

Guide de dimensionnement

Les vireurs pneumatiques

BOÎTE À OUTILS

PHILIPPE TAILLARD¹

Ils sont appelés vérins rotatifs, modules de rotation, vérins oscillants, unités de rotation ou encore vireurs. Ils sont utilisés dans des tâches d'orientation en manipulation ou de manœuvre d'ouvrants et de vannes. Leur technologie est à palette ou à pignon-crémaillère. Ils possèdent deux, trois ou quatre positions.

Ils sont compacts, de précision ou modulaires. Leur guidage intégré est à paliers lisses ou à roulement à billes. Ils possèdent des amortissements fin de course élastiques, pneumatiques ou hydrauliques.

Quels sont-ils ? Comment les choisit-on ? Et surtout, comment les dimensionne-t-on ?

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

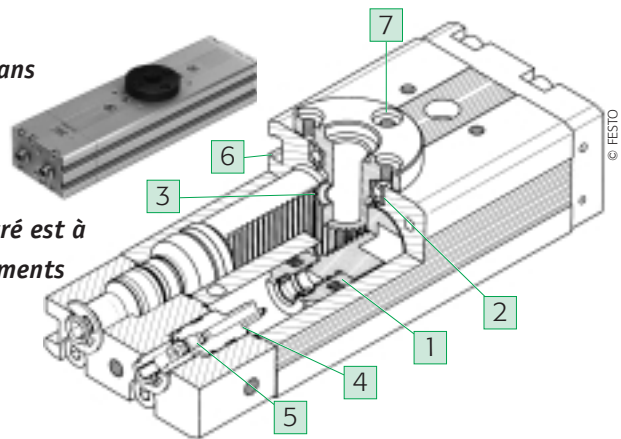


Figure 1. Écorché d'un module de rotation

ouvrir une vanne, séparer une pièce sur une alimentation, permuter deux préhenseurs, orienter une pince de manipulateur, retourner une pièce, visser un couvercle, pivoter une base de manipulateur sont autant de tâches opératives nécessitant un actionneur rotatif capable de mouvoir et de guider.

Une technologie intégrée

Les vireurs ont une constitution générique commune à tous les actionneurs-effecteurs modulaires. Chaque module intègre au moins sept fonctions (figure 1) :

- 1 l'actionneur pneumatique ;
- 2 le guidage mécanique appelé aussi effecteur ;
- 3 le transformateur de mouvement ;
- 4 les butées fin de course réglable ;
- 5 les amortisseurs en fin de course ;
- 6 les supports réglables de détecteurs ;
- 7 les surfaces d'attachement mécanique.

Certains modules intègrent en plus une ou deux positions intermédiaires.

Ces produits sont désormais de vrais constituants d'automatismes industriels prêts à l'emploi ; il suffit d'en faire le choix et le dimensionnement. En effet, dans la très grande majorité des cas, les vireurs entraînent directement le mobile sans qu'il soit nécessaire de créer un guidage externe et un accouplement.

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

L'ensemble de ces composants se subdivise en quatre familles :

- les vireurs à palette ;
- les vireurs à pignon-crémaillère simple ;
- les vireurs à crémaillère double ;
- les actionneurs roto-linéaires.

Les vireurs à palette (figure 2)

Ces actionneurs ont la particularité de transformer directement l'énergie pneumatique en rotation, sans transformation mécanique de mouvement. La pression qui s'applique sur la palette solidaire de l'arbre de sortie entraîne cet ensemble en rotation. Les sections sont identiques dans les deux sens de mouvement.

La simplicité de construction de cet



Figure 2. Vérins rotatifs à palette

actionneur en fait un produit peu onéreux, mais limité dans ses possibilités d'usage. En effet, on ne peut l'utiliser pour faire un blocage pneumatique en position intermédiaire du fait de la mauvaise étanchéité de la palette par rapport au corps.

De plus, il ne possède pas de possibilité de positionnement intermédiaire. Il

permet des rotations d'angle réglables mais limités à 180°.

L'arbre de sortie peut être cylindrique à clavette ou comporter un flasque intégré.

Il est équipé le plus souvent d'amortisseurs élastiques, ce qui limite sa capacité à absorber une énergie cinétique en fin de course. En cas de moment d'inertie de masse élevé, il est nécessaire de créer des butées externes pour ne pas contraindre l'actionneur au-delà de ses limites.

Ces vireurs sont appréciés pour leur forme compacte et leur couple élevé. Ils sont très utilisés pour la manipulation d'objets légers saisis le plus souvent par ventouse ou dans des opérations de vissage pour des angles inférieurs à 180°.

Les vireurs à pignon-crémaillère simple (figure 3)

Ces actionneurs sont réalisés à l'aide d'un piston crémaillère qui, dans son mouvement de translation, entraîne en rotation le pignon arbré de sortie. Ce transformateur de mouvement nécessite un dispositif de rattrapage de jeu d'engrènement



Figure 3. Vérin oscillant à pignon-crémaillère

pour éviter une angulation libre nuisible de l'arbre de sortie.

Leur course est réglable et peut atteindre 360°. L'amortissement fin de course est pneumatique.

Ces actionneurs sont le plus souvent utilisés dans des tâches de manipulation pour effectuer des orientations et des retournements de pièce, ou bien alors comme opérateur de porte ou de vanne.

Les vireurs à crémaillère double

Cette technologie plus récente est une évolution du vireur à pignon-crémaillère. En effet, dans un encombrement très peu différent, on utilise un deuxième piston crémaillère qui a pour effets de doubler le couple développé et d'inhiber l'effet nuisible du jeu d'engrènement.



Figure 4. Unité de rotation de précision à double crémaillère

Cette précision ainsi obtenue et les surfaces d'attachement standard, en font un produit tout particulièrement destiné à la construction de manipulateurs modulaires.

Ces vireurs possèdent, au choix, les trois technologies d'amortissement, élastique, pneumatique et hydraulique. Leur course est réglable et peut atteindre 360°. L'arbre de sortie peut être cylindrique à clavette ou comporter un flasque intégré.

De plus, ces composants peuvent être équipés, en option, d'une à deux positions intermédiaires, sans oublier leur possibilité de blocage pneumatique.

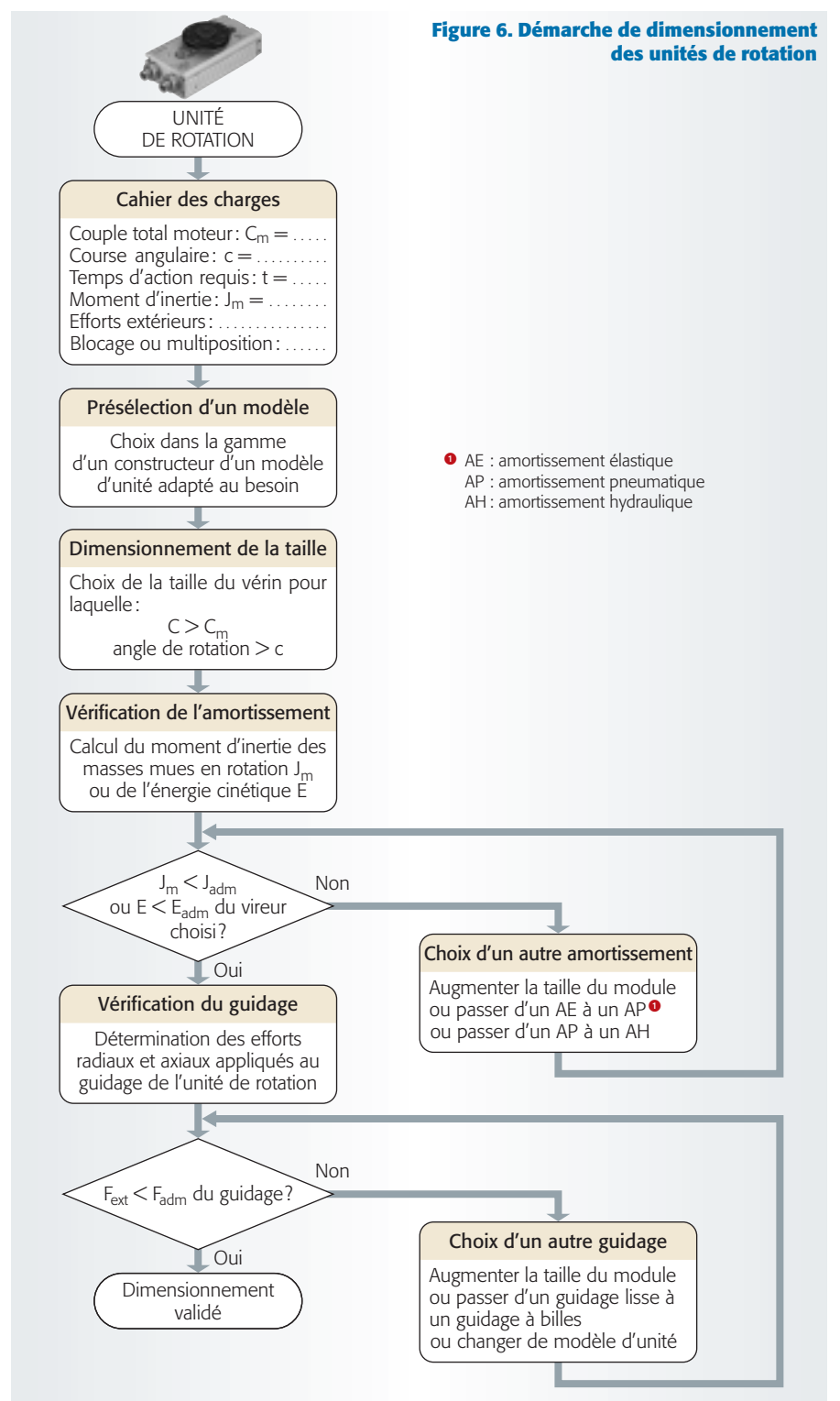
Ce sont les actionneurs les plus riches, les plus intégrés, les plus modulaires et modulables.

Les actionneurs roto-linéaires

Ils sont nés du besoin, souvent rencontré dans les processus d'assemblage ou de conditionnement, de déplacer et d'orienter simultanément des pièces dans des



Figure 5. Actionneur roto-linéaire intégré



opérations de manipulation. Ces modèles intègrent donc deux actionneurs, un vérin double effet et un vireur à palette. De technologie plus simple et plus économique que la construction modulaire à partir d'unités de précision, ils sont utilisés dans des manipulations de pièces légères avec une précision modérée.

Le dimensionnement des modules de rotation

Le dimensionnement se fait en fonction des données du cahier des charges de l'application, qui sont :

— la fonction opérative de l'unité :

- la situation de montage ;
- la course angulaire ;
- le moment d'inertie des masses déplacées ;
- le couple en régime permanent ;
- le temps d'action requis.

Le dimensionnement permettra de définir la taille de l'actionneur capable, c'est-à-dire son diamètre de piston ou son équivalent, en fonction du couple total moteur. Après cela, il faut vérifier la capacité d'amortissement fin de course du module choisi. La dernière étape consiste à vérifier que tous les efforts (poids, force d'inertie, effort extérieur...) appliqués

sur le guidage en rotation sont compatibles avec les charges radiales et axiales maximales admissibles par ce dernier. Cette démarche est illustrée en figure 6.

Préalablement aux calculs, tout commence par une présélection d'un modèle pour lequel différents critères sont à prendre en compte, comme l'encombrement, l'adaptabilité à l'environnement, la fonction opérative et le coût. Ensuite, il faut déterminer C_m , le couple moteur total. Si l'on se réfère à l'article « Guide de dimensionnement – Les actionneurs rotatifs et linéaires » du numéro 111 de *Technologie* (janvier-février 2001), on retrouve :

$$C_m = C_{pm} + J_{me} \cdot a_m$$

avec

a_m l'accélération angulaire en rd/s^2 ,

J_m le moment d'inertie des masses entraînées en $kg \cdot m^2$,

C_{pm} le couple dû aux charges en régime permanent en $N \cdot m$.

La difficulté est dans l'estimation de la valeur d'accélération que l'on peut obtenir avec de tels actionneurs. L'expérience des utilisateurs fréquents permet de savoir que :

$$30 \text{ rd/s}^2 < a_m < 60 \text{ rd/s}^2$$

Mais la particularité de ces actionneurs rotatifs est que la charge peut être variable pendant la course et passer, par exemple, d'une valeur positive maximale à une valeur négative (charge entraînée). Par conséquent, il faudra analyser les cycles de l'actionneur et déterminer précisément la phase de son fonctionnement pendant laquelle le couple moteur total est maximal.

L'étape suivante concerne la vérification de l'amortissement. La méthode sera différente en fonction des données techniques des constructeurs d'actionneurs. Certains d'entre eux donnent une valeur d'énergie cinétique maximale admissible

en fin de course. D'autres, par souci de simplification, donnent une valeur de moment d'inertie maximale.

Comment déterminer le moment d'inertie ? Par calcul manuel en décomposant les masses en volumes simples pour utiliser les formules de base connues ; par calcul automatique si l'étude de la machine est faite en CAO ; par utilisation du logiciel *Moment d'inertie de masse* présent sur le catalogue cédérom de Festo.

Comment maintenant calculer l'énergie cinétique ? Avec la formule :

$$E = 1/2 \cdot J_m \cdot \omega^2$$

ω étant la vitesse de rotation en rd/s ,

E l'énergie en joule,

J_m le moment d'inertie en $kg \cdot m^2$.

La détermination de la vitesse maximale, pour le calcul de l'énergie cinétique, peut se faire, par approximation, avec la course angulaire (θ) et le temps d'action requis (t). Connaissant (θ) et (t), on détermine la vitesse moyenne $\omega_{moy} = \theta/t$. On majore ensuite cette valeur moyenne par un coefficient (k), pour obtenir la vitesse maximale :

$$\omega = k \cdot \omega_{moy}, \text{ avec } k = 2.$$

Enfin, la dernière étape permet de vérifier si tous les efforts s'appliquant sur l'arbre de sortie n'excèdent pas les valeurs radiale et axiale admissibles par le guidage du composant.

Exemple de dimensionnement d'un dispositif de pinces revolver d'un manipulateur

Le dispositif est présenté en figure 7.

Cahier des charges

Les pièces manipulées sont en acier et de dimensions $50 \times 20 \times 20$.

La rotation, d'axe vertical, est de 180° , avec deux positions et un blocage de sécurité pneumatique.

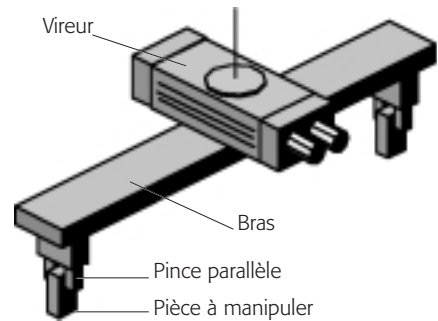


Figure 7. Structure de l'application à dimensionner

Les pinces sont des HGP-16 de la gamme Festo, distantes l'une de l'autre de 250 mm.

Le bras est en alliage d'aluminium et de dimensions $300 \times 50 \times 10$.

Le temps requis est 0,6 seconde et une bonne précision est demandée, de l'ordre de 0,1 mm.

Résolution

On fait le choix a priori d'un module DRQD à flasque intégré de la gamme Festo (figure 8), pour son adaptabilité avec le restant du manipulateur modulaire. De plus,



Figure 8. Présélection d'un module DRQD à flasque de Festo

sa technologie interne à double crémaillère lui confère la précision requise dans cette opération de manipulation ainsi que la possibilité d'un blocage pneumatique de sécurité.

Figure 9. Calcul par étapes successives du moment d'inertie de l'ensemble des éléments mus en rotation par le module (ici $J_m = 137 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$)

No.	J [kg·m²] [10E-4]	m [kg]	Dénomination	s [mm]	l
1	31,219	0,485	Bras	0,300	Densité = 2,7 kg/dm³ (Aluminium)
2	28,585	0,180	Pince-parallèle HGP	125,000	Pince-parallèle HGP - 16 - A
3	28,585	0,180	Pince-parallèle HGP	125,000	Pince-parallèle HGP - 16 - A
4	24,479	0,156	Pièce 1	125,000	Densité = 7,8 kg/dm³ (Acier)
5	24,479	0,156	Pièce 2	125,000	Densité = 7,8 kg/dm³ (Acier)

Résultat
 $J_{tot} = 137,307 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$

Le premier calcul détermine le couple moteur total maximal. Compte tenu de l'axe vertical de la rotation, le couple statique est nul, et il suffit alors de calculer le couple dynamique au démarrage, phase du mouvement durant laquelle le couple moteur est maximal. On choisit une valeur d'accélération $a_m = 50 \text{ rd/s}^2$.

Le calcul de J_m le moment d'inertie des masses mues en rotation par le module se fait très aisément avec le logiciel *Moment d'inertie de masse* présent sur le catalogue Festo (figure 9).

J_m ainsi calculé vaut $137 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. On calcule alors le couple moteur.

$C_m = J_m \cdot a_m = 137 \cdot 10^{-4} \cdot 50 = 0,69 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Cette valeur de couple assortie d'un taux de charge t_c de 0,7 (voir « Guide de dimensionnement – Les vérins pneumatiques », *Technologie* n° 121, septembre-octobre 2002) permet de trouver dans la gamme présélectionnée le plus petit produit capable, développant un couple de

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, avril 2002.
- « Guide de dimensionnement – Les unités de translation pneumatiques », n° 122, novembre-décembre 2002.

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.

Article de Marc Hermant dans *Technologie* : « L'opérateur d'inertie », n° 77, septembre-octobre 1995.

La pneumatique dans les systèmes de production, S. Moreno, E. Peulot, éd. Éducalivre.

Le catalogue sur cédérom Festo 2002.

d'inertie admissibles en fonction du temps de rotation, on peut constater que le modèle, juste au-dessus, de taille 20, convient parfaitement (figure 10). De plus, le guidage de ce modèle peut sup-

cette configuration, sans précautions particulières, nous obtiendrons des mouvements à vitesse fluctuante. Il est donc conseillé de bien calibrer les admissions d'air dans chacune des chambres de l'actionneur pour minimiser le rôle des régulateurs de débit à l'échappement. Cela peut se faire soit en choisissant le calibre de distributeur le plus adapté à la vitesse souhaitée soit en installant deux régulateurs de débit additionnels sur les admissions. Cette dernière technique a l'avantage de pouvoir standardiser les distributeurs de l'installation. La mise au point d'un tel câblage s'effectue en réglant tout d'abord les débits à l'admission en ouvrant complètement les échappements, puis en fermant légèrement les régulateurs des échappements pour conférer aux mouvements une régulation de vitesse. ■

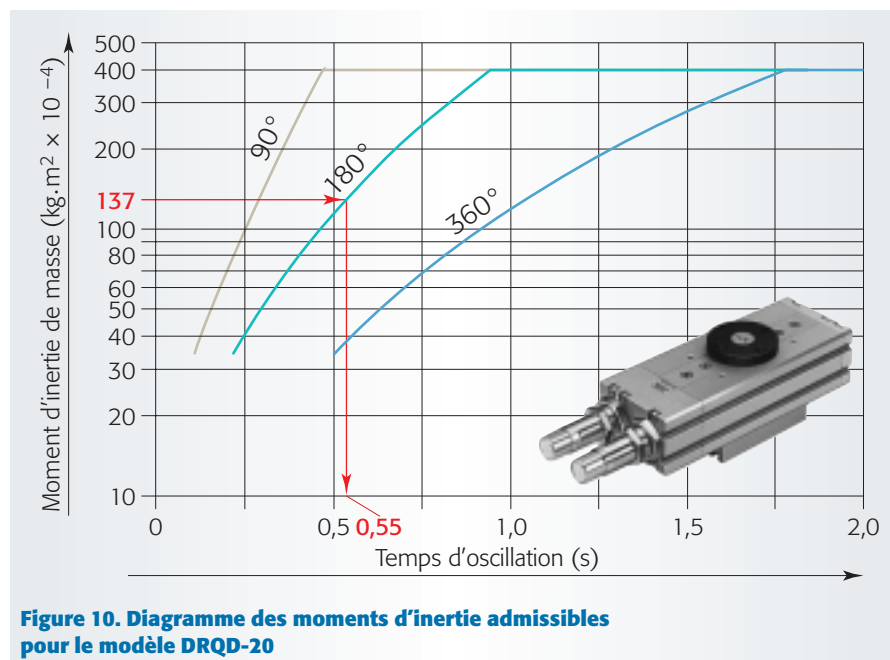


Figure 10. Diagramme des moments d'inertie admissibles pour le modèle DRQD-20

0,98 N.m. Le modèle DRQD-16-180 peut convenir puisqu'il développe 1,7 N.m, alors que le DRQD-12-180, avec un couple de 0,76 N.m, ne suffit pas.

Le constructeur Festo, pour tous ses actionneurs rotatifs, spécifie une valeur de moment d'inertie à ne pas dépasser pour rester dans les capacités d'amortissement du composant. Le modèle de taille 16 en amortissement pneumatique ne convient pas, puisqu'il supporte seulement $5 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Dans la version à amortissement hydraulique, le moment d'inertie de 137×10^{-4} autorise une vitesse permettant, au mieux, un temps de 0,7 seconde ; cela est insuffisant. À la lecture du diagramme des moments

porter des efforts axiaux et radiaux allant jusqu'à 1 000 N, ce qui ne sera jamais le cas dans notre application. En conclusion, le choix final validé se fait sur le modèle DRQD-20-180.

Conclusion

L'assistance au dimensionnement offerte par le logiciel *Moment d'inertie de masse* de Festo rend le travail assez facile. Le cas des produits pour lesquels il faut calculer l'énergie cinétique en fin de course est un peu plus complexe. Mais la difficulté majeure réside dans le cas de rotation d'axe horizontal avec une variation non symétrique du couple statique pendant les déplacements. Dans