

Un test pour les lecteurs les plus assidus de la rubrique « Boîte à outils » : dans quel numéro de Technologie avons-nous initié cette série intitulée « Guide de dimensionnement » et consacrée aux chaînes d'actions électriques, pneumatiques et hydrauliques ?

Cette grande suite a débuté dans le numéro 105 de janvier-février 2000. Elle se termine, 26 numéros plus tard, par ce dernier guide que nous vous proposons en

deux parties. Il a trait à la conception des circuits de puissance pour la commande fonctionnelle (pilotage, maîtrise des efforts et des vitesses) des mouvements des actionneurs pneumatiques – sans oublier les contraintes opérationnelles de sécurité.

Quel choix de distributeurs et auxiliaires doit-on faire, pour piloter les vérins, dans des conditions spécifiées ? Une réponse simple et pratique avec les fiches d'aide à la conception.

MOTS-CLÉS automatismes, partie opérative, pneumatique, préactionneur, énergie, outil et méthode, sécurité

L'actionneur est choisi, dimensionné et l'on connaît bien entendu ses conditions d'implantation. Nous savons aussi que la machine sera équipée d'une unité de traitement d'air pour le filtrer, le réguler et éventuellement l'huiler. En effet, la longévité des matériels dépend pour beaucoup de ce conditionnement. Son rôle et son dimensionnement est connu, il dépend essentiellement du débit instantané maximal de la machine (lire à ce sujet « Guide de dimensionnement – La production d'énergie pneumatique », *Technologie* n° 110, novembre-décembre 2000).

Le problème restant est le choix des distributeurs et des auxiliaires pour piloter les vérins, dans les conditions spécifiées. Et l'aboutissement final en sera l'élaboration des schémas du circuit d'alimentation et des circuits de puissance des actionneurs.

Ainsi se termine ce travail de conception des chaînes d'actions électropneumatiques.

Mais, tout d'abord, revenons sur l'unité de conditionnement d'air. Elle ne suffit pas, à elle seule, pour alimenter une machine. Il est en effet nécessaire de lui adjoindre des composants pour assurer les fonctions de sécurité.

Le circuit d'alimentation en énergie pneumatique

C'est un problème quasi constant dans la conception de machines électropneumatiques. L'air comprimé disponible dans les ateliers n'est pas exempt d'impuretés et a des niveaux de pression pas toujours compatibles avec l'usage qu'il doit en être fait sur chaque équipement.

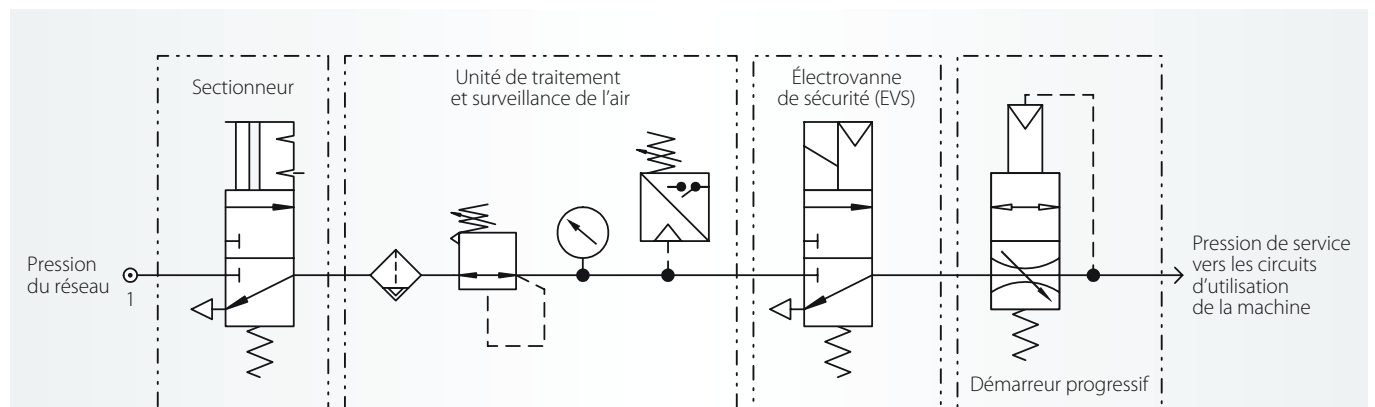
De plus, chacune de ces machines doit avoir un comportement sécuritaire en cas de variation ou de disparition de l'énergie

d'alimentation, et pouvoir être mise hors énergie pour les interventions manuelles de réglage ou de maintenance.

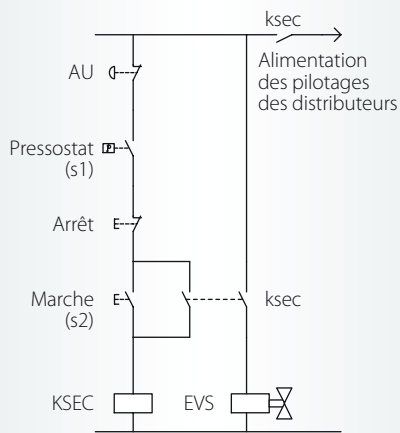
Pour toutes ces raisons, le circuit d'alimentation présent sur tous ces équipements aura au moins la forme minimale donnée en figure 1. Regardons précisément le rôle de chaque composant.

Le premier matériel est le sectionneur général à commande manuelle. Il permet à l'opérateur d'isoler l'équipement du réseau de distribution de l'énergie et d'en purger les circuits de puissance. Cette opération est nécessaire pour les interventions des techniciens dans les zones dangereuses – où il y a présence d'actionneurs pneumatiques – et protégées de la machine.

En deuxième position, on retrouve l'unité de conditionnement d'air. Son rôle est bien connu, elle filtre les impuretés solides, élimine l'humidité présente dans



▲ **Figure 1. Le circuit d'alimentation pneumatique avec l'électrovanne de sécurité (EVS)**



▲ **Figure 2.**
Le circuit de commande de sécurité

l'air comprimé et régule une pression de service consignée par l'utilisateur.

À ce traitement d'air, on adjoint un manomètre pour visualiser le niveau de pression locale ainsi qu'un pressostat pour surveiller la présence continue sans variation de cette alimentation. Cette information de présence d'énergie conditionne l'ouverture du circuit électrique câblé de sécurité (figure 2) qui commande l'électrovanne de sécurité (EVS) placée juste après.

Ce point est essentiel pour le traitement de la sécurité des machines, qui fixe, concernant leur alimentation, deux contraintes incontournables :

- La variation ou la disparition de l'alimentation en énergie de la partie opérative d'une machine doit provoquer l'arrêt de sécurité de l'installation, donc la coupure et la purge de toutes les énergies résiduelles pour assurer la sécurité des hommes et des biens ;

- Les circuits de commande doivent interdire tout redémarrage intempestif après disparition de l'énergie d'alimentation consécutive à un arrêt de sécurité.

Vérifions cette fonctionnalité sur les circuits d'alimentation (figure 1) et de commande de sécurité (figure 2).

Une perte de pression du réseau – due à une panne du compresseur, par exemple – se traduira donc par l'ouverture du contact du pressostat (s1), qui coupera l'alimentation du relais de sécurité (KSEC). La retombée en position repos de ce relais provoque la fermeture de l'électrovanne (EVS), coupant et purgeant ainsi l'énergie fluide des circuits d'utilisation. L'arrêt de sécurité – souvent appelé à tort arrêt d'urgence – est ainsi obtenu conformément à la première exigence normative.

Par la suite, lors du rétablissement de la pression dans le réseau, la machine ne peut redémarrer seule, sans l'accord de

l'opérateur, même si le pressostat détecte un niveau de pression correct. Seule la commande volontaire de l'opérateur sur le bouton de marche (s2) réenclenche le relais (KSEC) qui pilote l'ouverture de l'EVS et permet à la machine d'être à nouveau sous alimentation.

Cette mise en pression se fait progressivement grâce au dernier composant de cette ligne, le démarreur progressif. Son rôle est de limiter le débit d'air dans la phase de démarrage afin d'éviter des mouvements rapides des actionneurs qui se sont généralement vidés d'air comprimé au moment de l'arrêt. Ce dispositif protège les matériels et, indirectement, les opérateurs.

Ces deux circuits, d'alimentation (figure 1) et de commande de sécurité (figure 2), constituent le dispositif de sécurité électropneumatique minimal présent sur toute machine, et donc le point de départ de toute étude de la conception, du choix et du dimensionnement des circuits de puissance des actionneurs.

Le circuit de puissance des actionneurs pneumatiques

À partir de la pression délivrée par l'alimentation commune, le circuit de puissance de chaque actionneur réalise quatre fonctions :

- le pilotage de ses mouvements ;
- la maîtrise de ses vitesses ;
- la maîtrise de ses efforts ;
- la commande sécuritaire.

Regardons ce que chacune de ces fonctions implique, et les moyens technologiques disponibles pour les réaliser.

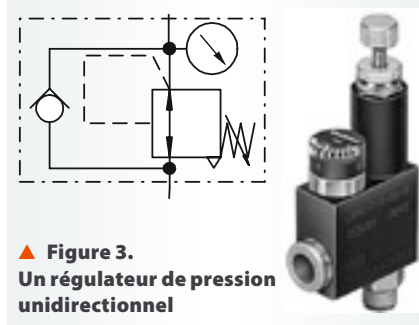
Le pilotage des mouvements

Cette fonction est réalisée par les distributeurs, qui grâce à leurs positions vont effectuer les commutations nécessaires – mise à l'échappement et pression. Les technologies et les types de distributeurs sont nombreux : à 3, 4 ou 5 orifices et à 2 ou 3 positions.

Chacun de ces distributeurs 3/2, 4/2, 5/2 ou 5/3 peut être à simple ou double pilotage, monostable ou bistable. Les vérins simple effet utilisent des 3/2 et les double effet requièrent 2 distributeurs 3/2, un 4/2, un 5/2 ou un 5/3. Le choix de tel ou tel distributeur se fera donc en premier pour des raisons fonctionnelles, puis sa taille sera calculée en fonction du diamètre du vérin et de sa vitesse.

La maîtrise des efforts

Le seul moyen de régler et contrôler la force développée par l'actionneur est d'ajuster la valeur de la pression de ser-



▲ **Figure 3.**
Un régulateur de pression unidirectionnel

vice. Pour cela, on utilise un régulateur de pression unidirectionnel (figure 3). Il règle une valeur de pression sélectionnée manuellement, indépendamment des variations du réseau et de consommation du vérin. Ce petit composant en ligne est en général équipé d'un manomètre pour visualiser la pression de service réelle. Son clapet anti-retour intégré permet à une pression appliquée au côté opposé de passer sans être réduite.

La maîtrise des vitesses

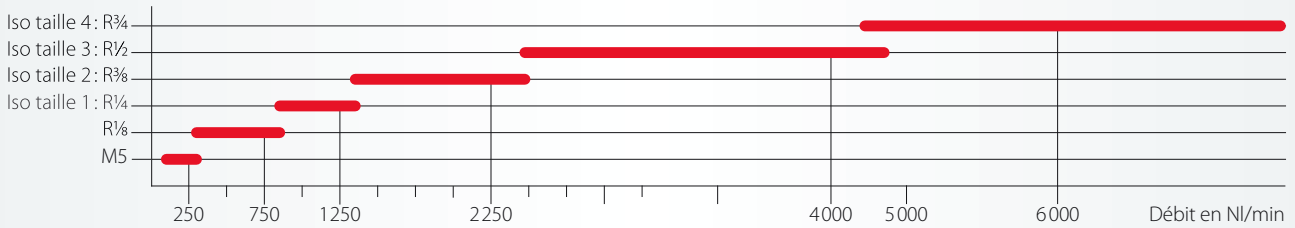
Nous savons que la vitesse des vérins dépend du débit de l'air comprimé. Et la solution connue de tous est la limitation du débit d'air à l'échappement pour réduire la vitesse. L'inconvénient de cette réduction de débit est la perte de charge, qui fait naître une contre-pression, faisant chuter sensiblement le rendement pneumatique de l'actionneur – l'article « Guide de dimensionnement – Les vérins pneumatiques » (*Technologie* n° 121, septembre-octobre 2002) explique précisément ce point. En revanche, elle offre l'avantage d'avoir une action régulatrice de la vitesse, en cas de variation de charge appliquée au vérin.

Mais nous oublions trop souvent qu'il est préférable de déjà calibrer le débit à l'admission en dimensionnant correctement le distributeur. Seul obstacle à cet ajustement : la standardisation des distributeurs pour la maintenance ou leur montage en îlots (ou terminaux). C'est la raison pour laquelle on installe dans les cas les plus ardues des limiteurs de débit à l'admission.

Retenons donc que la technique de réglage de la vitesse des vérins c'est d'abord un débit à l'admission calibré, avec une taille adaptée de distributeur, et ensuite un ajustement du débit à l'échappement, pour la moduler et la réguler en cas de variation des charges appliquées au vérin.

1. (Note de la page 17). Professeur agrégé de génie mécanique en STS MAI au lycée Gustave-Eiffel de Cachan. Courriel : taillard@lge.ens-cachan.fr

Taille des orifices du distributeur



▲ **Figure 4. Le tableau de correspondance des tailles et débits des distributeurs**

La commande sécuritaire

Elle est indissociable du comportement du circuit amont d'alimentation, et en particulier de l'électrovanne de sécurité, qui coupe et purge les circuits de puissance de l'installation. Elle est aussi conditionnée par le circuit de commande qui coupe tous les signaux de pilotage des distributeurs en cas d'arrêt de sécurité (figure 2).

Partant de cet axiome, deux commandes sécuritaires d'actionneur peuvent être choisies : une libération du vérin par la mise à l'échappement de ses chambres ou bien un blocage quasi instantané du vérin par effet pneumatique ou mécanique.

On doit choisir celle qui assurera la plus grande sécurité au regard des risques estimés et des conditions d'implantation. Typiquement, pour un vérin de presse verticale, le choix d'une commande de blocage de l'actionneur s'impose au vu des risques d'écrasement consécutif à la chute par gravité de l'outillage de la machine. *A contrario*, un vérin de transfert horizontal d'une machine de conditionnement peut être plus simplement libéré, si son énergie cinétique n'est pas trop importante.

La libération du vérin, dans le cas d'un double effet, provoque son arrêt dans une position quelconque. En revanche, pour le simple effet, le comportement sera orienté puisqu'il reprendra la position rappelée par son ressort. Au plan technologique, cette libération est faite par l'association de l'EVS et d'un distributeur compatible laissant échapper l'air du vérin.

Le blocage, de plus en plus nécessaire, peut s'effectuer de plusieurs façons :

- par la position centre fermé d'un distributeur 5/3 (blocage pneumatique) ;
- par clapet anti-retour, piloté ou non (blocage pneumatique) ;
- par bloqueur 2/2 (blocage pneumatique) ;
- par bloqueur mécanique sur tige, intégré au vérin ;
- par bloqueur mécanique externe associé au vérin.

Chacune de ces solutions présente des caractéristiques différentes de rapidité, dureté et durabilité de blocage. Là

encore, le choix se fait selon les risques estimés. Ainsi, la solution « bloqueur mécanique » – qui présente les meilleures performances – sera réservée aux risques les plus critiques.

Le dimensionnement

Le premier élément à dimensionner dans ce circuit de puissance est, bien entendu, le distributeur, car sa taille détermine le débit d'air maximal qui peut le traverser, préreglant ainsi la vitesse du vérin. Plus le distributeur est gros, plus les diamètres de passage sont importants et le débit élevé. En général, dans les distributeurs de technologie récente, le débit est proportionnel à la taille des orifices, M5, R1/8, R1/4, R3/8, R1/2, R3/4 (figure 4).

Le débit des distributeurs est donné pour une alimentation en entrée de 6 bars et une perte de pression de 1 bar en sortie. Il est exprimé en normolitres par minute (NI/min), c'est-à-dire dans des conditions normales de température (20 °C) et de pression (1,013 bar). Ce débit est souvent appelé débit nominal normal pour les deux raisons précitées.

Le débit nécessaire pour alimenter un vérin se calcule de la manière décrite dans le tableau de calcul ci-dessous.

Le distributeur choisi devra avoir un débit nominal normal directement supé-

rieur à la plus grande des valeurs de Q_r ou Q_s calculée dans le tableau.

Les autres composants de la chaîne sont choisis avec un débit identique à celui du distributeur.

Les fiches d'aide à la conception

Pour faciliter ce travail de conception des circuits de puissance – choix et agencement des composants du circuit – nous vous proposons un ensemble de six fiches d'aide à la conception (FAC). Nous présentons ici les trois premières (FAC 1, FAC 2 et FAC 3) ; les trois suivantes seront données dans la seconde partie de ce guide, au prochain numéro de *Technologie*.

Chaque fiche correspond à une famille de vérins avec une implantation commune :

- la FAC 1 présente le cas des vérins simple effet, montés en position indifférente ;
- la FAC 2, des vérins double effet, avec tige, montés horizontalement ;
- la FAC 3, des vérins double effet, sans tige, travaillant dans un plan horizontal.

Cette dernière s'intéresse aux vérins dont les sections, de part et d'autre du piston, sont identiques – typiquement les vérins sans tige –, qui entraînent des

Tableau de calcul des débits consommés pour le cas le plus complet du vérin à tige

| Débit | En sortie de tige | En rentrée de tige |
|---|---|---|
| Consommation d'air en dm^3 à p_{serv} : V | $V_s = S_p \cdot c$ | $V_r = (S_p - S_t) \cdot c$ |
| Débit d'air nécessaire en dm^3/s à p_{serv} ... : Q' | $Q'_s = V_s / t_s$ | $Q'_r = V_r / t_r$ |
| Débit d'air nécessaire en NI/min : Q | $Q_s = Q'_s \cdot (p_{\text{serv}} + 1) \cdot 60$ | $Q_r = Q'_r \cdot (p_{\text{serv}} + 1) \cdot 60$ |

c : course du vérin en dm

S_p : section du piston en dm^2

S_t : section de la tige en dm^2

V_s : volume d'air consommé pour la sortie de tige à la pression de service en dm^3

V_r : volume d'air consommé pour la rentrée de tige à la pression de service en dm^3

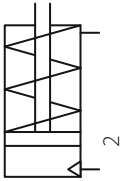
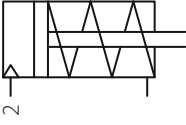
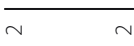
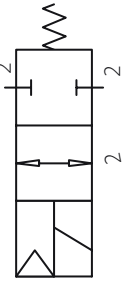


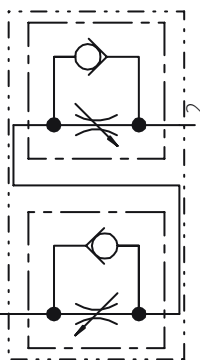

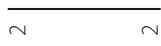
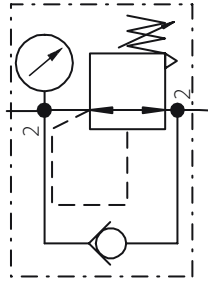

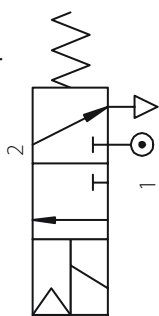
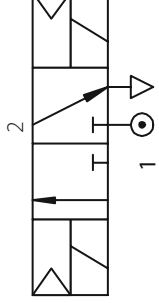


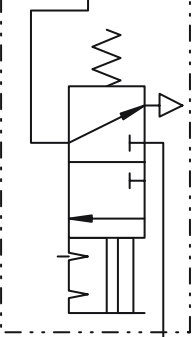

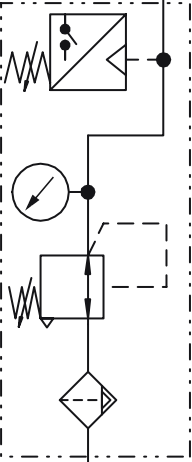
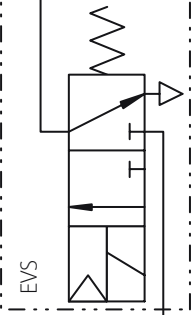
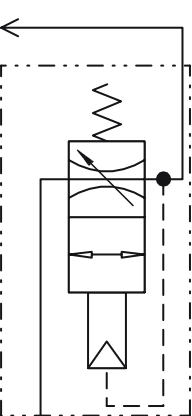
t_s : temps de course requis pour la sortie de tige en secondes

t_r : temps de course requis pour la rentrée de tige en secondes

Q_s : débit en normolitres par minute pour une vitesse de sortie de tige correspondant à t_s

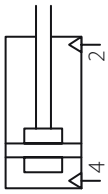
Q_r : débit en normolitres par minute pour une vitesse de rentrée de tige correspondant à t_r

p_{serv} : pression de service délivrée par le circuit d'alimentation

| Vérin simple effet | | FAC 1 | ACTIONNEUR |
|---|--|---|---|
|  |  | | |
| Libération (rappel par ressort) |  |  <p>Blocage pneumatique</p> |  <p>SÉCURITÉ (associé à l'EVS)</p> |
| Pas de réglage de vitesse |  | <p>Réglage unique des vitesses</p>  <p>Sens sortie de tige de vérin</p> <p>Sens rentrée de tige de vérin</p> |  <p>VITESSE</p> |
| Pas de réglage d'effort |  | <p>Réglage des efforts</p>  <p>Sens sortie de tige de vérin</p> |  <p>EFFORT</p> |
|  | <p>Deux positions</p>  | <p>fin de course</p>  |  <p>PILOTAGE</p> |
| Sectionneur général, unité de traitement et de surveillance d'air, électrovanne de sécurité (EVS) et démarreur progressif | |  |  <p>ALIMENTATION</p> |
|  | |  | |
|  | | | |

Vérin double effet, avec tige, monté horizontalement

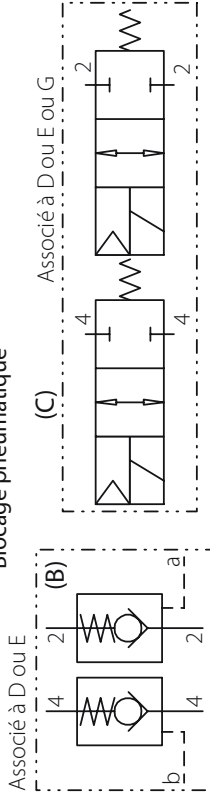
FAC 2



Libération (mise à l'échappement)



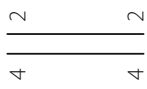
Blocage pneumatique



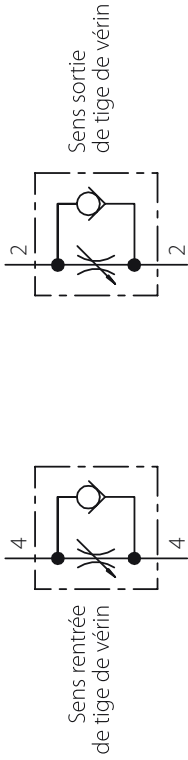
SÉCURITÉ
(associé à l'EVS)



Pas de réglage de vitesse



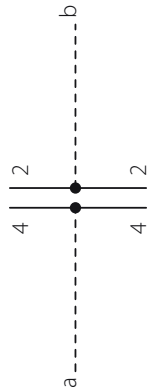
Réglage des vitesses



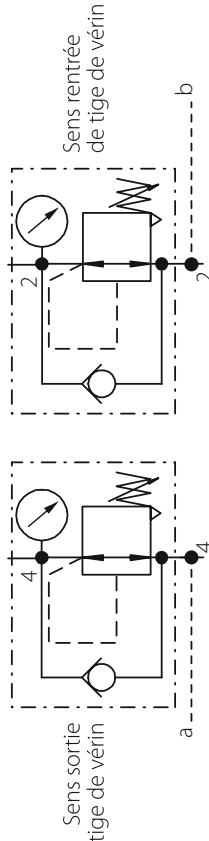
VITESSE



Pas de réglage d'effort



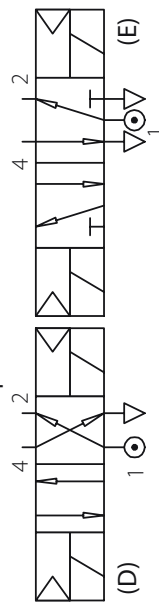
Réglage des efforts



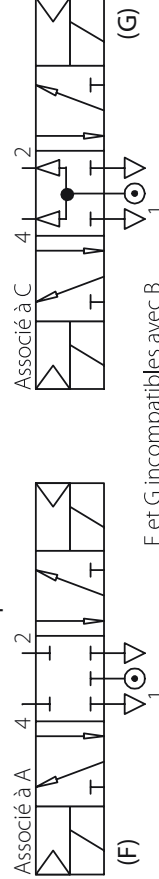
EFFORT



Deux positions fin de course



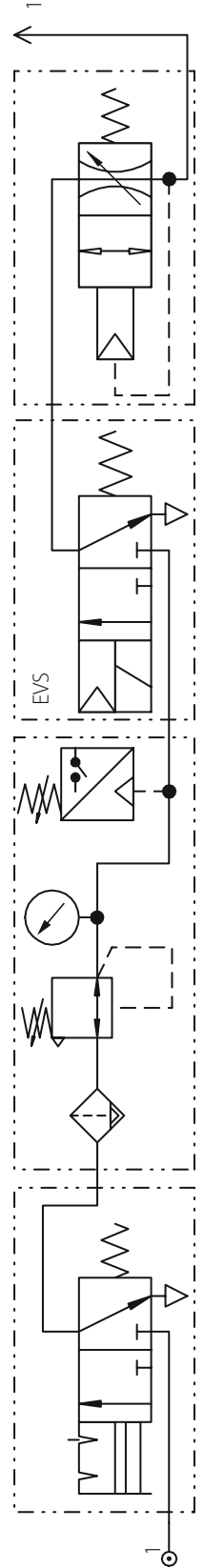
Deux positions fin de course et arrêts intermédiaires



PILOTAGE


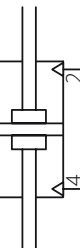
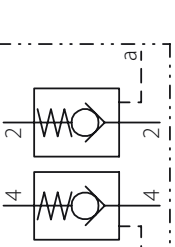
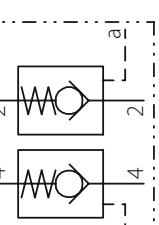
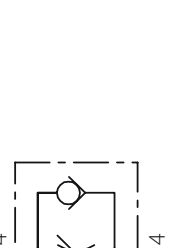





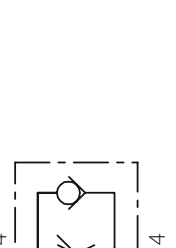

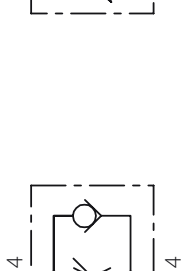
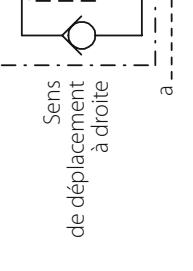
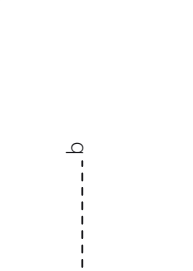
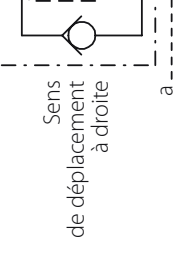
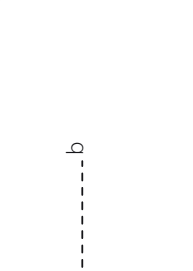
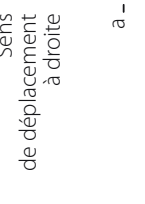
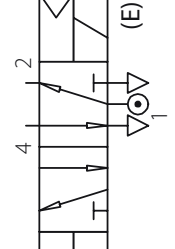
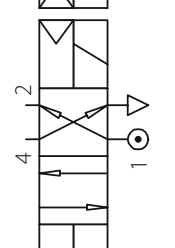
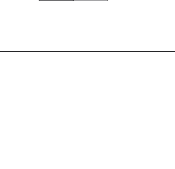
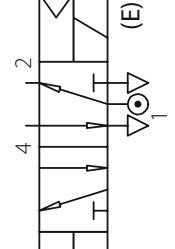
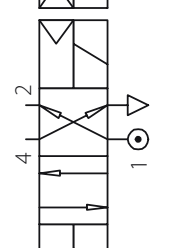
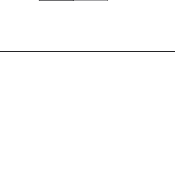
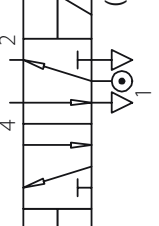
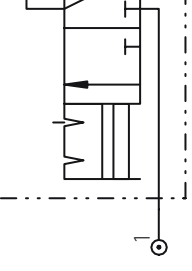
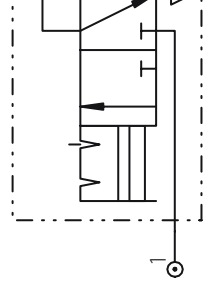
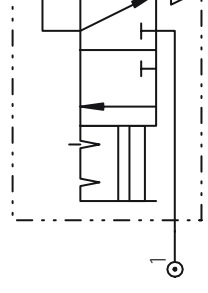


Sectionneur général, unité de traitement et de surveillance d'air, électrovanne de sécurité (EVS) et démarreur progressif



ALIMENTATION



| <p>Vireur, vérin sans tige, vérin à tige traversante; double effet; travaillant dans un plan ou un axe horizontal</p> | | <p>ACTIONNEUR</p>  |
|---|---|--|
| <p>FAC 3</p>  | <p>Libération (mise à l'échappement)</p>  <p>Associé à D ou E, incompatible avec F ou G</p> | <p>SÉCURITÉ (associé à l'EVS)</p>  |
| <p>4</p> <p>Blocage pneumatique Associé à G</p>  <p>Associé à F</p>  <p>(A)</p>  <p>(B)</p>  <p>(C)</p>  <p>Associé à D ou E</p>  | <p>Régulation des vitesses</p>  <p>Sens de déplacement à gauche</p>  <p>Sens de déplacement à droite</p> | <p>VITESSE</p>  |
| <p>2</p> <p>Pas de réglage d'effort</p>  <p>a</p>  <p>b</p> | <p>Régulation des efforts</p>  <p>Sens de déplacement à droite</p>  <p>Sens de déplacement à gauche</p> | <p>EFFORT</p>  |
| <p>1</p> <p>Deux positions fin de course</p>  <p>(D)</p>  <p>(E)</p>  <p>(F)</p> <p>(G)</p> | <p>Deux positions fin de course et arrêts intermédiaires</p>  <p>Associé à A</p>  <p>Associé à B</p>  <p>F et G incompatibles avec B</p> <p>(G)</p> | <p>PILOTAGE</p>  |
| <p>Sectionneur général, unité de traitement et de surveillance d'air, électrovanne de sécurité (EVS) et démarreur progressif</p>  | <p>ALIMENTATION</p>  | <p>ALIMENTATION</p>  |

masses dans un plan horizontal dont le poids ne s'oppose pas à l'effort développé par l'actionneur.

La méthode d'utilisation des FAC

Ces fiches n'ont pas la prétention d'être exhaustives, mais couvrent une grande majorité des cas les plus courants. En voici les principes :

- Un point de départ, le circuit d'alimentation quasi commun à toutes les machines (ligne du bas) et un point d'arrivée, l'actionneur (ligne du haut) ;
- La mise en scène et un positionnement relatif des quatre fonctions à assurer – piloter, maîtriser les efforts, maîtriser les vitesses, sécuriser – entre l'alimentation et l'actionneur (colonne de droite) ;
- Une suggestion de plusieurs solutions technologiques pour chacune de ces quatre fonctions (cellules du centre de la FAC) ;
- Une progression croissante de la gauche vers la droite dans la performance des solutions (C mieux que B, B mieux que A) ;

Bibliographie

Articles de Philippe Taillard dans *Technologie*

- « La technique de préhension par le vide », n° 106, mars 2000
- « Guide de dimensionnement – La production d'énergie pneumatique », n° 110, décembre 2000
- « Guide de dimensionnement – Les actionneurs pneumatiques », n° 119, avril 2002
- « Guide de dimensionnement – Les vérins pneumatiques », n° 121, septembre-octobre 2002
- « Guide de dimensionnement – Les unités de translation pneumatiques », n° 122, novembre-décembre 2002

- « Guide de dimensionnement – Les unités de rotation pneumatiques », n° 123, janvier-février 2003
- « Guide de dimensionnement – Les pinces pneumatiques », n° 124, mars 2003

Articles de Philippe Taillard et Christian Teixido dans *Technologie*

- « Guide de dimensionnement – Les actionneurs rotatifs et linéaires », n° 111, janvier-février 2001
- « Guide de dimensionnement – L'implantation du couple vérin-effecteur », n° 120, mai-juin 2002

Les logiciels de dimensionnement du catalogue cédérom Festo 2002-2003

- Une chronologie des quatre étapes de choix : premièrement le pilotage, deuxièmement l'effort, troisièmement la vitesse, et enfin la sécurité.

Suspense oblige, il vous faudra attendre le prochain numéro de votre revue préférée pour avoir la collection complète des

fiches, ainsi que les exemples d'application – sur des cas réels de conception de chaînes d'action – illustrant la démarche de choix et dimensionnement que nous venons de vous présenter.

D'ici là, restez gonflé... ■