

Guide de dimensionnement

Les actionneurs pneumatiques

BOÎTE À OUTILS

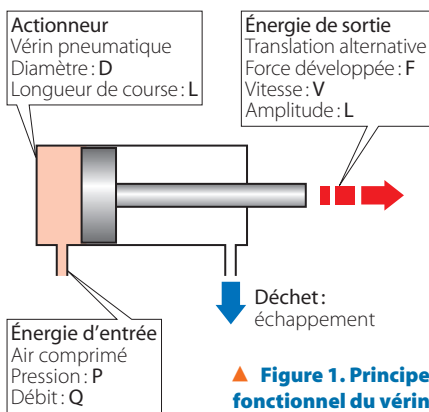
PHILIPPE TAILLARD¹

La souplesse, la simplicité d'usage et de construction des vérins pneumatiques – et de l'air comprimé – en font des actionneurs très répandus dans l'automatisation des processus discontinus des industries manufacturières. Transférer, brider, élever, manipuler, indexer, plier, arrêter, éjecter, assembler, marquer, contrôler sont autant de missions qu'on peut leur confier. Il en est de même pour les ventouses, les vibreurs et les moteurs.

MOTS-CLÉS automatismes, actionneurs, pneumatique, partie opérative, énergie

Les vérins

Les vérins pneumatiques convertissent d'une façon très simple l'énergie pneumatique en énergie mécanique. Ainsi, un vérin alimenté en air comprimé génère un mouvement linéaire ou rotatif, alternatif, d'amplitude limitée et défini par sa taille de construction.



Lorsque ces vérins sont utilisés pour réaliser une fonction de manipulation, ils permettent d'effectuer un déplacement entre seulement deux positions précises et extrêmes. Un vérin classique peut être bloqué pneumatiquement au cours de son déplacement, mais la position ainsi obtenue est peu précise. Le principe de fonctionnement du vérin est donné par la figure 1. Un choix judicieux des paramètres d'entrée, à savoir D, L, Q et P, permet d'obtenir une action mécanique aux caractéristiques souhaitées en F, V et L.

Les possibilités courantes des vérins linéaires alimentés avec une pression usuelle de 4 à 8 bars leur permettent de développer des forces comprises entre 0,2

et 5 000 daN pour des diamètres variant de 2,5 à 320 mm, le tout avec des courses pouvant atteindre 3 mètres. Par ailleurs, les vitesses comprises entre 50 et 3 000 mm/s s'obtiennent en calibrant les débits d'admission avec la taille du distributeur et en limitant les débits d'échappement avec des régulateurs de débit.

La technologie

Ces vérins peuvent être de deux types, simple ou double effet, et classés en deux grandes familles, les vérins standard et les vérins spéciaux. La famille des vérins standard regroupe tous les linéaires d'un diamètre de 8 à 320 mm répondant aux normes dimensionnelles Iso (figure 2).

Figure 2. Vérin standard double effet (d'après Festo)



La famille des spéciaux regroupe les linéaires hors normes, comme les vérins sans tige par exemple (figure 3), et les vérins rotatifs appelés aussi vireurs.

Un vérin simple effet n'est piloté que d'un seul côté et ne produit un effort significatif que dans un seul sens. Le mouvement de retour de la tige s'effectue par un ressort interne. Le rapport des efforts de rentrée et de sortie de tige est voisin de 10 ($F_{\text{ressort}} = 0,1 \cdot F_{\text{pneumatique}}$). Compte tenu de l'encombrement du ressort interne, ce type de vérin est limité en diamètre et en course: $\varnothing_{\text{max}} = 63 \text{ mm}$, $C_{\text{max}} = 50 \text{ mm}$.



▲ Figure 3. Vérin spécial sans tige double effet (d'après Festo)

Un vérin standard double effet est piloté des deux côtés et développe, dans les deux sens, un effort proportionnel à la pression de l'air comprimé et à la section d'application de cette pression. Pour une pression donnée, les efforts de rentrée et de sortie sont donc différents du fait de la présence de la tige dans la chambre avant du vérin. Leur rapport est voisin de 0,8 ($F_{\text{rentrée}} = 0,8 \cdot F_{\text{sortie}}$).

La figure 4 montre la construction d'un vérin standard dans plusieurs configurations.

Ce type de construction simple confère aux vérins une grande durée de vie, avec la possibilité d'effectuer des opérations de maintenance sur les pièces d'usure telles que les joints d'étanchéité et les bagues autolubrifiantes du piston et de la culasse. Malgré cela, si l'utilisateur ne respecte pas les règles de montage prescrites par le constructeur, en particulier quant à la limitation des efforts radiaux sur la tige ou à la qualité de l'air comprimé, cette durée de vie peut s'en trouver fortement réduite.

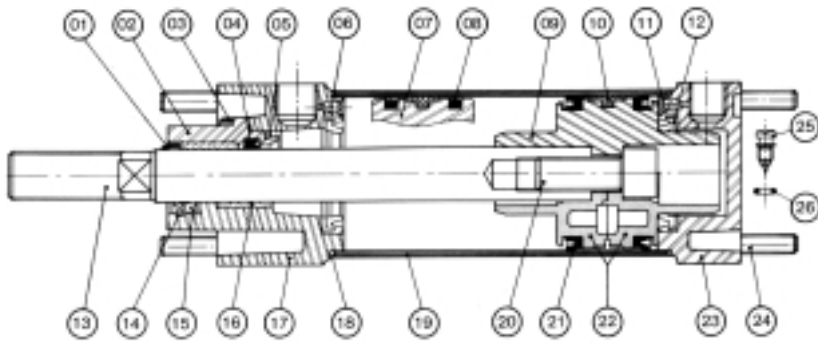
Les amortissements fin de course

L'énergie cinétique élevée, générée par une forte charge et/ou une grande vitesse de déplacement du piston, est absorbée en fin de course par l'amortisseur pneumatique intégré au vérin (voir figure 5).

Figure 5. Amortisseur hydraulique



1. Professeur agrégé de génie mécanique au lycée de Cachan. E-mail: taillard@lge.ens-cachan.fr.



Repère	Désignation	Matière
13	Tige	Z20C13 ou XC45 chromé dur
19	Tube de vérin	Z6CND17-11 ou laiton ou alliage d'aluminium (Mg-Si)
02 et 23	Culasse AV et culasse AR	AS12 moulé sous pression
22 ou 09	Piston	Polyacétal (Delrin) ou alliage d'aluminium
24	Tirant	Z5CN18-8
10	Segment porteur	Delrin (POM)
16	Palier de guidage de tige	Métal autolubrifiant (matériau fritté)

Figure 4. Vue en coupe d'un vérin et la nomenclature de ses principales pièces

Le principe en est le suivant : en fin de mouvement le piston emprisonne, entre sa face et celle de la culasse, un volume d'air qui ne peut s'échapper qu'à travers un régleur de débit provoquant ainsi un frein au mouvement du piston. Cet amortissement se produit sur une course (de 10 à 40 mm) prédéfinie à la construction et est réglable en dureté de l'extérieur par l'utilisateur. Cela évite les chocs et la création d'un effort important qui peuvent nuire à l'automatisme et amoindrir la durée de vie du vérin. Cette fonction d'amortissement sur les mini-vérins est souvent réalisée par une simple butée en élastomère. Cet absorbeur de choc élastique a une plus faible capacité d'amortissement que le pneumatique, agit sur une course quasi nulle (environ 0,5 mm) et n'est pas réglable. Dans les deux cas, le constructeur spécifie les valeurs maximales d'énergie absorbable en fin de course.

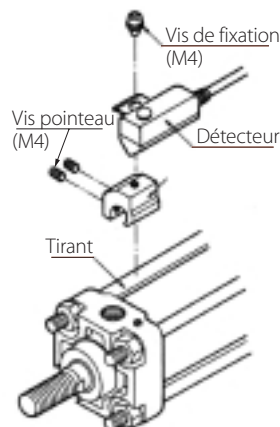
Si l'amortisseur élastique ou pneumatique intégré au vérin ne suffit pas, il convient de réaliser cette fonction à l'aide

d'un amortisseur hydraulique extérieur au vérin et dimensionné en fonction de l'énergie cinétique ($E = 1/2 M \cdot V^2$) de l'effort développé par le vérin et de la fréquence des amortissements.

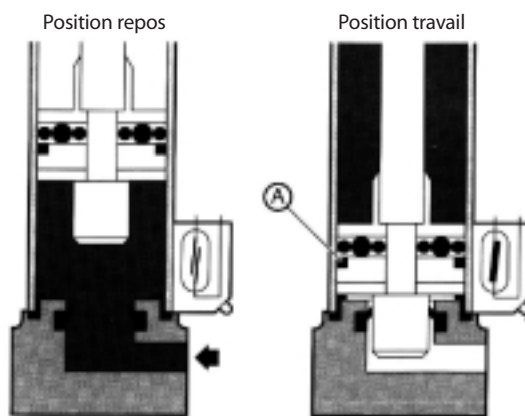
L'étude plus approfondie de cette phase délicate d'amortissements en fin de course de vérin et des forces d'inertie induites sera abordée dans une prochaine Boîte à outils.

Les détecteurs associés

À toute chaîne d'action constituée d'un vérin est associée une chaîne d'acquisition pour assurer le contrôle de la fonction opérative correspondante. Presque tous les vérins intègrent un capteur magnétique qui assume cette fonction de détection de position en fin de course. Le principe est illustré par la figure 7. L'aimant permanent (repère A) du piston actionne à son passage l'interrupteur à lame souple (ILS) du détecteur magnétique fixé de manière réglable à l'extérieur du corps aimantique du vérin (figure 6). Cette détection



▲ Figure 6. Montage extérieur du détecteur magnétique (d'après SMC)



▲ Figure 7. Principe de la détection magnétique (d'après Joucomatic)

facilite beaucoup le travail de l'automatisme : rapidité d'étude, facilité de montage, de câblage et de réglage.

L'implantation

Pour s'adapter aux besoins variés d'implantation sur les systèmes automatisés, les vérins offrent une grande variété de fixations. Celles-ci sont le plus souvent, comme les vérins eux-mêmes, de dimensions normalisées, pour permettre l'interchangeabilité des vérins et ainsi faciliter la maintenance et les échanges standard.

Le corps de vérin peut être lié de manière rigide à la machine par l'avant et/ou par l'arrière à l'aide de brides ou de pattes d'équerre. Il peut être monté pour pivoter autour d'un axe fixe en utilisant une chape, un tenon, un tourillon ou encore une articulation (figure 8). Le corps du vérin peut être aussi monté « rotulant » avec une chape arrière à rotule.



▲ Figure 8. Exemples de fixations de vérin (d'après Joucomatic)

La liaison de la tige du vérin avec le mobile à mouvoir doit être correctement étudiée pour ne pas former un système hyperstatique. On utilise pour cela une chape à un degré de liberté ou une rotule à trois degrés ou encore un accouplement articulé à cinq degrés de liberté (figure 9).



▲ Figure 9. Fixation avec la tige de vérin (d'après Festo)

Le rôle d'un vérin est de mouvoir un mobile et, majoritairement, de ne pas le guider. Par conséquent, la liaison $L_{(1-2)}$ (figure 10) entre l'effecteur et la tige doit être « souple », c'est-à-dire avec un nombre de degrés de liberté suffisant pour compenser tous les écarts de position et d'orientation relatifs entre S1 et S2. Ce point, déjà souligné précédemment, est crucial pour la durée de vie du vérin. Exemple de montage de vérin : dans le cas présent (figure 10), le choix d'une chape ou d'une rotule rend le montage

hyperstatique et induit des efforts radiaux parasites sur la tige ; il convient donc ici d'utiliser un accouplement articulé (liaison ponctuelle bilatérale) pour compenser les écarts angulaire et radial.

L'étude détaillée des montages isostatiques du couple vérin-effecteur sera abordée dans la prochaine Boîte à outils. À partir de la théorie des mécanismes, nous présenterons les différentes solutions constructives d'implantation des vérins.

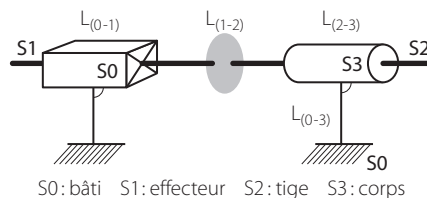
La classification fonctionnelle des vérins

Sauf à être expert, il est difficile, dans la masse des produits des constructeurs, d'avoir une vision globale et synthétique des vérins à travers leurs fonctions potentielles.

Pour y voir plus clair, le tableau ci-dessous tente de répondre à la question : « Quel type de vérin fait quoi ? ».

Les préhenseurs par le vide

La technique du vide pour la préhension de pièce dans la manipulation, la manutention et le maintien en position se généralise de plus en plus. Elle a déjà fait l'objet d'un article très détaillé dans le numéro 106 de *Technologie* (mars 2000).



▲ Figure 10. Montage isostatique d'un vérin






Les moteurs





Un moteur rotatif alimenté en air comprimé produit un mouvement de rotation dans un ou deux sens, à des fréquences pouvant atteindre 30 000 tr/min et des puissances de 10 kW. Il en existe plusieurs types : à piston, à engrenage, à turbine.

La technologie à palettes est la plus utilisée, en raison de ses nombreuses qualités.

Son principe de fonctionnement (voir la figure 11) est le suivant : l'air comprimé pénètre dans le moteur par l'orifice P et arrive dans une chambre d'admission, où il exerce une force motrice sur la palette la plus proéminente. Ainsi, le rotor tourne et l'air se détend. Dans le deuxième secteur du moteur, l'air des chambres à l'échappement se vide par l'orifice E.

Tableau. Quel type de vérin fait quoi ?

Type de vérin	Caractéristiques générales	Fonction opérative	Domaine d'utilisation
Standard	Mini-vérin standard  Conforme à la norme Iso 6432 Muni de deux culasses serties de manière étanche sur le tube et filetées pour assurer la fixation du vérin Amortissement élastique ou pneumatique Simple ou double effet Diamètre: 8, 10, 12, 20, 25 mm Course double effet: de 10 à 500 mm Course simple effet: de 10 à 50 mm	Permet de mouvoir un effecteur, sans en assurer le guidage, en développant une force pouvant atteindre 30 daN. Le mouvement s'effectue entre deux positions de fin de course à une vitesse réglable de 50 à 1 500 mm/s	Très utilisé dans la construction de tous les systèmes automatisés de production du fait de sa standardisation et de son faible coût Encombrement important dans le cas de grande course Très utilisé dans les machines d'emballage et de conditionnement
	Vérin standard  Conforme à la norme Iso 6431 Assemblé vissé, peut se démonter pour la maintenance Équipé le plus souvent d'amortisseurs pneumatiques réglables par l'utilisateur Diamètre: de 32 à 320 mm Course standard: de 25 à 1 000 mm Version simple effet: Ø de 32 à 63 mm et course de 10 à 50 mm	Permet de mouvoir un mobile, sans en assurer le guidage, en développant un effort pouvant atteindre 4 800 daN Vitesse ajustable, de 50 à 500 mm/s Permet d'atteindre deux positions fin de course précisément	Très utilisé dans la construction des systèmes automatisés de production du fait de sa standardisation Encombrant pour les grandes courses C'est l'actionneur pneumatique le plus universellement utilisé
Spéciaux	Vérin anti-rotation  Plusieurs technologies : double tige, tige profilée guidée dans sa culasse, piston à section carrée ou ovale Simple ou double effet Versions à tiges profilées majoritairement conformes aux normes dimensionnelles Iso 6431 et 6432 Diamètre: de 8 à 100 mm Course standard: de 10 à 500 mm	Permet de translater entre deux positions fixes un produit qui n'exige pas de guidage du type glissière, mais nécessite d'être arrêté en rotation Comme pour le standard, sa vitesse est ajustable dans les deux sens puisqu'il est double effet	Très utilisé dans les mouvements terminaux de manipulation de produit Mouvement de montée-baisse de pièce suspendue Poussoir de pièce dans les systèmes de transitique Manipulation de produit léger Attention, ne supporte pas les charges radiales
	Vérin compact  À faible course, de construction très compacte Longueur totale (à course 0) 3 fois inférieure à celle d'un Iso 6431 Corps en profilé aluminium avec perçages et rainurages pour sa fixation et le montage de détecteurs magnétiques Simple ou double effet, avec tige traversante ou anti-rotation Diamètre: de 8 à 100 mm Course standard: de 10 à 100 mm	Permet de développer des efforts importants sur des courses faibles dans des applications où l'encombrement axial doit être le plus réduit possible Énergie absorbable en fin de course avant fortement limitée par l'absence d'amortissement pneumatique: prévoir un arrêt sur butée externe	Particulièrement adapté, grâce à sa compacité et son court temps de réponse, aux fonctions de serrage, blocage, éjection, indexage, élévation et verrouillage de pièce dans toutes les applications industrielles
	Vérin sans tige  Deux technologies: à accouplement magnétique et à bande Transmission du mouvement directement par le piston Réduction de l'encombrement presque de moitié grâce à l'absence de tige Arrêts intermédiaires possibles par blocage pneumatique, les sections d'application de la pression étant identiques Diamètre: de 6 à 63 mm Course: de 10 à 4 000 mm	Permet de mouvoir en translation, avec une grande amplitude, un mobile guidé entre deux positions précises de fin de course La possibilité d'obtenir des positions intermédiaires d'une précision moyenne de ± 5 mm lui permet d'assurer des fonctions de positionnement grossier en boucle ouverte Vitesse maxi 3 m/s	Très utilisé dans les tâches de manipulation, manutention, transitique et palettisation, en raison de son faible encombrement en longueur et de ses sections de piston identiques Associé à un distributeur proportionnel, un capteur de position et une unité de commande, il est l'actionneur le plus utilisé en servopositionnement

	Type de vérin	Caractéristiques générales	Fonction opérative	Domaine d'utilisation
Spéciaux	Vérin à membrane 	Ni piston ni tige : la pression agit sur une membrane en caoutchouc qui se déforme et entraîne dans son mouvement un flasque Les forces développées peuvent être très élevées, avec des courses faibles Ni frottement ni étanchéité entre pièces mécaniques Simple effet, sans amortissement Force développée : 10 à 20 000 daN Course : de 3 à 200 mm	D'un encombrement réduit dans la direction de son déplacement, sans usure, résiste aux conditions les plus sévères (poussières et salissures) et s'implante très simplement Permet essentiellement d'assurer des fonctions de serrage et d'élévation de fortes charges	Bonne compliance grâce à la flexibilité de sa membrane, avec des angles d'inclinaison pouvant atteindre 30° Très utilisé pour le serrage rapide de pièces légèrement inégales à faible variation de cotes Les plus gros modèles sont utilisés dans des opérations de transformation du produit, emboutissage, cintrage, pliage
	Vérin à blocage de sécurité 	Équipé de bloqueur de tige, assure l'arrêt et le blocage de l'actionneur pour sa mise en sécurité Blocage mécanique par ressort, déblocage piloté pneumatiquement Blocage bidirectionnel, multiposition et sans altération pour la tige, par pilotage ou manque de pression Diamètre : de 32 à 100 mm. Course standard : de 25 à 1 000 mm.	Permet de traiter la sécurité en évitant les mouvements intempestifs dans tous les cas d'incidents possibles : – coupure d'alimentation électrique – coupure d'alimentation pneumatique – chute de pression – arrêt d'urgence	Solution à envisager chaque fois que l'étude de la sécurité d'une machine met en évidence un risque lié à un mouvement intempestif d'un mobile mû par vérin. En effet, la solution simple de blocage pneumatique avec la compressibilité et les fuites ne permet pas de garantir un bon maintien en position
	Vérin tandem 	Association, par construction ou par montage, de deux ou trois vérins de même diamètre et de courses différentes pour obtenir un actionneur à 3 ou 4 positions. deux, trois ou quatre vérins de même diamètre et de courses identiques pour obtenir un actionneur à double, triple ou quadruple effort.	Utile lorsque, dans un mouvement, on exige plus de deux positions précises Autre application : lorsque l'effort à développer est élevé et que l'encombrement d'un vérin de gros diamètre est trop important	Les tandems multipositions sont utilisés dans la manipulation, la palettisation et le conditionnement Les tandems multiplicateur d'effort : utilisés dans des opérations de marquage, poinçonnage, formage et fretage
Rotatifs	Vérin de rotation ou vireur 	Double effet, mouvement rotatif alternatif d'amplitude maxi 360° Deux technologies : – à palette : construction simple, sans amortissement (fin de course sur la palette déconseillée) – à pignon-crémaillère : plus classique, similaire à celle des vérins Iso 6431 Diamètre : de 10 à 100 mm Couple de sortie : de 0,2 à 100 Nm Course angulaire : de 0 à 360 mm	Assure le plus généralement deux fonctions : guidage et entraînement en rotation du mobile, d'où l'importance de le dimensionner par rapport au mouvement à développer (couple, angle, moment d'inertie) et aux efforts axiaux et radiaux appliqués sur l'arbre de sortie	Principalement utilisé pour des opérations de manipulation lorsqu'il y a lieu d'orienter le produit Aussi utilisé pour des opérations de retournement dans la transitique ou pour des manœuvres de sas, de portes, de vanne, ou de séparateur pour contrôler un débit de produit

Ces moteurs sont principalement utilisés dans l'outillage portatif (perceuses, meuleuses), dans les broches de vissage, de perçage et de taraudage, et enfin pour la motorisation de malaxeurs, d'agitateurs et de pompes doseuses.

Les principales qualités de ces moteurs sont les suivantes :

- leur compacité et leur légèreté, avec un très bon rapport puissance/poids ;
- leur force motrice, régulière et modulable ;
- leur fort couple de démarrage ;
- leur fonctionnement discontinu, sans limitation de facteur de marche ;
- ils ne craignent pas les environnements poussiéreux, déflagrants ou humides ;

– ils ne s'échauffent pas et ne craignent pas d'être calés (protection inutile).

Leurs performances sont données par des courbes de couple et de puissance en fonction de la fréquence de rotation (voir figure 12).

Le réglage de la vitesse de rotation se fait à l'aide d'un régulateur de débit à l'admission. De plus, si l'on veut obtenir une vitesse (ω) stable, notamment lorsqu'il y a des variations de couple résistant (C_r) en sortie, on ajoute un limiteur de débit à l'échappement pour créer une contre-pression (P') qui régulera la vitesse.

L'implantation des moteurs dans les systèmes automatisés est très semblable

à celle des moteurs électriques. On effectue majoritairement des montages sur la bride du moteur ou sur une patte d'équerre. Par ailleurs, même si les arbres de sortie des moteurs sont prévus pour supporter des efforts axiaux ou radiaux, il est préférable d'accoupler le moteur au récepteur par un manchon élastique, en veillant à aligner au mieux les arbres.

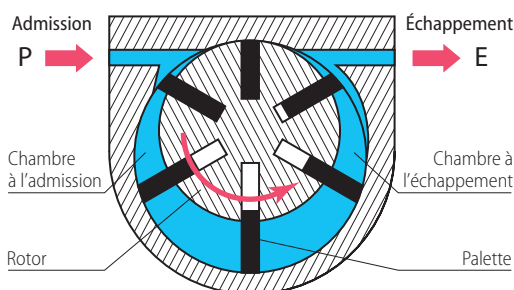
Les vibreurs

Dans de nombreux processus automatisés, il est nécessaire de produire des vibrations pour assurer certaines fonctions opératives comme :

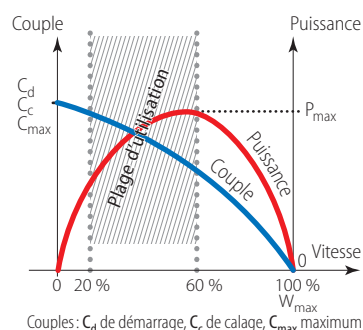
- l'écoulement des produits pulvérulents dans les conduits ou trémies ;
- le compactage d'un produit en vrac dans un conteneur (le sable dans un moule en fonderie, des pièces enchevêtrées dans un sac ou un carton en conditionnement) ;
- l'élimination des blocages dans les chaînes de transfert de produits ;
- la distribution par vibrations de pièces ou de poudres ;
- le tamisage.

Les principaux types d'actionneurs à vibrations sont les vibreurs à bille, à turbine, à rouleau et à piston.

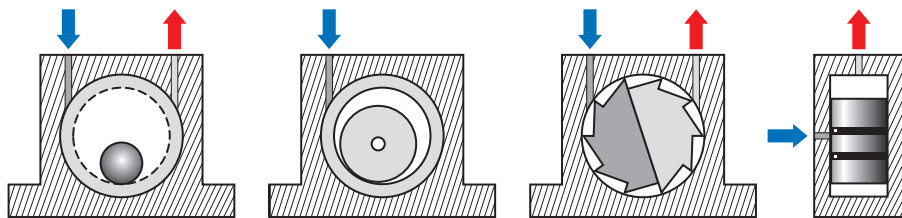
À bille : le jet d'air met la bille en mou-



▲ Figure 11. Fonctionnement du moteur à palettes



▲ Figure 12. Caractéristiques des moteurs pneumatiques



▲ **Figure 13.**
Vibrateur à bille

▲ **Figure 14.**
Vibrateur à rouleau

▲ **Figure 15.**
Vibrateur à turbine

▲ **Figure 16.**
Vibrateur à piston

vement de rotation dans son logement ; ce sont les chocs de la bille sur le vibreur périphérique qui provoquent les vibrations (figure 13).

À **rouleau** : le débit d'air entraîne le rouleau dans un mouvement planétaire ; les vibrations sont engendrées par les forces inertielles du rouleau (figure 14).

À **turbine** : l'air entraîne la turbine en rotation à très grande vitesse ; cette turbine, constituée de deux matériaux, l'un léger et l'autre lourd, crée par effet inertiel des vibrations (figure 15).

À **piston** : l'air est admis alternativement et automatiquement de chaque côté d'un piston de masse importante ; le mouvement alternatif du piston provoque des vibrations unidirectionnelles de fréquences réglables par la pression d'air (figure 16).

Les données caractéristiques d'un vibrateur sont sa fréquence et l'effort développé dans son mouvement vibratoire. La figure 17 situe chacune des technologies de vibrateur présentées en fonction de leur spectre d'application (fréquence et force de vibration).

L'installation de ces vibrateurs nécessite qu'ils soient fixés de manière rigide à l'élément de la machine devant vibrer. Ensuite cet élément vibrant doit posséder une liaison élastique avec le bâti pour créer l'effet de vibration escompté. Les vibrateurs comme les ventouses et le soufflage se commandent comme des actionneurs simple effet et se pilotent

juste dans les étapes nécessaires au fonctionnement afin de limiter la consommation d'air et le bruit.

Les actionneurs modulaires

La pneumatique, qui demeure la technologie originelle de tous ces actionneurs, ne doit pas masquer la très grande richesse mécanique des nouveaux actionneurs modulaires de translation, de rotation et de préhension, utilisés en particulier dans la manipulation, mais pas exclusivement. Tous ces produits ont une forte connotation mécanique et ne doivent, en aucun cas, être assimilés à de simples vérins pneumatiques.

Sinon comment expliquer la différence de prix entre un simple vérin Iso et un module de mêmes course et diamètre ?

Quelle est en réalité la constitution générique de tous ces actionneurs modulaires ?

Chaque module intègre au moins sept fonctions, représentées par :
 – l'actionneur pneumatique ;
 – le guidage mécanique, appelé aussi effecteur ;

- l'accouplement vérin-effecteur ;
- les butées de fin de course réglables ;
- les amortisseurs en fin de course ;
- les supports réglables de détecteurs ;
- les surfaces d'attachement mécanique.

Certains modules intègrent en plus la connectique électrique ainsi que les réglages de vitesse.

Ces produits «sept-en-un» sont de vrais constituants d'automatismes industriels, pour lesquels le concepteur de systèmes automatisés n'a plus à faire d'étude de solutions constructives détaillées, puisque toutes les fonctions techniques élémentaires nécessaires y sont intégrées.

La seule tâche restante en est le choix et le dimensionnement, qui seront abordés dans les prochaines pages de la rubrique Boîte à outils.

Conclusion

La pneumatique, très répandue dans le domaine de l'automatisme, évolue encore beaucoup ; essentiellement vers l'intégration de fonctions techniques élémentaires, connexes à l'actionneur, pour donner de véritables constituants prêts à l'emploi.

Cette présentation technologique et typologique sera donc suivie de plusieurs articles, qui aborderont le choix et le dimensionnement de ces modules actionneur-effecteur pneumatiques. ■

Figure 18. ▶
Modules de translation
(d'après Festo) ▼

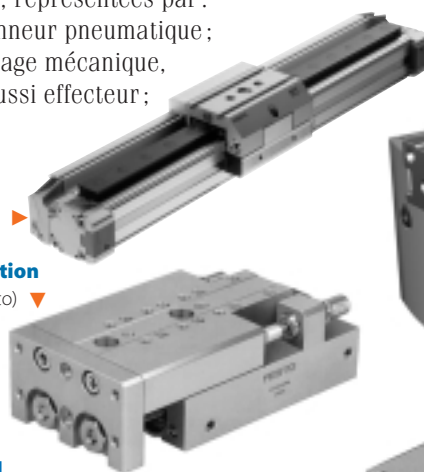
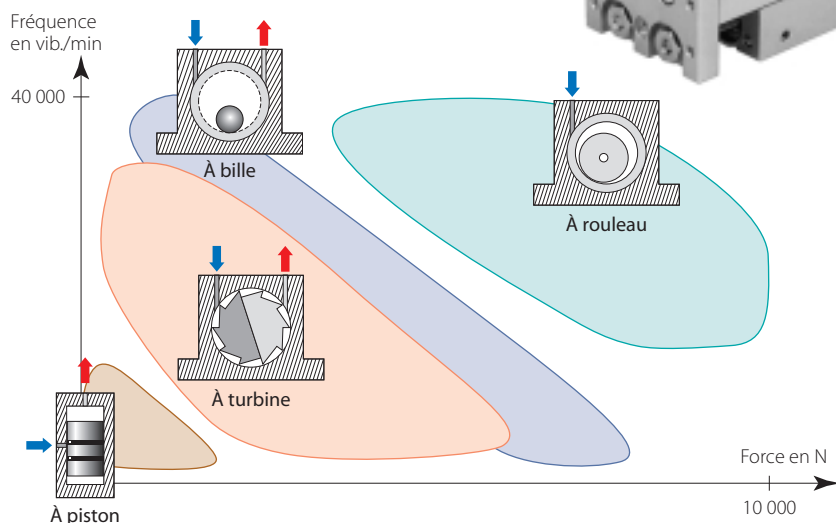
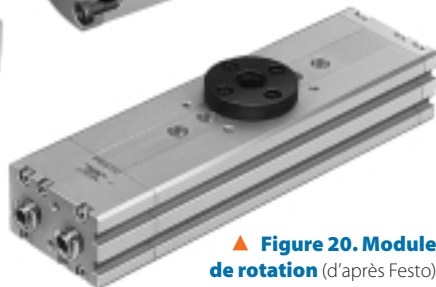


Figure 19. **Module de préhension** (d'après Festo) ▼



▲ **Figure 20. Module de rotation** (d'après Festo)



▲ **Figure 17. Caractéristiques des vibrateurs pneumatiques**

BIBLIOGRAPHIE

- **Articles de Philippe Taillard dans Technologie :**
 - « Assistance au choix de composants d'automatismes », n° 95, avril 1998 ;
 - « La technique de préhension par le vide », n° 106, mars 2000 ;
 - « Guide de dimensionnement – La production d'énergie pneumatique », n° 110, décembre 2000.
- **La Pneumatique dans les systèmes automatisés de production**, S. Moreno, E. Peulot, éd. Éducalivre.
- **Le catalogue sur cédérom Festo 2002.**