compenser les différences de hauteur, mais guident la pièce avec moins de précision.

5.7 Représentation des commandes pneumatiques dans le schéma d'ensemble

La commande directe est le mode de commande le plus simple pour les vérins à simple et à double effet. Elle consiste à piloter directement le vérin, sans intercaler de distributeur supplémentaire, par le biais d'un distributeur à commande mécanique ou musculaire.

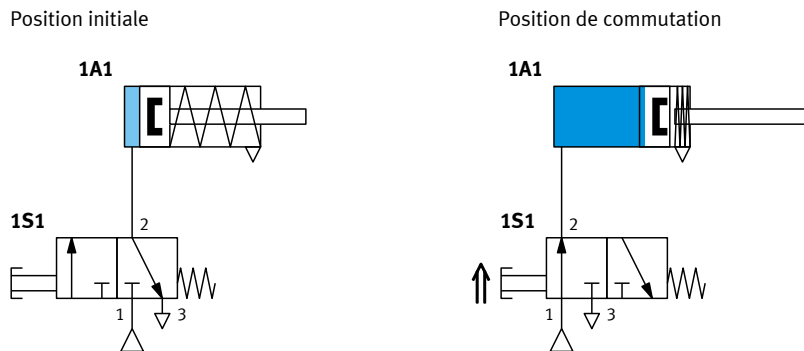


Figure 5.16 : schéma d'ensemble d'une commande directe avec distributeur 3/2 à commande manuelle

Dans le schéma d'ensemble, les divers éléments doivent être symbolisés à l'état repos. Ce type de représentation n'est pas sans poser quelques difficultés pour les débutants. C'est la raison pour laquelle les premiers exemples indiquent, contrairement aux normes usuelles, les fonctions après commutation (position de commutation). La flèche qui apparaît devant l'élément de commande du distributeur 3/2 avec bouton-poussoir signifie donc que le distributeur en question est actionné (figure 5.16, à droite).

5.7.1 Désignation des symboles dans les schémas d'ensemble

La structure des schémas d'ensemble pneumatiques, l'agencement des symboles, de même que l'identification et la numérotation des composants sont définis par la norme ISO 1219-2. Les distributeurs doivent être représentés en position initiale (c.-à-d. en position de repos). La partie puissance (vérin avec distributeur de puissance) figure en haut. La partie commande, avec les éléments d'introduction de signaux, est représentée en bas.

La désignation des éléments s'effectue du bas vers le haut, de la gauche vers la droite (voir figure 5.17).

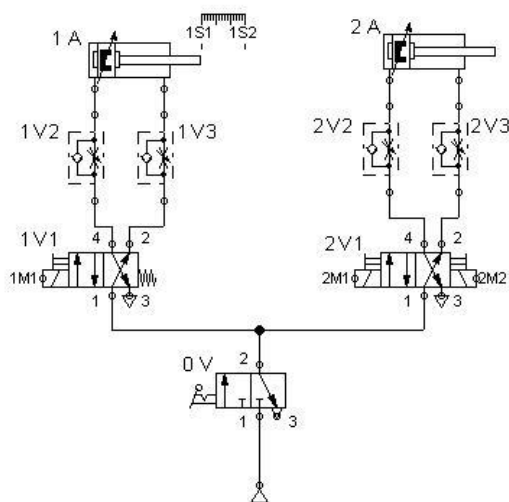


Figure 5.17 : désignations d'un schéma d'ensemble pneumatique

Exemple de représentation d'un circuit électropneumatique et de ses fonctions

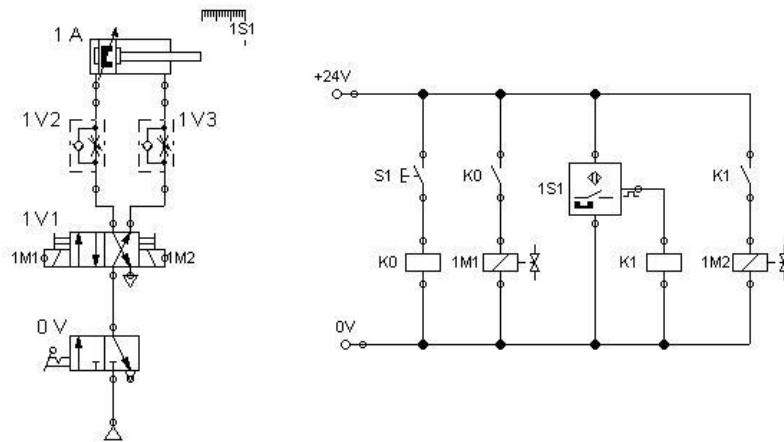


Figure 5.18 : représentation d'un circuit électropneumatique

Fonction du circuit électropneumatique illustré ci-dessus :

- Lorsque le bouton-poussoir S1 est actionné, l'aimant de distributeur 1M1 est commuté par le biais du contact à fermeture du relais K0 et le vérin 1A sort.
- Lorsque le vérin parvient à la butée avant, le capteur de fin de course magnétique 1S1 commute le relais K1, lequel commande l'aimant de distributeur 1M2. Le vérin repasse alors en fin de course arrière.

6 Actionneurs électriques

Les moteurs électriques sont devenus incontournables dans le monde actuel. À la différence des entraînements pneumatiques, principalement employés pour la production industrielle du fait de leur simplicité et de leur fiabilité, les moteurs électriques sont également utilisés dans le cercle privé. Les exemples ne manquent pas : lave-linge, sèche-cheveux, lecteurs de CD, jouets, robots ménagers, ventilateurs, pour n'en citer que quelques-uns. Les moteurs électriques trouvent également de nombreuses applications dans le secteur automobile, puisqu'ils sont associés à une foule de systèmes de confort, comme les lève-vitres ou le réglage des sièges.

Il existe divers types de moteurs électriques, spécialement mis au point pour des applications précises :

- les moteurs à courant continu, peu onéreux et de conception simple, offrent une puissance relativement réduite pour les applications mobiles alimentées par des batteries ou des piles ;
- les moteurs triphasés sont robustes et développent une puissance relativement élevée, principalement dans les installations industrielles fixes ;
- les servo-entraînements, particulièrement dynamiques, trouvent place dans les machines-outils et les robots qui demandent une vitesse élevée et une grande précision ;
- les moteurs pas à pas sont dédiés aux opérations simples, comme les mouvements d'avance dans les machines-outils.

Les moteurs électriques peuvent exécuter des mouvements tournants (rotation) ou linéaires (translation). Pour ce faire, ils se déclinent en différentes formes et niveaux de puissance, de l'ordre de quelques milliwatts à plusieurs mégawatts, et peuvent peser de quelques grammes à plusieurs tonnes. Les moteurs sont les actionneurs les plus répandus dans les techniques actuelles.

La quasi-totalité des actionneurs électriques est basée sur le principe de la force électromagnétique, également appelée force de Lorentz. Nous allons aborder le principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu à aimant permanent, car ce type de moteur est non seulement très répandu, mais aussi relativement simple à comprendre.

6.1 Principes de base physico-techniques d'un moteur à courant continu

Prenons un conducteur traversé par un courant I et situé dans un champ magnétique B : ce conducteur est soumis à une force F , dont le sens peut être déterminé en faisant appel à la règle dite « des trois doigts ». Pour ce faire, nous partons du principe que les lignes de champ magnétique sont orientées du pôle nord vers le pôle sud de l'aimant et que le courant circule du pôle positif vers le pôle négatif de la source de tension. Les trois doigts, c'est-à-dire le pouce, l'index et le majeur, sont placés à angle droit l'un par rapport à l'autre et forment donc un système de coordonnées cartésien.

Si le pouce est orienté dans le sens de déplacement du courant (c.-à-d. du pôle positif vers le pôle négatif) et l'index dans celui du champ magnétique (nord/sud), le majeur indique alors le sens de la force qui s'exerce. Selon la figure 6.1, le conducteur se déplacerait vers l'avant, hors du plan.

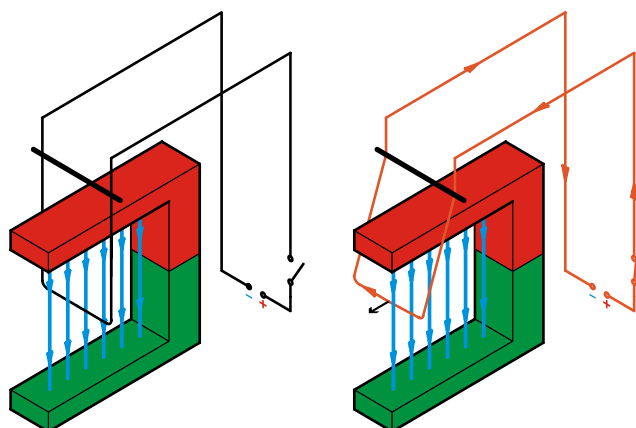


Figure 6.1 : force de Lorentz

L'amplitude de la force est fonction de l'intensité du champ magnétique, de l'intensité du courant et de la longueur du conducteur au sein du champ magnétique. C'est précisément cette force qui sert à produire le mouvement de rotation d'un moteur à courant continu. À cet effet, on intercale une boucle conductrice rotative entre les deux pôles magnétiques (nord/sud) (figure 6.2).

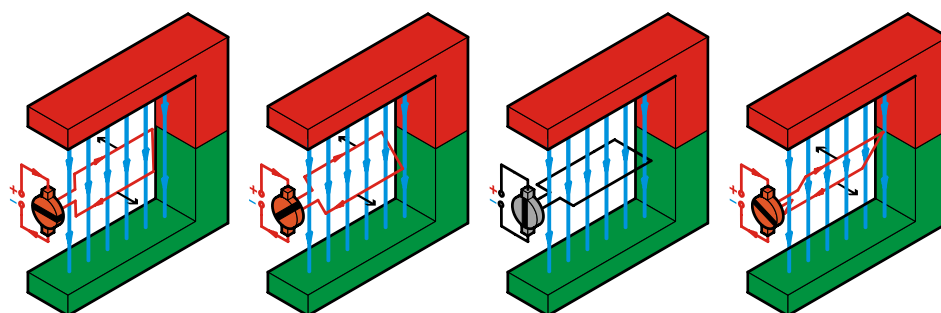


Figure 6.2 : mode de fonctionnement d'un moteur à courant continu

Le courant circule dans les deux moitiés de la boucle conductrice, mais dans des directions opposées. La force n'agit pas dans le même sens dans les deux moitiés de la boucle conductrice. Il se forme donc un pôle nord et un pôle sud, qui sont respectivement soit attirés par les pôles de l'aimant permanent (nord/sud ou sud/nord), soit repoussés (sud/sud ou nord/nord). Ces deux forces génèrent un couple de rotation qui met la boucle conductrice en mouvement. Au bout d'un demi-tour de boucle au maximum, un commutateur mécanique (collecteur) inverse le courant, de sorte que l'opération se répète.

Le commutateur joue un rôle essentiel, puisque c'est lui qui génère un mouvement de rotation à partir de la toute première force qui agit sur le conducteur traversé par un courant. Il se compose de deux demi-coques métalliques isolées l'une de l'autre, auxquelles le courant est transmis par des balais.

Comme les moteurs à courant continu produisent généralement un couple de rotation (M_d) réduit à haut régime (n), il est souvent fait appel à des réducteurs, c'est-à-dire à des éléments de transfert situés en amont, qui réduisent le régime de sortie (n_2) selon un rapport de démultiplication i , tout en augmentant le couple de sortie (M_{d2}) de ce même rapport. Nous avons :

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{M_{d2}}{M_{d1}}$$

Les réducteurs peuvent adopter les formes les plus variées. La figure 6.3 illustre un moteur à courant continu avec réducteur à vis sans fin, dont l'arbre de sortie est orienté à 90° par rapport à l'arbre du moteur.

Figure 6.3 : moteur à courant continu avec réducteur

6.1.1 Commande des moteurs à courant continu

Le moteur à courant continu commence à tourner dès qu'il est raccordé à une source de courant. Son sens de rotation est fonction de la polarité. La figure 6.4 illustre l'option de commande la plus simple qui soit, avec commutateur ouvert (moteur arrêté) ou fermé (moteur en marche).

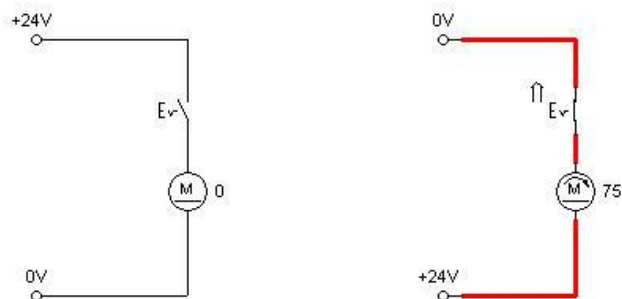


Figure 6.4 : commande d'un moteur à courant continu

Comme les moteurs électriques nécessitent des courants élevés, la commande transite par des relais, de manière à éviter une surcharge des commutateurs. La figure 6.5 illustre le schéma d'ensemble correspondant.

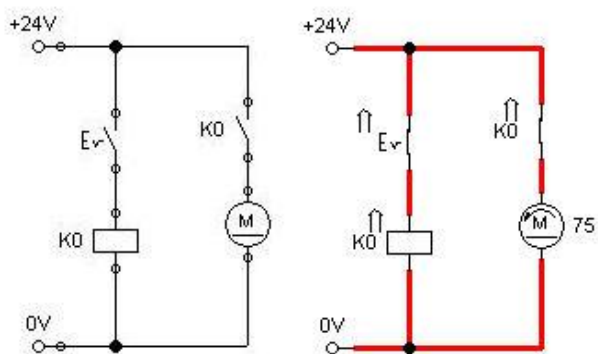


Figure 6.5 : commande à relais d'un moteur à courant continu

Pour inverser le sens de rotation du moteur, il faut inverser le sens de passage du courant à l'intérieur du moteur (figure 6.6).

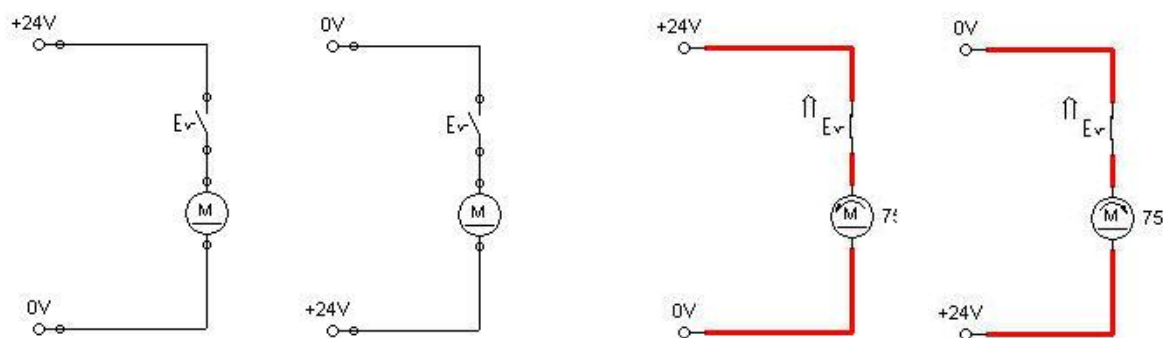


Figure 6.6 : inversion du sens de rotation d'un moteur à courant continu

Comme il est difficile, voire impossible, de modifier en permanence le câblage du moteur, il est fait appel à des circuits dits « inverseurs de pôles », qui changent le sens de rotation des moteurs à courant continu (figure 6.7).

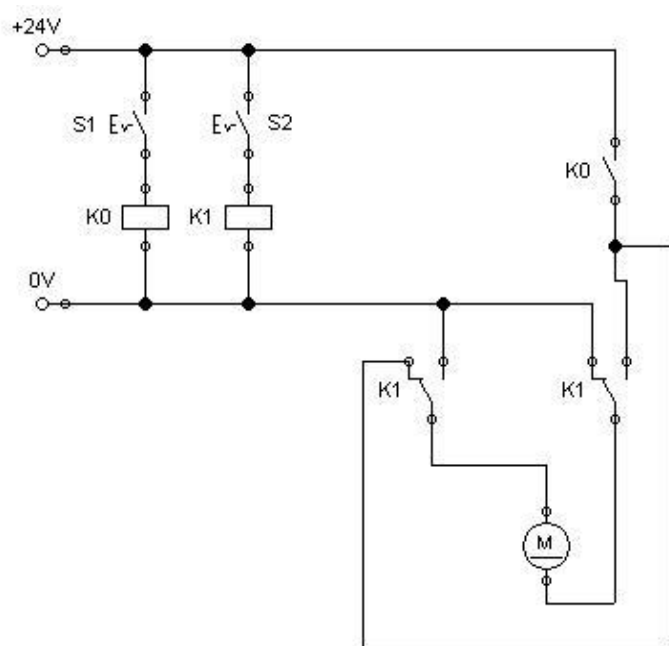


Figure 6.7 : circuit inverseur de pôles

Pour ce faire, le moteur est piloté par deux relais. Le relais K0 sert à activer ou désactiver le courant du moteur. Le relais inverseur K1 inverse le courant du moteur, de sorte qu'il tourne alternativement dans les deux sens.

6.1.2 Les électro-aimants : des servomoteurs de conception simple

Autre actionneur électrique, l'électro-aimant est adapté aux tâches de positionnement simples. Les électro-aimants servent par exemple à actionner les pistons tiroirs des électrodistributeurs. Ils peuvent en principe trouver place partout où de petits mouvements de translation linéaire sont nécessaires.

La figure 6.8 illustre leur principe de fonctionnement. L'électro-aimant se compose principalement d'une bobine (ou solénoïde) et d'un noyau de fer. Lorsqu'elle est traversée par un courant, la bobine génère un champ magnétique qui exerce une force d'attraction sur le noyau de fer. Le noyau de fer rentre alors dans la bobine. Lorsque le courant est coupé, un ressort ramène le noyau de fer hors de la bobine. Toute modification du sens du courant a naturellement une incidence sur celui du champ magnétique induit, mais le noyau de fer est systématiquement attiré par le champ magnétique, quel qu'en soit le sens.

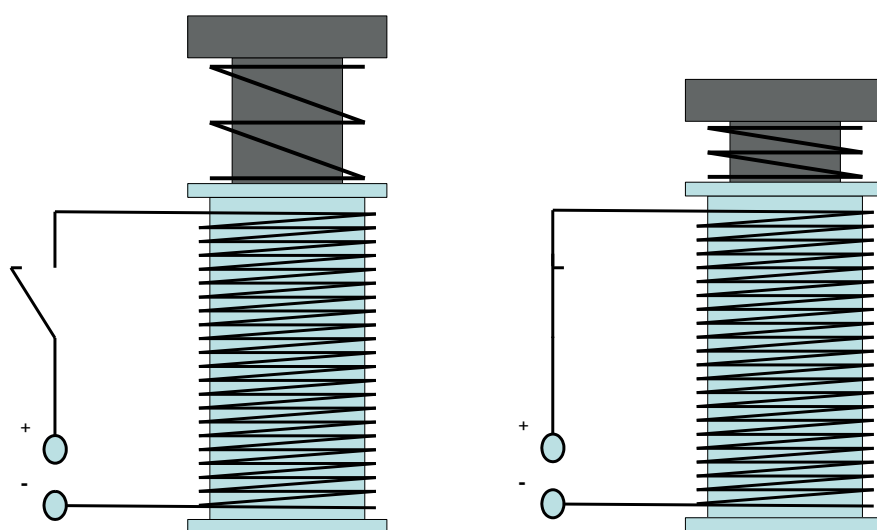


Fig. 6.8 : mode de fonctionnement d'un électro-aimant

7 Principes de base des techniques de commande

Les commandes comptent parmi les éléments centraux de la technique d'automatisation, tout comme les actionneurs et les capteurs. Le terme de « commande » désigne fréquemment, au sens large, des dispositifs qui ont les fonctions suivantes :

- commande,
- régulation,
- contrôle,
- collecte de données (de process),
- communication,
- diagnostic.

Dans le secteur des techniques d'automatisation, le concept de commande renvoie plus précisément à l'influence exercée par un ou plusieurs signaux sur un flux d'énergie ou de matière au sein d'une chaîne d'asservissement ouverte (définition de la norme DIN 19226). Les commandes sont fréquemment utilisées pour les opérations à déroulement graduel (pas à pas). Prenons quelques exemples :

- ouverture d'une porte lorsque quelqu'un se présente ;
- activation d'une lampe rouge au bout d'un laps de temps défini,
- éclairage d'un couloir déclenché par une pression sur un interrupteur, puis coupure automatique au bout d'un laps de temps défini.

Ce type de commande se caractérise par un déroulement ouvert, c'est-à-dire que la grandeur d'entrée (x) n'est pas influencée par la grandeur de sortie (y) commandée. Elle ne peut donc pas réagir en présence de grandeurs perturbatrices. Dans le cas de l'exemple trois, cela signifie que la commande de temporisation ouverte de l'éclairage du couloir coupe automatiquement la lumière à l'issue du laps de temps prédéfini, peu importe que la personne qui a appuyé sur l'interrupteur (et donc initié le process) ait atteint la porte d'entrée ou non. La figure 7.1 illustre une chaîne d'asservissement ouverte.

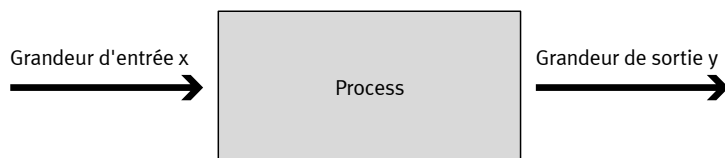


Figure 7.1 : chaîne d'asservissement ouverte

En revanche, une régulation détecte en permanence les grandeurs de sortie (y), les compare aux grandeurs d'entrée (x) et régule le process en conséquence, de manière à adapter les valeurs de sortie et d'entrée. Pour ce faire, elle met en œuvre une boucle de régulation fermée et elle est à même de réagir aux grandeurs perturbatrices. Les processus de régulation sont, pour la plupart, des processus en continu, qui font en sorte que la grandeur de sortie conserve une valeur donnée. Prenons quelques exemples :

- régulation de la température de l'eau d'un aquarium ;
- régulateur de vitesse (Tempomat) des véhicules ;
- réglage de vitesse d'un moteur électrique.

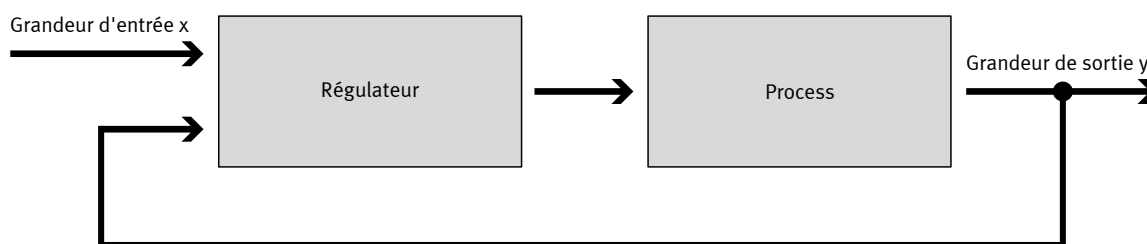


Figure 7.2 : boucle de régulation fermée

Les techniques d'automatisation comportent un grand nombre de types de commandes dédiés à des fonctions spécifiques, qui portent des désignations précises. Prenons quelques exemples :

- **Commandes câblées**
Les commandes câblées sont des commandes dont la logique, c.-à-d. le « programme », est déterminée par la manière dont les relais sont connectés les uns aux autres. Les commandes par contact constituent un bon exemple. Elles sont généralement basées sur des relais et utilisées pour des tâches de commande simples. Le pilotage des moteurs électriques compte parmi les champs d'application types.
- **API – automates programmables industriels (voir figure 7.3)**
Les API ont été spécialement conçus pour se substituer aux commandes par contact, qui présentent peu de souplesse. Elles se composent d'un ordinateur équipé de modules d'entrée et de sortie spécifiques. Le programme n'est pas déterminé par l'interconnexion de différents relais, mais stocké dans la mémoire de l'automate, ce qui permet de le modifier facilement. Les API traitent principalement des signaux binaires.
Dans le système d'apprentissage multisupport MecLab®, l'API est remplacé par un simulateur intégré au logiciel FluidSIM®. FluidSIM® permet de simuler des automates programmables industriels, mais aussi des commandes par contact.
- **CNC – commande numérique**
Ces commandes sont mises en œuvre dans les machines-outils comme les aléseuses, les fraiseuses et les tours. Les premières machines-outils automatiques utilisaient des modèles en bois, dont la forme était détectée, puis reportée sur la pièce. Le modèle en bois a cédé la place à un modèle numérique, qui consigne généralement les diverses coordonnées de la pièce sous la forme de codes chiffrés (d'où l'expression de commande numérique). La commande numérique sert principalement à transcrire le modèle informatisé de la pièce, créé à partir d'un logiciel, en déroulement séquentiel des mouvements de l'outil.
- **RC – commande de robot**
Les commandes de robot ont été spécialement mises au point pour les robots industriels, mais leur structure est similaire à celle des commandes numériques CNC.

7.1 Structure et mode de fonctionnement d'un automate programmable industriel (API)

L'API étant le type de commande le plus répandu mais aussi le plus simple, nous allons l'aborder plus en détail.



Figure 7.3 : automate programmable industriel (Sté Festo)

Le microprocesseur constitue le « cœur » d'un API. La programmation du microprocesseur détermine en effet :

- les entrées de commande qui sont interrogées (E1, E2 etc.) ainsi que leur ordre de lecture ;
- les modalités de combinaison de ces signaux d'entrée ;
- les sorties (S1, S2 etc.) vers lesquelles les résultats du traitement des signaux sont acheminés.

Dans un API, le comportement de la commande n'est pas déterminé par l'interconnexion d'éléments électriques (configuration matérielle), mais par un programme (logiciel).

La figure 7.4 illustre la structure de principe d'un API.

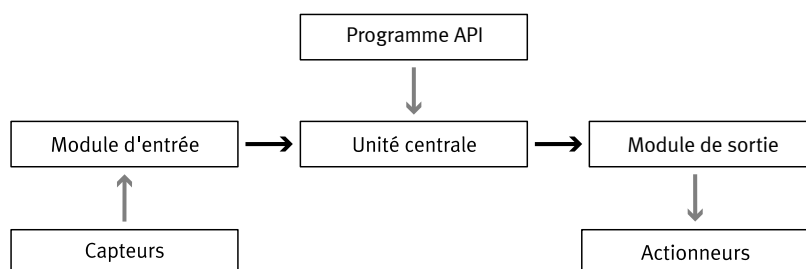


Figure 7.4 : composants système d'un API

7.2
Principes de base mathématiques – combinaisons de base d’éléments logiques

7.2.1
Généralités

La plupart des commandes reposent sur des fonctions logiques de base. C’est la raison pour laquelle nous allons dresser le panorama des principales fonctions logiques de base. Les fonctions logiques peuvent être représentées sous forme de tableau, d’équation, de circuit à relais (combinaison) ou de symbole logique (voir chapitre 7.2.6). Ce sont les symboles logiques qui servent à créer les programmes d’un API.

7.2.2
Identité (fonction OUI)

Le bouton-poussoir représenté est équipé d’un contact à fermeture. S’il n’est pas actionné, la lampe P1 ne s’allume pas. En revanche, la lampe P1 s’allume s’il est actionné.

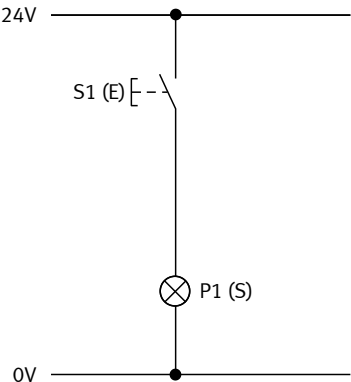


Figure 7.5 : schéma d’ensemble (identité)

Le bouton-poussoir S1 fait office d’entrée de signal, tandis que la lampe correspond à la sortie. Les actions correspondantes peuvent être récapitulées dans une table des fonctions, ou tableau des valeurs :

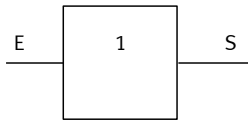
E	S
0	0
1	1

Table des fonctions (identité)

L’équation booléenne est alors la suivante :

$E = S$

Le symbole graphique logique de l'identité est le suivant :



7.2.3 Négation (fonction NON)

Le bouton-poussoir représenté est équipé d'un contact à ouverture. Lorsqu'il est à l'état repos, la lampe P1 est allumée. En revanche, s'il est actionné, la lampe P1 s'éteint.

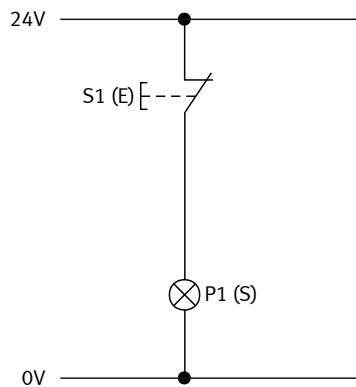


Figure 7.6 : schéma d'ensemble (négation)

Le bouton-poussoir S1 fait office d'entrée de signal, tandis que la lampe correspond à la sortie. Les actions correspondantes peuvent être récapitulées dans une table des fonctions, ou tableau des valeurs :

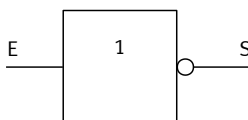
E	S
0	1
1	0

Table des fonctions (négation)

L'équation booléenne est alors la suivante :

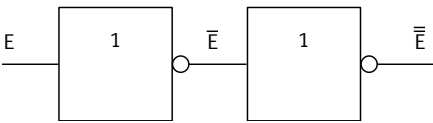
$$\bar{E} = S \text{ (soit : NON E égale S)}$$

Le symbole graphique logique est le suivant :



Si deux négations se suivent (c.-à-d. en cas de négation de la négation), elles s’annulent.

$\overline{\overline{E}} = E$



Deux fonctions NON combinées

7.2.4 Conjonction (fonction ET)

Si l’on raccorde deux contacts à fermeture en série, la lampe ne peut s’allumer qu’à condition que les deux boutons-poussoirs correspondants soient actionnés.

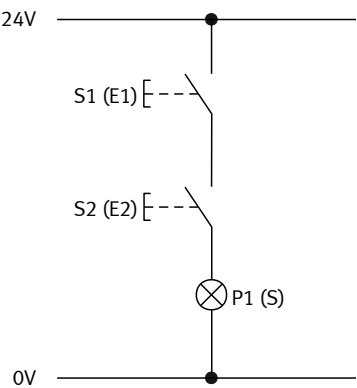


Figure 7.7 : schéma d’ensemble (conjonction)

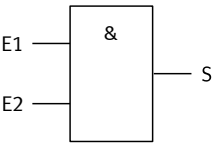
E1	E2	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Table des fonctions (conjonction)

La table des fonctions sert à définir les relations. La sortie ne bascule sur l’état 1 que si l’entrée 1 ainsi que l’entrée 2 relaient aussi un signal « 1 ». On parle alors de fonction ET. L’équation correspondante est la suivante :

$E1 \wedge E2 = A$

Le symbole graphique logique est le suivant :



Les règles de calcul applicables à la conjonction sont les suivantes :

- $a \wedge 0 = 0$
- $a \wedge 1 = a$
- $a \wedge \overline{a} = 0$
- $a \wedge a = a$

7.2.5 Disjonction (fonction OU)

Autre fonction logique de base, le OU. Si deux contacts à fermeture sont branchés en parallèle, la lampe s’allume dès lors que l’un des deux boutons-poussoirs correspondants est actionné.

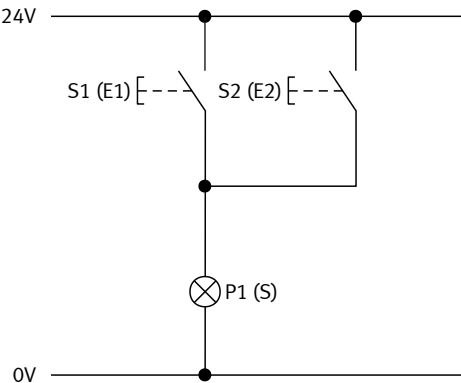


Figure 7.8 : schéma d’ensemble (disjonction)

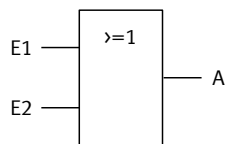
E1	E2	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Table des fonctions (disjonction)

L'équation correspondant à la fonction OU est la suivante :

$$E1 \vee E2 = A$$

Le symbole graphique logique est le suivant :



Les règles de calcul applicables à la fonction OU s'articulent comme suit :

$$a \vee 0 = a$$

$$a \vee 1 = 1$$

$$a \vee a = a$$

$$a \vee \bar{a} = 1$$

7.2.6 Autres combinaisons logiques

Nous avons déjà évoqué la réalisation de fonctions NON/ET/OU par le biais de circuits électrotechniques. Naturellement, chacune de ces fonctions peut aussi être réalisée par voie pneumatique ou électronique. L'algèbre booléenne prévoit en outre d'autres fonctions logiques, qui sont récapitulées dans le tableau suivant.

Désignation	Table des fonctions	Équation	Symbole selon EN 60617-12	Représentation pneumatique selon ISO 1219-1	Représentation électrique selon EN 60617-7															
Identité	<table><tr><td>I</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I	Q	0	0	1	1	$Q=IQ=I$												
I	Q																			
0	0																			
1	1																			
Négation	<table><tr><td>I</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I	Q	0	1	1	0	$Q=\bar{I}$												
I	Q																			
0	1																			
1	0																			
Conjonction (ET)	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	$Q=I1 \wedge I2$			
I1	I2	Q																		
0	0	0																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	1																		
Disjonction (OU)	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	$Q=I1 \vee I2$			
I1	I2	Q																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	1																		

Tableau 7.1 : combinaisons logiques

Désignation	Table des fonctions	Équation	Symbole selon EN 60617-12	Représentation pneumatique selon ISO 1219-1	Représentation électrique selon EN 60617-7																				
Inhibition	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	$Q = I1 \wedge \overline{I2}$								
I1	I2	Q																							
0	0	0																							
0	1	0																							
1	0	1																							
1	1	0																							
Implication	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	$Q = I1 \vee \overline{I2}$								
I1	I2	Q																							
0	0	1																							
0	1	0																							
1	0	1																							
1	1	1																							
NOR (NON OU)	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	$Q = \overline{I1 \vee I2}$								
I1	I2	Q																							
0	0	1																							
0	1	0																							
1	0	0																							
1	1	0																							
NAND (NON ET)	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$Q = \overline{I1 \wedge I2}$								
I1	I2	Q																							
0	0	1																							
0	1	1																							
1	0	1																							
1	1	0																							
Mémoire	<table><tr><td>S</td><td>R</td><td>Q</td><td>\overline{Q}</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>q^{n-1}</td><td>$\overline{q^{n-1}}$</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	S	R	Q	\overline{Q}	0	0	q^{n-1}	$\overline{q^{n-1}}$	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1				
S	R	Q	\overline{Q}																						
0	0	q^{n-1}	$\overline{q^{n-1}}$																						
0	1	0	1																						
1	0	1	0																						
1	1	0	1																						

Tableau 7.1 : combinaisons logiques (suite)

7.3 Exemples de structure d'une commande

La partie traitement des signaux d'une commande électropneumatique se compose de trois blocs fonctionnels. La figure 7.9 illustre sa structure à titre d'exemple.

- L'introduction des signaux met en œuvre des capteurs ou des commutateurs à bouton-poussoir/interrupteurs. Dans la figure 7.9, ce sont deux capteurs de proximité (1B1/1B2) qui servent à introduire des signaux.
- Le traitement des signaux est généralement effectué par une commande à relais ou un automate programmable industriel. Il existe d'autres formes de traitement des signaux, qui sont toutefois nettement moins usitées dans les applications automatisées. Dans la figure 7.9, c'est une commande à relais (K1/K2) qui prend en charge le traitement des signaux.
- La sortie de signaux fait appel à des distributeurs électromagnétiques à commande par déplacement (1M1/1M2).

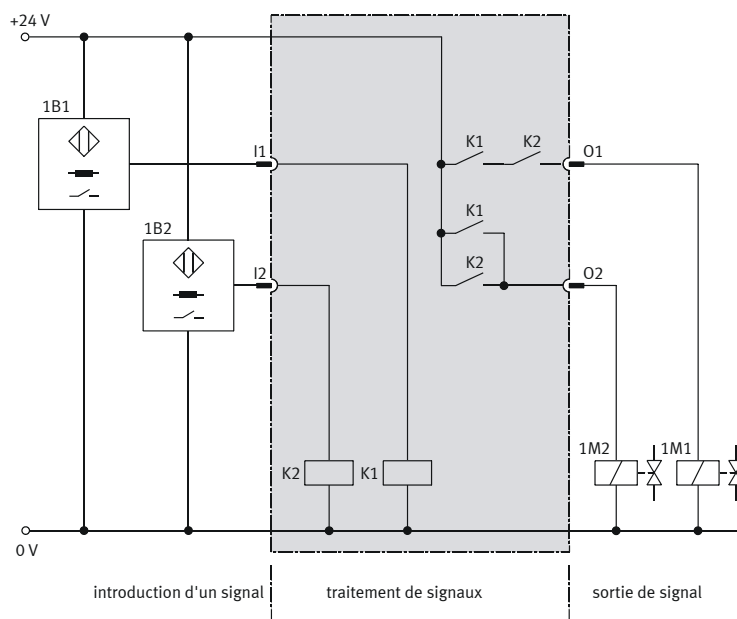


Figure 7.9 : partie commande des signaux avec commande à relais (vue schématique, schéma d'ensemble non normalisé)

Description des fonctions de la commande à relais de la figure 7.9 :

- Les composants d'introduction des signaux, en l'occurrence les capteurs de proximité inductifs 1B1 et 1B2, sont reliés aux bobines de relais (K1, K2 etc.) par le biais des entrées de commande (E1, E2 etc.).
- Le traitement des signaux s'effectue par le biais d'interconnexions adaptées entre plusieurs bobines et contacts de relais. Ici, les contacts de relais reliés à la sortie A1 correspondent à la fonction ET, tandis que les contacts affectés à la sortie A2 remplissent une fonction OU.
- Les composants de sortie des signaux, c'est-à-dire les bobines des distributeurs 1M1 et 1M2, sont reliés aux sorties de commande (A1, A2 etc.). Ils sont actionnés par les contacts des relais K1 et K2.

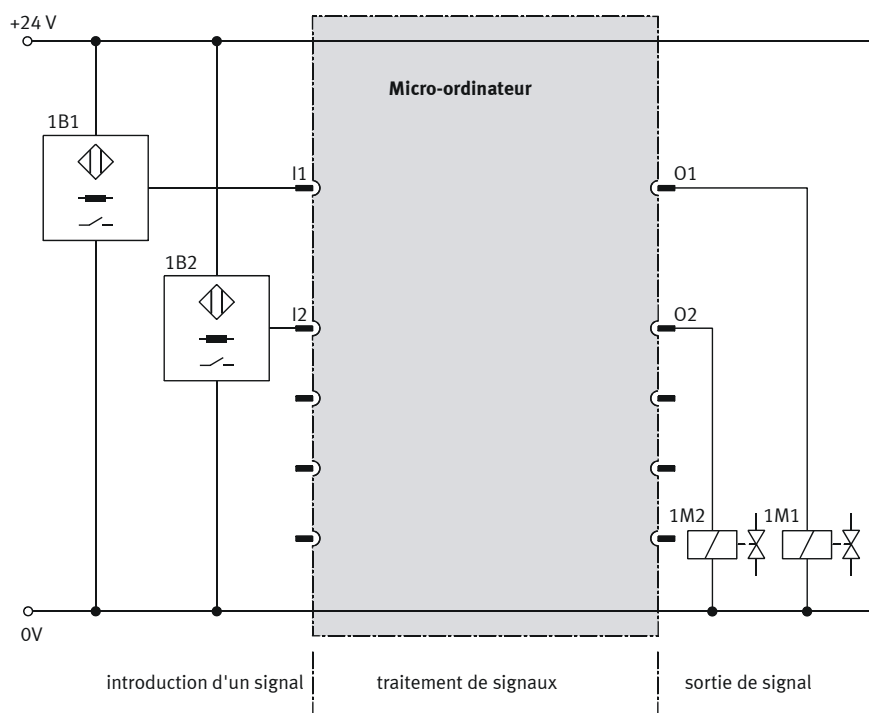


Figure 7.10 : partie commande des signaux avec automate programmable industriel (API)

La figure 7.10 illustre la partie commande des signaux d'une commande électropneumatique où le traitement des signaux est assuré par un automate programmable industriel.

- Les composants d'introduction des signaux (capteurs de proximité inductifs 1B1 et 1B2 dans la fig. 7.10) sont reliés aux entrées de l'API (E1, E2).
- Le microprocesseur programmable de l'API se charge de l'ensemble des fonctions de traitement des signaux.
- Les composants de sortie des signaux (bobines des distributeurs à commande par déplacement 1M1 et 1M2 dans la fig. 7.10) sont reliés aux sorties de l'API (A1, A2). Ils sont actionnés par un circuit électronique qui fait partie intégrante du microprocesseur.

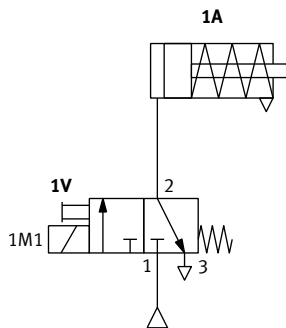
8 Applications des relais dans l'électropneumatique

Les relais permettent de réaliser l'intégralité du traitement des signaux d'une commande électropneumatique. Les commandes à relais étaient auparavant très nombreuses. Leurs principaux avantages résident dans une structure claire et un mode de fonctionnement aisément compréhensible. Les commandes à relais sont aussi relativement fiables. C'est la raison pour laquelle elles sont toujours utilisées dans le secteur industriel, notamment dans les dispositifs de coupure d'ARRÊT D'URGENCE. En matière de traitement des signaux, elles sont toutefois supplantées par des automates programmables industriels.

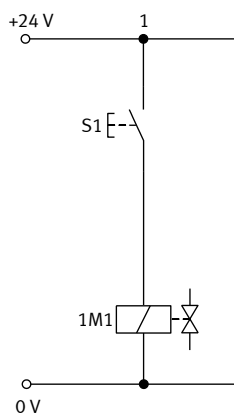
8.1 Commande directe et indirecte par relais

La tige de piston d'un vérin à simple effet doit sortir lorsque le bouton-poussoir S1 est actionné et rentrer lorsque le bouton-poussoir est relâché. La figure 8.1a illustre le schéma pneumatique correspondant.

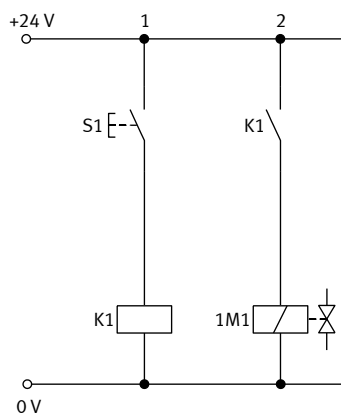
a)



b)



c)



a) Schéma pneumatique

b) Schéma électrique de commande directe

c) Schéma électrique de commande indirecte

Figure 8.1 : schémas d'ensemble d'une commande pour vérin à simple effet

8.1.1 Commande directe d'un vérin à simple effet

La figure 8.1b illustre le schéma électrique d'une commande directe pour vérin à simple effet. Lorsque le bouton-poussoir est actionné, le courant traverse la bobine 1M1 du distributeur 3/2. Le pilote électrique est activé, le distributeur bascule en position commutée et la tige de piston sort. Le courant s'interrompt lorsque le bouton-poussoir est relâché. Le pilote électrique est désactivé, le distributeur bascule en position de repos et la tige de piston rentre.

8.1.2 Commande indirecte d'un vérin à simple effet

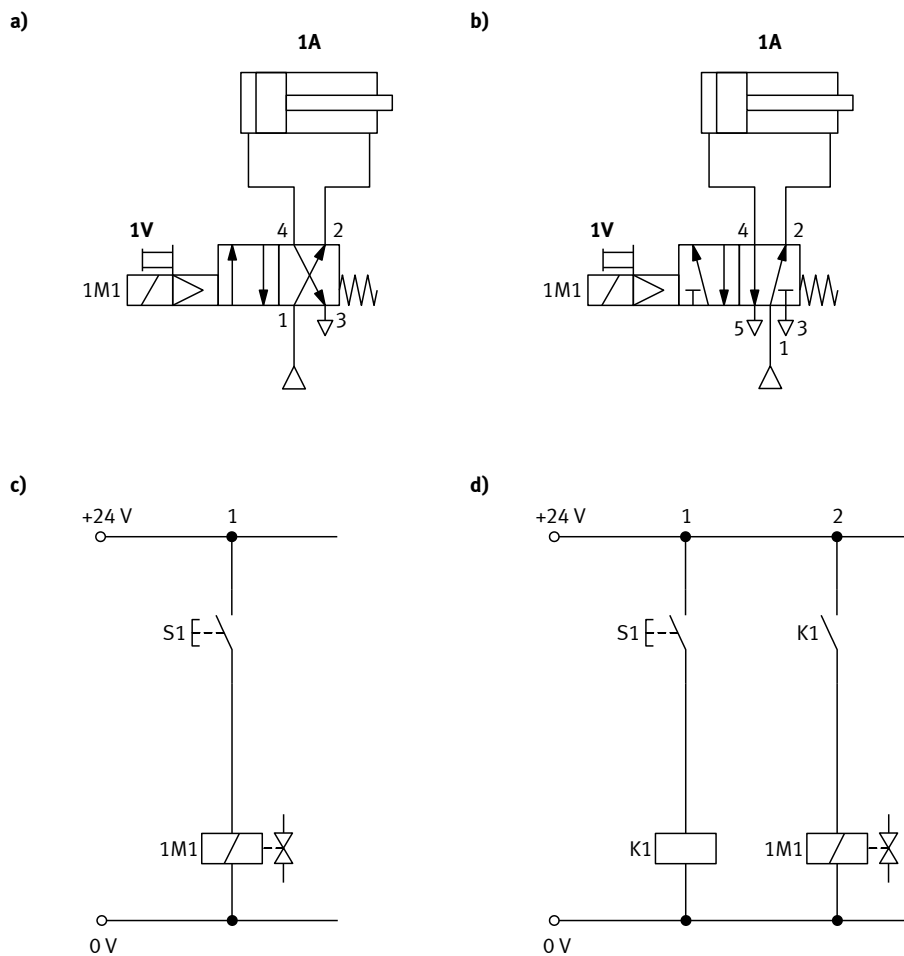
Lorsque le bouton-poussoir de commande indirecte est actionné (figure 8.1c), le courant circule dans la bobine du relais. Le contact K1 du relais se ferme, commutant le distributeur. La tige du piston sort.

Lorsque le bouton-poussoir est relâché, le courant cesse de circuler dans la bobine du relais. Le relais retombe et le distributeur passe en position de repos. La tige du piston rentre. Le résultat est donc, de prime abord, le même que dans le cas d'une commande directe. La commande indirecte, plus complexe, est systématiquement utilisée dans les cas suivants :

- différence de tension de service entre le circuit de courant de pilotage et le circuit de courant principal (par ex. 24 V et 230 V) ;
- courant traversant la bobine du distributeur supérieur à l'intensité admissible du bouton-poussoir (par ex. courant de bobine : 0,5 A ; intensité admissible du bouton-poussoir : 0,1 A) ;
- commutation de plusieurs distributeurs par le biais d'un seul bouton-poussoir ou interrupteur ;
- nécessité de multiples combinaisons entre les signaux des différents boutons-poussoirs.

8.1.3 Commande d'un vérin à double effet

La tige de piston d'un vérin à double effet doit sortir lorsque le bouton-poussoir S1 est actionné et rentrer lorsque le bouton-poussoir est relâché.



- a) Schéma pneumatique avec distributeur 4/2
 b) Schéma pneumatique avec distributeur 5/2
 c) Schéma électrique de commande directe
 d) Schéma électrique de commande indirecte

Figure 8.2 : schémas d'une commande pour vérin à double effet

La partie commande électrique des signaux est identique à celle de la commande d'un vérin à simple effet. Comme il est nécessaire d'alimenter ou de mettre à l'échappement deux chambres de vérin, il est fait appel soit à un distributeur 4/2, soit à un distributeur 5/2 (figure 8.2a ou 8.2b).

Les désignations « distributeur 4/2 » et « distributeur 5/2 » indiquent respectivement le nombre de raccords (4 ou 5) et de positions de commutation (2) du distributeur.

8.2 Combinaisons logiques avec relais

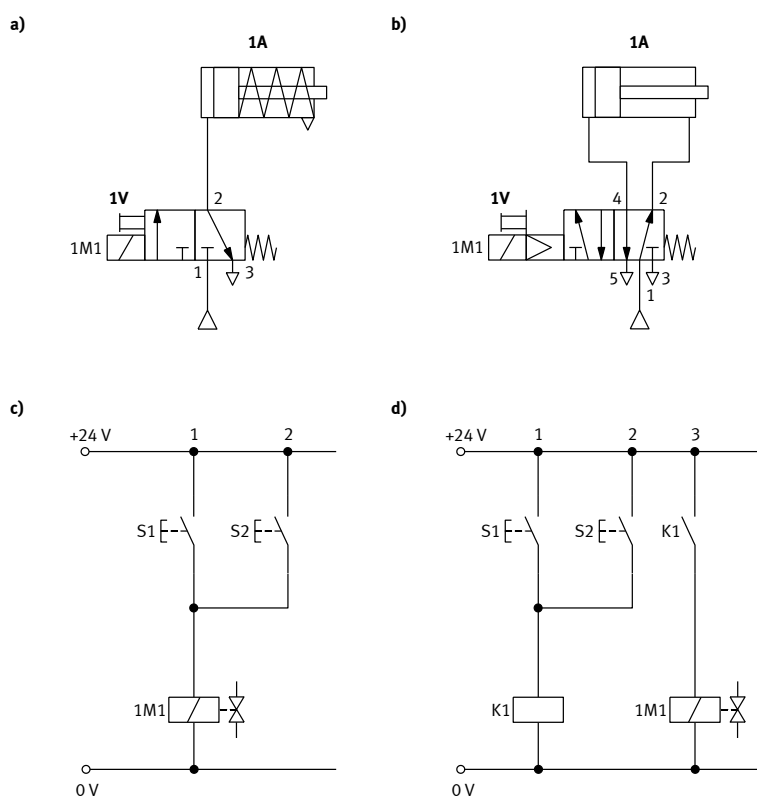
Pour que des vérins pneumatiques réalisent les mouvements souhaités, il est fréquemment nécessaire de combiner les signaux de plusieurs éléments de commande.

8.2.1 Montage en parallèle (circuit OU)

La sortie de la tige de piston d'un vérin doit pouvoir être déclenchée indépendamment par deux éléments d'introduction différents, à savoir les boutons-poussoirs S1 et S2.

C'est pourquoi les contacts des deux boutons-poussoirs sont agencés en parallèle sur le schéma (figure 8.3c ou 8.3d).

- Tant qu'aucun bouton-poussoir n'est actionné ($S1 \wedge S2 = 0$), le distributeur reste en position de repos. La tige de piston est rentrée.
- Dès qu'un des deux boutons-poussoirs au minimum est actionné ($S1 \vee S2 = 1$), le distributeur bascule en position commutée. La tige de piston sort.
- Si les deux boutons-poussoirs sont relâchés, ils s'ouvrent ($S1 \wedge S2 = 0$) et le distributeur rebasculé en position de repos. La tige de piston rentre.



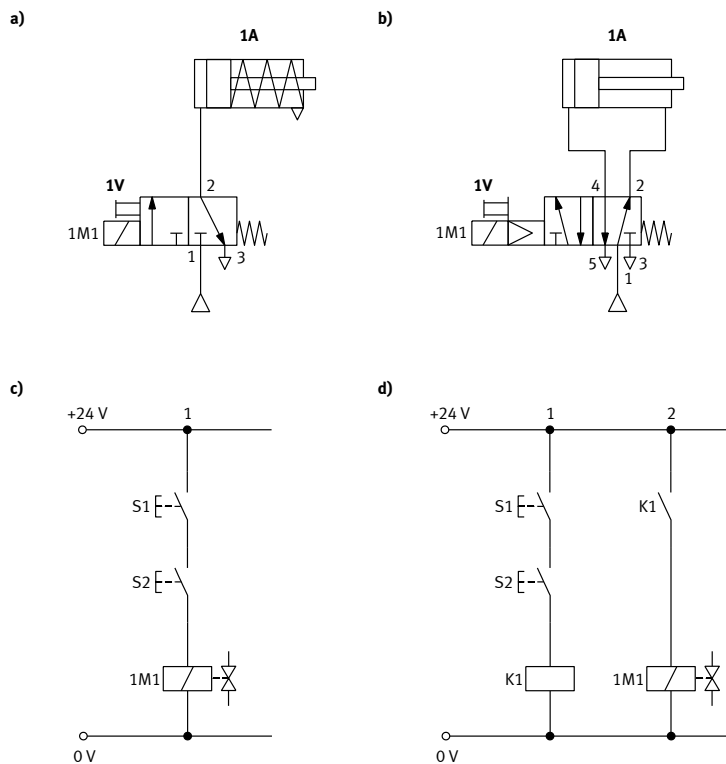
- a) Schéma pneumatique avec vérin à simple effet
 b) Schéma pneumatique avec vérin à double effet
 c) Schéma électrique de commande directe
 d) Schéma électrique de commande indirecte

Figure 8.3 : montage en parallèle de deux contacts (circuit OU)

8.2.2 Montage en série (circuit ET)

La tige de piston du vérin ne doit sortir que si les deux boutons-poussoirs S1 et S2 sont actionnés. C'est pourquoi les contacts des deux boutons-poussoirs sont agencés en série sur le schéma (figure 8.4c ou 8.4d).

- Tant qu'aucun bouton-poussoir n'est actionné ou si un seul bouton-poussoir est actionné ($S1 \vee S2 = 0$), le distributeur reste en position de repos. La tige de piston est rentrée.
- Si les deux boutons-poussoirs sont actionnés simultanément ($S1 \wedge S2 = 1$), le distributeur est commuté. La tige du piston sort.
- Dès qu'un bouton-poussoir au minimum est relâché ($S1 \vee S2 = 0$), le distributeur bascule en position de repos. La tige de piston rentre.



- a) Schéma pneumatique avec vérin à simple effet
 b) Schéma pneumatique avec vérin à double effet
 c) Schéma électrique de commande directe
 d) Schéma électrique de commande indirecte

Figure 8.4 : montage en série de deux contacts (circuit ET)

8.3 Mémorisation des signaux par relais et électrodistributeur bistable

Avec les circuits décrits précédemment, la tige de piston ne reste déployée que tant qu'un bouton-poussoir d'entrée est actionné. Dans ce cas, si le bouton-poussoir est relâché au cours du mouvement de sortie, la tige de piston rentre avant d'être parvenue à la fin de course avant.

8.3.1 Mémorisation des signaux par circuit à relais avec automaintien

Pour des raisons pratiques, il est généralement nécessaire de faire en sorte que la tige de piston se déploie intégralement, même si l'opérateur n'appuie que brièvement sur le bouton-poussoir. Pour ce faire, le distributeur doit rester dans la position souhaitée même après que le bouton-poussoir a été relâché. En d'autres termes, il faut mémoriser l'actionnement du bouton-poussoir.

Si le bouton-poussoir « MARCHE » du circuit illustré par la figure 8.5a est actionné, la bobine du relais est mise sous tension. Le relais se colle et ferme le contact K1. Lorsque le bouton-poussoir « MARCHE » est relâché, le courant continue de circuler à travers le contact K1, puisque la bobine et le relais restent activés. Le signal « MARCHE » est mémorisé. Il s'agit donc d'un circuit à relais avec automaintien.

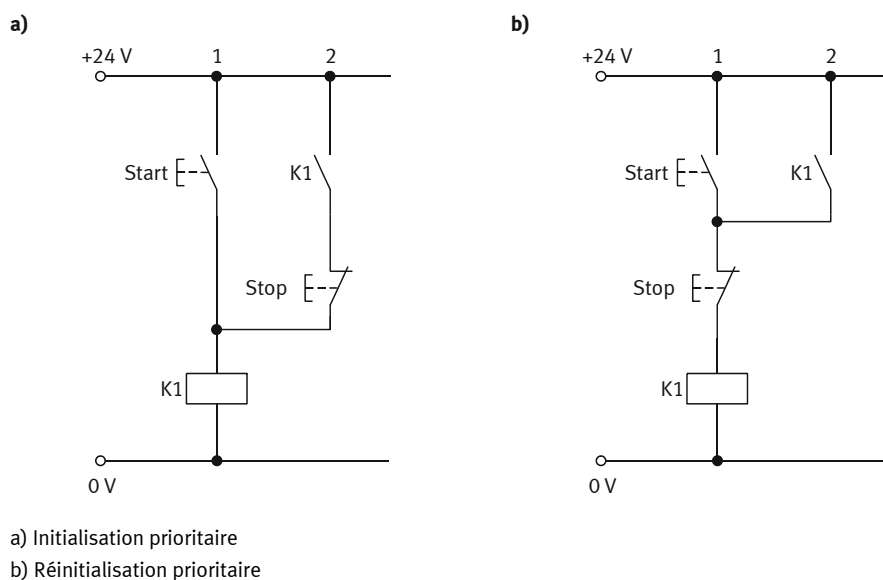


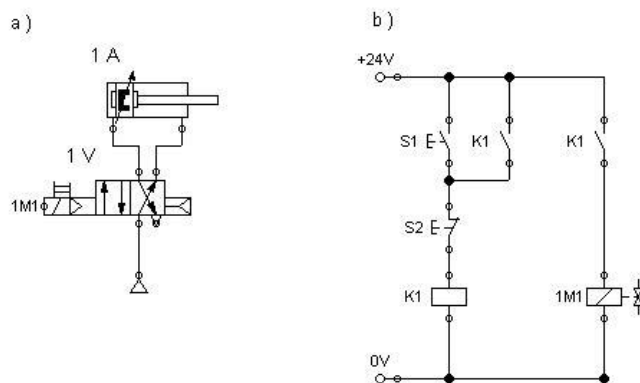
Figure 8.5 : circuit d'automaintien avec relais

Il est nécessaire d'actionner le bouton-poussoir « ARRÊT » pour couper le courant et désactiver le relais. Si les boutons-poussoirs « MARCHE » et « ARRÊT » sont actionnés tous les deux en même temps, la bobine du relais est mise sous tension. Il s'agit donc d'un circuit d'automaintien à inscription (MARCHE) prioritaire (ou à initialisation prioritaire).

Le circuit illustré dans la figure 8.5b réagit de la même manière que celui de la figure 8.5a si seul le bouton-poussoir « MARCHE » ou « ARRÊT » est actionné. En revanche, il ne se passe pas la même chose lorsque les deux boutons-poussoirs sont actionnés : la bobine du relais n'est pas mise sous tension. Il s'agit donc d'un circuit d'automaintien à réinitialisation prioritaire.

8.3.2 Commande manuelle de course aller et de course retour par relais avec automaintien

La tige de piston d'un vérin doit sortir lorsque le bouton-poussoir S1 est actionné et rentrer lorsque le bouton-poussoir S2 est actionné. La mémorisation des signaux fait appel à un relais avec automaintien.



a) Schéma pneumatique avec vérin à double effet

b) Schéma d'ensemble électrique

Figure 8.6 : commande manuelle des courses aller et retour avec mémorisation des signaux par relais à automaintien

Lorsque le bouton-poussoir S1 est actionné, le relais bascule en position d'automaintien (figure 8.6b). Le distributeur est commandé par un contact de relais supplémentaire. La tige de piston sort. Si l'automaintien est coupé par une action sur le bouton-poussoir S2, la tige de piston rentre.

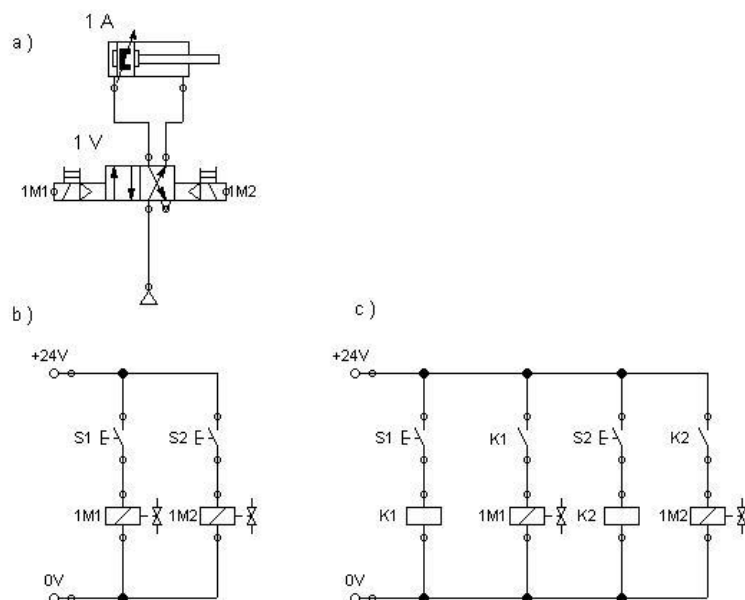
Comme il s'agit d'un circuit à relais avec réinitialisation prioritaire, si les deux boutons-poussoirs sont actionnés, la tige de piston rentre ou reste en fin de course arrière.

8.3.3 Mémorisation des signaux par un électrodistributeur bistable

Un électrodistributeur bistable est un composant qui conserve sa position de commutation même lorsque la bobine correspondante n'est plus sous tension. Il est donc doté d'une fonction mémoire.

La tige de piston d'un vérin doit être commandée par deux boutons-poussoirs, moyennant un actionnement bref

(S1 : sortie, S2 : rentrée).



- a) Schéma pneumatique avec vérin à double effet
- b) Schéma électrique de commande directe
- c) Schéma électrique de commande indirecte

Figure 8.7 : commande manuelle des courses aller et retour avec mémorisation des signaux par électrodistributeur bistable

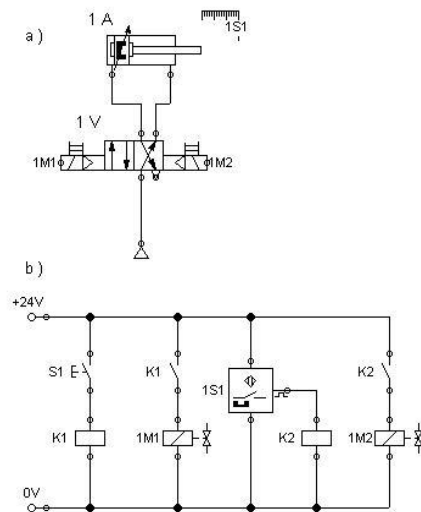
Les deux boutons-poussoirs agissent directement ou indirectement sur les bobines d'un électrodistributeur bistable (figure 8.7b ou 8.7c).

Si le bouton-poussoir S1 est actionné, la bobine 1M1 est mise sous tension. L'électrodistributeur bistable est commuté et la tige de piston sort. Si le bouton-poussoir est relâché au cours du mouvement de sortie, la tige de piston continue à se déployer jusqu'à la fin de course avant, puisque le distributeur conserve sa position de commutation.

Si le bouton-poussoir S2 est actionné, la bobine 1M2 est mise sous tension. L'électrodistributeur bistable est de nouveau commuté et la tige de piston rentre. Le mouvement se poursuit même si le bouton-poussoir S2 est relâché.

8.3.4 Commande de rappel automatique avec électrodistributeur bistable

La tige de piston d'un vérin à double effet doit sortir lorsque le bouton-poussoir S1 est actionné. La tige de piston doit se rétracter automatiquement une fois qu'elle est parvenue à la fin de course avant. À cet effet, la fin de course avant est dotée d'un capteur magnétique de fin de course S1, qui commute l'électrodistributeur par le biais du relais K2. La figure 8.6b illustre le schéma de cette commande de rappel. Si le bouton-poussoir S1 est actionné, la tige de piston sort. Lorsque la tige de piston parvient à la fin de course avant, le capteur de fin de course 1S2 active (met sous tension) la bobine 1M2, de sorte que le vérin puisse se rétracter.



a) Schéma pneumatique

b) Schéma électrique de commande indirecte

Figure 8.8 : commande de rappel automatique avec mémorisation des signaux par électrodistributeur bistable

8.3.5 Comparaison de la mémorisation des signaux d'un relais à automaintien et d'un électrodistributeur bistable

Les signaux peuvent être mémorisés soit dans la partie puissance, par un électrodistributeur bistable, soit dans la partie commande des signaux, en faisant appel à un relais avec automaintien. Les divers circuits se caractérisent par des réactions différentes en cas de présence simultanée d'un signal d'initialisation et de réinitialisation, de panne d'alimentation électrique ou de défaut (par ex. rupture de fil) (tableau 8.1).

Situation	Mémorisation des signaux par un électrodistributeur bistable	Mémorisation des signaux par un circuit électrique d'automaintien associé à un distributeur à rappel par ressort	
		Initialisation prioritaire	Réinitialisation prioritaire
Signaux d'inscription et de réinitialisation communs	Position du distributeur inchangée	Distributeur actionné	Passage du distributeur en position de repos
Coupure de l'alimentation électrique	Position du distributeur inchangée	Passage du distributeur en position de repos	Passage du distributeur en position de repos

Tableau 8.1 : comparaison de la mémorisation des signaux par circuit d'automaintien et électrodistributeur bistable

8.4 Circuits à temporisation avec relais

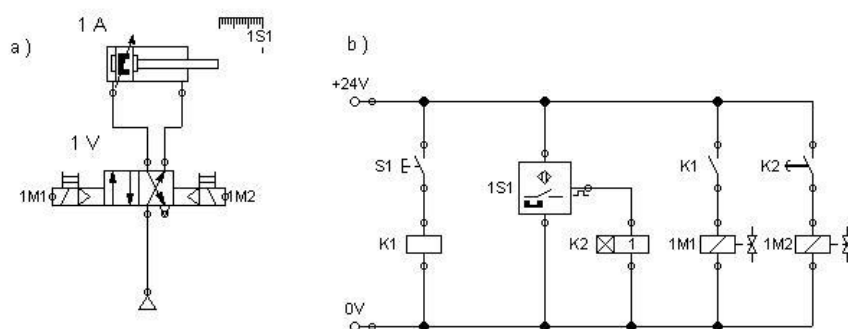
Nombre d'applications des techniques d'automatisation nécessitent l'immobilisation de la tige de piston d'un vérin pneumatique pendant un laps de temps bien défini. C'est notamment le cas des presses, qui doivent maintenir deux pièces l'une contre l'autre le temps que la colle prenne, faute de quoi elles pourraient ensuite se détacher l'une de l'autre.

Ce type de fonction fait appel à des relais temporisés à l'attraction ou à la retombée. Il s'agit de relais qui peuvent déclencher ou interrompre une opération de commutation au bout d'un laps de temps défini, appelé temporisation.

8.4.1 Commande d'un vérin dans le temps

La tige de piston d'un vérin doit sortir lorsque le bouton-poussoir S1 est brièvement actionné, s'immobiliser dix secondes au niveau de la fin de course avant, puis rentrer automatiquement.

La figure 8.9b illustre le schéma électrique de cette rétraction temporisée. Si le bouton-poussoir S1 est actionné, la tige de piston sort. Une fois la fin de course avant atteinte, le capteur de fin de course 1S1 se ferme. Le courant circule dans la bobine du relais K2. Le contact K2 reste ouvert jusqu'à ce que la durée de temporisation réglable (en l'occurrence 1 seconde) se soit écoulée. Ensuite, il se ferme et la tige de piston rentre.



a) Schéma pneumatique

b) Schéma électrique

Figure 8.9 : rétraction temporisée (relais temporisé à l'attraction, mémorisation par électrodistributeur bistable)

9 Automates programmables industriels (API)

9.1 Généralités

Les automates programmables industriels (API) constituent de nos jours la solution la plus répandue pour répondre aux problèmes de commande complexes. Avec ce type de commande, le programme n'est pas déterminé par une interconnexion entre différents relais, mais élaboré à l'aide d'un logiciel adapté. Les API traitent principalement des signaux binaires.

Leurs avantages par rapport aux commandes câblées ou par contact sont les suivants :

- remplacement d'un grand nombre de relais par quelques blocs logiques intégrés dans le logiciel ;
- câblage moins complexe ;
- modification des programmes plus rapide et plus efficace ;
- simplification de la recherche des erreurs ;
- compétitivité nettement plus importante.

Le système d'apprentissage MecLab® met en œuvre une simulation d'API, intégrée au logiciel FluidSIM®, qui remplace l'API réel. La programmation est en grande partie identique à celle d'un API standard simple, comme l'automate Siemens illustré par la figure 9.1 et baptisé « LOGO ! ».

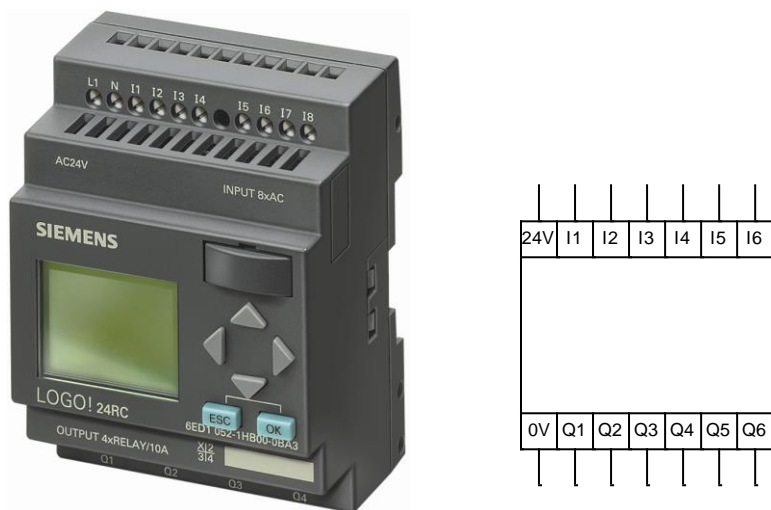


Figure 9.1 : image de l'API « LOGO ! » de marque Siemens et symbole correspondant dans FluidSIM®

9.2 Symboles logiques du logiciel de commande FluidSIM®

L'efficacité d'une commande suppose le déclenchement des processus au moment opportun, dans le bon ordre et avec un positionnement précis. Outre un matériel fiable, un logiciel est nécessaire pour planifier, mais aussi piloter des processus techniques complexes à l'aide d'une interface utilisateur en adéquation avec les normes internationales. Le logiciel FluidSIM® est conforme à toutes ces exigences.

FluidSIM® offre trois possibilités de création de commandes :

- circuits pneumatiques ;
- circuits électriques ;
- circuits logiques.

Tous ces types de circuits peuvent être combinés et le mode de simulation permet de tester les fonctions de commande avant de les transposer à un module réel. Le contrôle préalable de la solution mise au point sur l'ordinateur prévient ainsi tout risque de dommages au niveau du système technique.

Le tableau suivant récapitule les principaux symboles logiques disponibles dans le logiciel FluidSIM®.

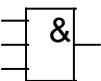
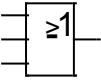
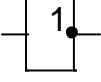
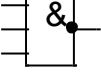
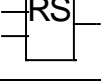
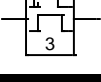
Symbole	Désignation	Fonction
	ET	Basculement de la sortie sur l'état 1 lorsque toutes les entrées sont à l'état 1. Les entrées non affectées ont systématiquement l'état 1.
	OU	Basculement de la sortie sur l'état 1 lorsqu'au moins une entrée est à l'état 1. Les entrées non affectées ont systématiquement l'état 0.
	NON	Inversion de l'entrée.
	NON ET (NAND)	Basculement de l'entrée sur l'état 0 lorsque toutes les entrées sont à l'état 1. Les entrées non affectées ont systématiquement l'état 1.
	Cellule d'automatisme	Basculement de l'entrée sur l'état 1 lorsque l'entrée supérieure passe à l'état 1. La sortie ne revient à l'état 0 que si l'entrée inférieure bascule sur l'état 1.
	Temporisation à l'enclenchement/au déclenchement	Lorsque l'entrée bascule sur l'état 1, la sortie commute sur l'état 1 à l'issue de la première temporisation définie, puis repasse à l'état 0 une fois la deuxième temporisation paramétrée écoulée.

Tableau 9.1 : symboles logiques dans FluidSIM®


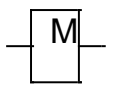
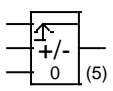
Symbole	Désignation	Fonction
	Minuterie	Basculement de la sortie sur l'état 1 à l'issue de la durée d'enclenchement, puis passage à l'état 0 une fois le temps de déclenchement écoulé. Ce processus peut être répété.
	Indicateur	La sortie adopte la valeur de l'entrée. Cette fonction est nécessaire, car de nombreux blocs logiques ne doivent pas être reliés à la sortie d'un autre bloc logique.
	Compteur	Comptage du nombre de passages à la valeur 1 de l'entrée médiane. La sortie bascule sur l'état 1 dès que le nombre prédéfini d'impulsions de comptage est atteint. L'entrée inférieure permet de paramétrer le sens de comptage (croissant/décroissant), tandis que l'entrée supérieure sert à réinitialiser le compteur.

Tableau 9.1 : symboles logiques dans FluidSIM® (suite)

9.3 Programmation d'une commande combinatoire à l'aide d'un API

9.3.1 Exemple 1 : automaintien

La figure 9.2 illustre un circuit composé d'un vérin à double effet et d'un distributeur 4/2 monostable. Il faut donc créer un programme API qui fasse sortir la tige de piston lorsqu'un bouton-poussoir T1 est actionné. La tige de piston doit rentrer une fois qu'elle a atteint la fin de course arrière, sous l'effet du capteur de proximité 1S1.

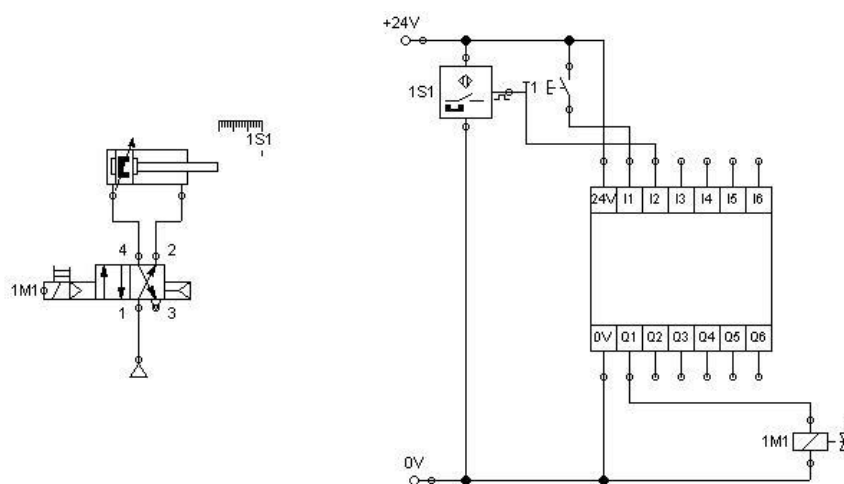


Figure 9.2 : schéma d'ensemble pneumatique avec électrodistributeur et capteur de fin de course

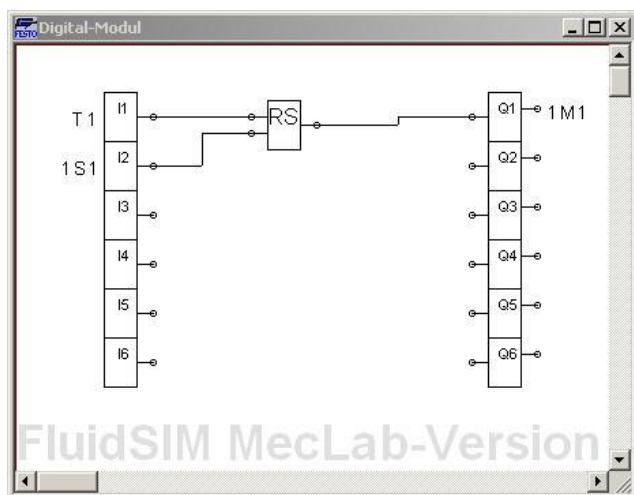


Figure 9.3 : programme API correspondant à la figure 9.2

La figure 9.3 illustre le programme API correspondant. Le bouton-poussoir T1 est raccordé à l'entrée I1 de l'API. Ce bouton active une cellule d'automaintien qui met sous tension l'aimant du distributeur 1M1, lequel est relié à la sortie Q1 de l'API.

Lorsque le piston du vérin 1A (voir figure 9.2) atteint la fin de course arrière, il active le capteur 1S1, qui est raccordé à l'entrée I2 de l'API. La cellule d'automaintien et la sortie Q1 sont alors réinitialisées. Le distributeur repasse en position de repos et la tige de piston du vérin se rétracte.

9.3.2 Exemple 2 : fonction ET, temporisateur

La figure 9.4 illustre un circuit pneumatique modifié. Le vérin est équipé de deux capteurs de proximité, respectivement situés en fin de course avant et fin de course arrière. Il faut concevoir un programme qui fasse sortir le vérin lorsqu'il se trouve en fin de course arrière et que le bouton-poussoir est actionné. La tige de piston doit se déployer totalement, s'immobiliser précisément 3 secondes, puis se rétracter.

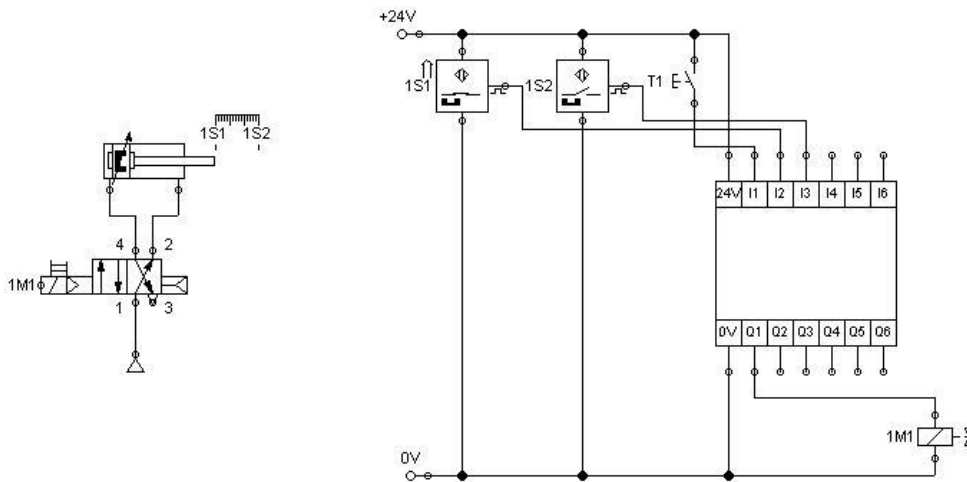


Figure 9.4 : vérin avec deux capteurs de fin de course

La figure 9.5 illustre le programme API correspondant. Les entrées I1 et I2, auxquelles sont reliés le bouton-poussoir de démarrage et le capteur de proximité 1S1, sont combinées à l'aide d'une fonction ET (la cellule High règle la troisième entrée, qui n'est pas utilisée, sur 1). Si le vérin est en fin de course arrière et que le bouton-poussoir est actionné, toutes les entrées de la fonction ET passent à 1. La sortie de la fonction ET, ainsi que l'entrée de la cellule d'automatisme, basculent également sur 1 et le vérin se déploie.

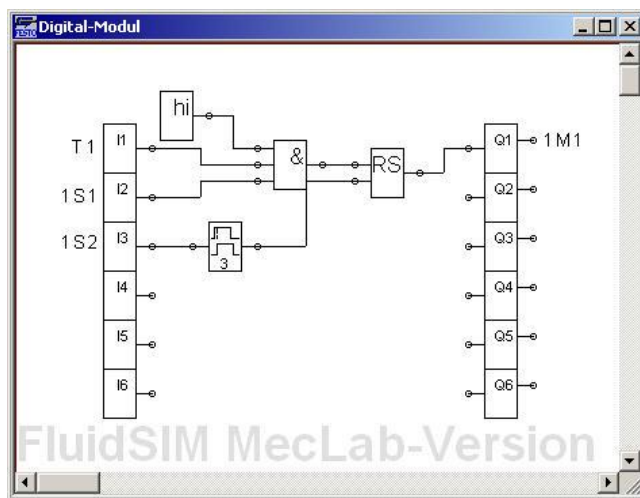


Figure 9.5 : programme API correspondant à la figure 9.4

Lorsque le vérin parvient à la fin de course avant, il active le capteur de proximité 1S2, lequel fait passer l'entrée du temporisateur à l'état 1. Une fois la temporisation paramétrée écoulée, la sortie de la cellule de temporisation passe à 1, réinitialisant par là même la cellule d'automatisme. L'aimant du distributeur 1M1 est mis hors tension et le vérin se rétracte.

9.4 Programmation d'une commande séquentielle à l'aide de chaînes séquentielles

Les commandes combinatoires décrites dans la section précédente sont suffisantes pour les problèmes de commande simples. Mais lorsqu'il est question de processus qui impliquent des étapes consécutives complexes, ce type de programmation simplifiée ne s'avère généralement pas suffisant. C'est la raison pour laquelle les chaînes séquentielles ont été créées. Avec une chaîne séquentielle, le traitement d'une étape conditionne le déroulement de l'étape suivante. Les informations collectées à chaque étape sont stockées temporairement dans des cellules d'automatisme.

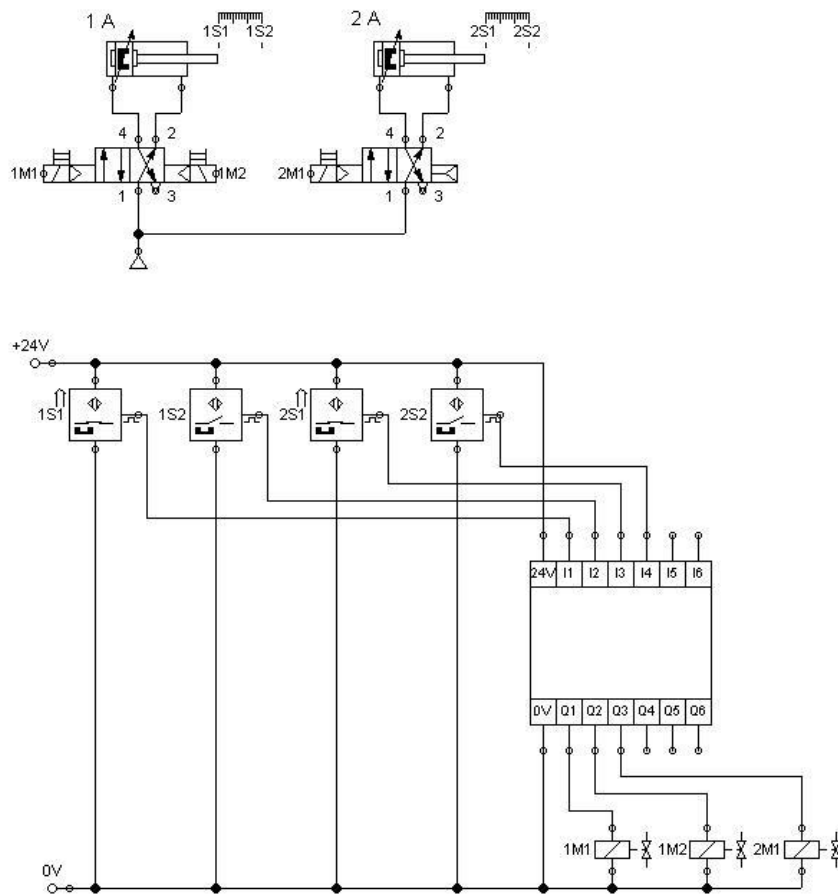


Figure 9.6 : circuit avec deux vérins à double effet

La figure 9.6 illustre le schéma d'ensemble de deux vérins comportant chacun deux capteurs de proximité de contrôle de fin de course.

La figure 9.7 illustre le programme API correspondant. Le processus peut être décrit comme suit :

- Lorsque les capteurs de proximité 1S1 et 2S1 sont activés (c.-à-d. lorsque les deux vérins sont en position initiale), la cellule d'automatisme est activée par la fonction ET. Celle-ci commut l'aimant de distributeur 1M1 et le vérin se déploie (étape 1).
- Lorsque le vérin 1A est parvenu à la fin de course avant, la seconde fonction ET active la deuxième cellule d'automatisme. L'aimant de distributeur 2M1 est commuté et le vérin 2A se déploie (étape 2). L'étape 2 ne peut toutefois être réalisée qu'une fois que l'étape 1 a été traitée, puisque la sortie de la première cellule d'automatisme est reliée à l'une des entrées de la fonction ET du deuxième circuit. Une fois l'étape 2 exécutée, elle réinitialise l'étape 1 par le biais de l'indicateur, en remettant la cellule d'automatisme à zéro.
- Une fois l'étape 2 exécutée et les deux vérins parvenus en fin de course avant, l'étape 3 est initialisée. L'étape 2 est réinitialisée, l'aimant de distributeur 1M2 est activé et l'aimant de distributeur 2M1 désactivé. Les deux vérins reviennent en position initiale et le cycle reprend depuis le début.

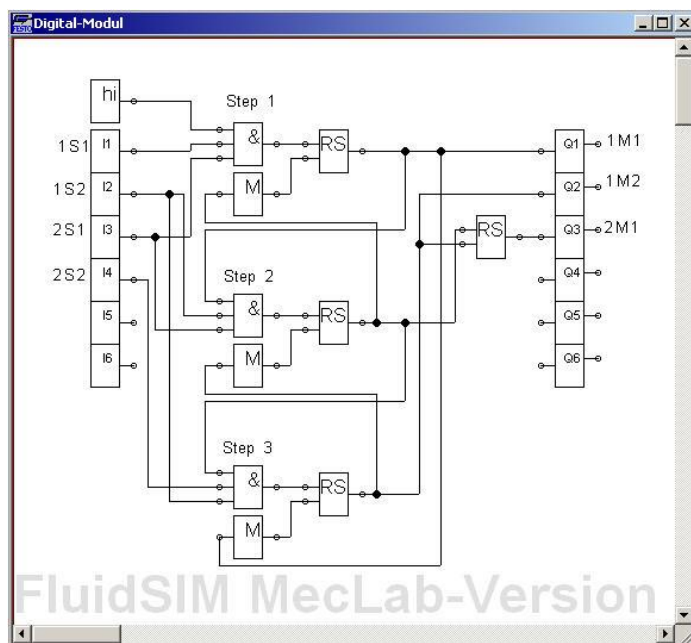


Figure 9.7 : programme API avec chaîne séquentielle

Notons que l'exécution de chaque étape conditionne le déroulement de l'étape suivante, laquelle réinitialise l'étape précédente. La longueur des chaînes séquentielles est théoriquement illimitée, ce qui permet de réaliser des opérations particulièrement complexes.

