

# Guide de dimensionnement

## Les pinces pneumatiques

BOÎTE À OUTILS

PHILIPPE TAILLARD<sup>1</sup>

**La pince pneumatique appartient à la famille nombreuse des préhenseurs. Cette main mécanique doit posséder les fonctions et les qualités de celle de l'homme, qui saisit sans hésitation des pièces aux formes compliquées. Pour cela, le concepteur doit prévoir toutes les conditions de l'opération, caractéristiques de la pièce, dispositif de manutention et environnement, afin de déterminer la bonne pince. Trouver pince à son bras serait-il aussi compliqué que trouver chaussure à son pied? Presque! Mais pour que les pinces aient bien les choses en main, nous allons nous pencher sur quelques aspects techniques de leur choix et dimensionnement.**

Le préhenseur, organe terminal du manipulateur, permet de saisir, maintenir et déposer une pièce de formes géométriques définies, dans un temps limité (figure 1). Sa conception fait donc systématiquement l'objet d'une étude spécifique, qui prend en considération les caractéristiques de la pièce à manipuler, les paramètres des mouvements appliqués à la pince par le manipulateur (directions, accélérations) ainsi que les conditions environnementales.



▲ Figure 1. Exemple de préhenseur dans la manipulation

On attend du préhenseur un certain nombre de performances, comme :

- une saisie fiable en toute circonstance (accélération, arrêt de sécurité, variation dimensionnelle de la pièce...);
- un temps d'action court;
- une préhension sans altération de la pièce (rayure, déformation, marque...);

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

- une masse faible;
- un positionnement précis de la pièce (pré-mors autosymétrique, mors avec formes de centrage...);
- une répétitivité de positionnement;
- une adaptabilité aux variations de forme, de position ou d'orientation de la pièce (course d'ouverture de pince, compliance de pince, mors élastiques, compensateur à ressort ou à rotule pour ventouse, ventouse à soufflets...);
- quelquefois une flexibilité pour saisir plusieurs types de pièces.

### Les différentes techniques de préhension

Les solutions technologiques de préhenseurs sont multiples et leur choix est guidé par le synoptique de la figure 2. Dans ce panorama, on distingue quatre familles :

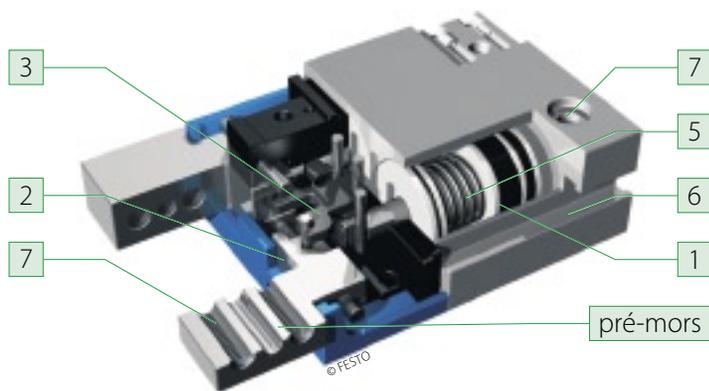
- les pinces standard;
- les ventouses pneumatiques;
- les ventouses magnétiques;
- les griffes à aiguilles.

L'usage des deux derniers produits est assez marginal, car réservé aux tôles d'acier et aux textiles. La technique du vide par ventouse, quant à elle, prend une place de plus en plus importante. L'évolution des performances et fonctionnalités des matériels fait qu'ils s'intègrent parfaitement dans les processus automatisés pour la préhension d'objets les plus divers, et ceci dans tous les secteurs industriels (voir l'article « La technique de préhension par le vide », Technologie n° 106, mars



▲ Figure 2. Le panorama des différentes technologies de préhenseurs en fonction de la nature de la pièce à saisir

2000). De telles solutions sont économiques, légères, rapides, compliantes, flexibles et sans altérations pour les pièces manipulées. Néanmoins, la précision de positionnement et la répétitivité offertes par les ventouses ne sont pas suffisantes pour le domaine de l'assemblage, où l'on



▲ Figure 3. La constitution d'une pince parallèle

fait la chasse aux dispersions de mise en position. À cet égard, les pinces offrent une très bonne capacité de positionnement de la pièce. En effet, le plus souvent leur effecteur est autosymétrique avec une mécanique précise, et la forme en V donnée aux mors permet de conférer précision et répétitivité aux pinces. On note enfin que la pince à deux doigts à serrage parallèle est la plus répandue, car adaptée au plus grand nombre de géométries de pièces à saisir.

### La technologie des pinces

Comme pour les unités de translation et de rotation, la constitution des pinces est celle de tous les actionneurs-effecteurs modulaires (figure 3).

Chaque module intègre sept fonctions :

- 1 l'actionneur pneumatique ;
- 2 le guidage mécanique des pré-mors ;
- 3 le transformateur autosymétrique de mouvement ;
- les butées fin de course réglables (non existantes sur le présent modèle) ;
- 5 le maintien sécuritaire du serrage en cas de perte de l'alimentation pneumatique ;
- 6 les supports réglables de détecteurs ;
- 7 les surfaces d'attachement mécanique.

Certains modules intègrent un capteur de position à effet Hall associé à une électronique paramétrable, qui donne trois types d'informations : pince ouverte, pince fermée et pièce serrée.

Ces produits, désormais très nombreux sur le marché, sont de vrais constituants d'automatismes industriels prêts à l'emploi, pour lesquels il suffit d'en faire le choix, la conception des mors adaptés à la pièce et enfin le dimensionnement.

Les pinces parallèle, concentrique et angulaire peuvent travailler dans les deux sens pour réaliser à souhait des serrages sur l'extérieur de la pièce ou en intérieur, dans un alésage par exemple.

La pince angulaire à ouverture totale (180°), quant à elle, ne fonctionne qu'en

serrage externe. En effet, elle a été conçue pour dégager totalement les doigts vers l'extérieur, afin de supprimer un mouvement de dégagement au manipulateur (figure 4).

La conception des mors à fixer sur les pré-mors se fait en pensant à réduire le plus possible la masse et l'excentration du point de saisie, à garantir une grande surface de contact par déformation élastique ou mobilité cinématique et enfin à choisir un matériau favorisant l'adhérence.

### Le dimensionnement des pinces

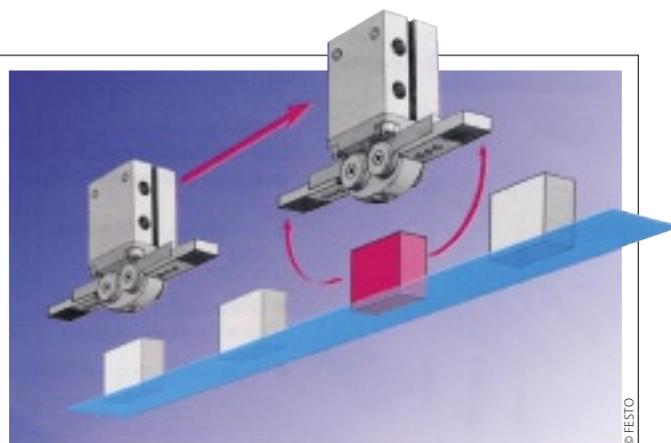
Il se fait en fonction des données du cahier des charges de l'application, qui sont :

- la fonction opérative de la pince ;
- les caractéristiques forme, masse, matériau de la pièce à saisir ;
- les trajectoires et accélérations de la pince ;
- la course totale d'ouverture ;
- le temps d'action requis.

Le dimensionnement permettra de définir la taille de la pince, c'est-à-dire la force de serrage développée capable d'assurer l'équilibre de toutes les forces statiques et dynamiques agissant sur la pièce à manipuler. Après cela, il faut vérifier la capacité d'absorption de l'énergie cinétique en fin de course du préhenseur choisi. La dernière étape consiste à vérifier que tous les efforts (poids, force d'inertie, effort extérieur...) appliqués sur le guidage en rotation ou en translation des pré-mors sont compatibles avec les charges statiques et dynamiques maximales admissibles par la pince.

Cette démarche générique, qui vise successivement l'actionneur, l'amortissement et l'effecteur, très proche de celle des autres composants modulaires (unités de translation et de rotation), est illustrée en figure 5 (page suivante).

Préalablement aux calculs, tout commence par une présélection d'un modèle pour lequel différents critères sont à prendre en compte, comme la géométrie



▲ Figure 4. Le dégagement complet des doigts de la pince à ouverture totale

de la pièce, l'adaptabilité à l'environnement et la fonction opérative.

La tâche essentielle de la pince est de maintenir une pièce de façon fiable pendant un temps donné. La force de préhension nécessaire constitue donc un critère essentiel pour le choix de la bonne taille et du bon modèle de pince.

Le maintien de la pièce dans la pince se fait soit par adhérence soit par obstacle. La deuxième solution est préférable à la première, car elle ne fait pas intervenir le paramètre délicat de facteur de frottement entre le mors et la pièce. Observons le cas simple d'une préhension par adhérence (figure 6). Si l'on fait l'hypothèse que la pince est statique ou se déplace à vitesse constante dans une direction quelconque, l'équation d'équilibre de la pièce donne alors :

$$P = 2 \cdot F_R = 2 \cdot F_G \cdot \mu,$$

d'où

$$F_G = M \cdot g / \mu \cdot 2.$$

En généralisant on peut dire que la force de serrage minimum nécessaire est

$$F_G = M \cdot g / \mu \cdot n,$$

avec :

$F_G$ , la force de serrage développée par la pince ;

$n$ , le nombre de mors en contact avec la pièce ;

$M$ , la masse de la pièce ;

$F_R$ , la force d'adhérence aux contacts doigts-pièce ;

$\mu$ , le facteur de frottement ;

$P$ , le poids de la pièce.

La fiabilité du maintien dépend essentiellement du facteur de frottement dans les contacts pièce-mors. On sait que cette valeur présente des variations importantes en fonction des conditions de l'environnement. Il convient donc d'introduire une marge de sécurité avec un coefficient  $S$ . Dans la pratique on utilise des valeurs situées entre 1,5 et 4. Donc

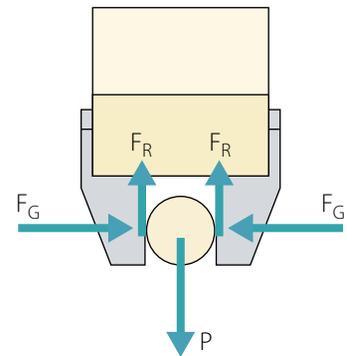
$$F_G = M \cdot g \cdot S / \mu \cdot n.$$

Le poids ne représente qu'une partie de la charge appliquée à la pièce. D'autres

forces doivent être prises en compte, en particulier les forces d'inertie dues aux accélérations des manipulateurs. Il faut donc étudier le cycle de déplacement de la pièce pour identifier toutes les phases d'accélération et trouver celle où la plus grande force de serrage est nécessitée. Pour cela, il faut se rappeler que les accélérations les plus élevées en manipulation

pneumatique sont en phase de freinage, avec des valeurs pouvant atteindre 40m/s<sup>2</sup> (voir l'article « Guide de dimensionnement : les unités de translation pneumatiques », *Technologie* n° 122, novembre-décembre 2002).

Prenons l'exemple illustré en figure 7. C'est dans son mouvement vertical descendant, de P3 à P4, en phase de ralentisse-



▲ Figure 6. La préhension par adhérence en pince parallèle

ment, que les conditions seront critiques, puisque la force d'inertie s'additionne au poids. Précisément, l'effort de serrage devra être de :

$$F_G = M \cdot (g + a) \cdot S / \mu \cdot n.$$

La masse de la pièce en acier  $M = 1 \text{ kg}$ ; les mors sont en alliage d'aluminium et le facteur de sécurité  $S = 2$ ;

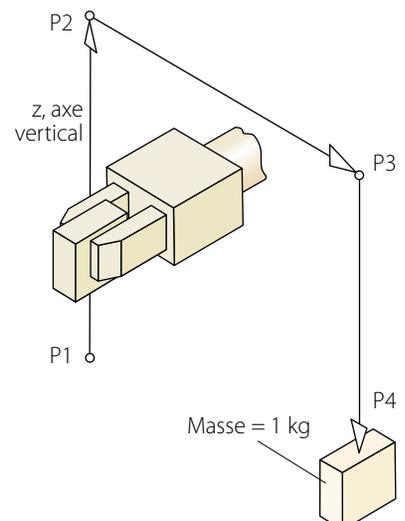
$a$  est la décélération en fin de course bas du mouvement vertical.

Si  $a = 30 \text{ m/s}^2$ , alors :

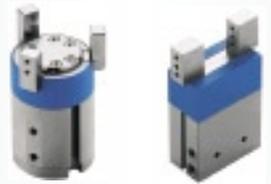
$$F_G = M \cdot (g + a) \cdot S / \mu \cdot n = 1 \cdot (10 + 30) \cdot 2 / 0,35 \cdot 2 = 115 \text{ N}.$$

En règle générale, c'est dans les cas d'arrêts d'urgence que se manifestent les plus fortes accélérations, environ 40 m/s<sup>2</sup>. C'est donc dans ce cas critique, où l'on veut que la pièce ne soit pas éjectée, que l'on calcule la force de serrage. Le tableau de la figure 8 donne quelques cas typiques de situations critiques avec l'expression de la force  $F_G$  nécessaire au bon maintien par obstacle ou par adhérence.

Cette force de serrage étant connue, il faut chercher, dans la gamme d'un constructeur, le plus petit produit capable. Mais, attention, certaines pinces ne développent pas des efforts de serrage intérieur et extérieur identiques, et d'autres encore développent un effort variable en



▲ Figure 7. L'étude du cycle de la pince pour en trouver la phase critique



PINCE

#### Cahier des charges

Masse pièce:  $M = \dots$   
 Frottement pièce-mors:  $\mu = \dots$   
 Temps d'action requis:  $t = \dots$   
 Course d'ouverture:  $c = \dots$   
 Accélération critique:  $a = \dots$   
 Efforts extérieurs:  $\dots$

#### Présélection d'un modèle

Choix dans la gamme, d'un modèle adapté aux formes de la pièce et conception des mors

#### Dimensionnement de la taille

Calcul de l'effort de serrage ( $F_G$ ) pour un maintien permanent de la pièce et choix tel que:  
 $F_{\text{pince}} > F_G$   
 course d'ouverture  $> c$

#### Vérification de l'amortissement

Calcul des masses ( $m$ ) ou moments d'inertie des mors ( $J_m$ )

$t > t_{\text{adm}}$  de la pince choisie?

Non

Oui

#### Modification de la solution

Augmenter la taille de la pince ou réduire la masse des mors ou réduire le ( $J_m$ ) des mors

#### Vérification du guidage des pré-mors

Calcul des actions ( $F_{\text{ext}}$  et  $M_{\text{ext}}$ ) appliquées au guidage des pré-mors

$F_{\text{ext}} < F_{\text{adm}}$  du guidage?  
 $M_{\text{ext}} < M_{\text{adm}}$  du guidage?

Non

Oui

#### Modification de la solution

Augmenter la taille de la pince

Dimensionnement validé

▲ Figure 5. La démarche de dimensionnement des pinces



fonction de l'excentricité de saisie. Dans notre exemple de la figure 7, le premier produit capable de la gamme Festo est la pince HGP-25, qui développe une force de 190 N dans les deux sens de serrage.

Lorsque cette première étape du dimensionnement est réalisée, il faut vérifier si le temps d'ouverture et fermeture est compatible avec la vitesse maximale d'action permise, au regard des masses des mors rapportés sur la pince. La plupart des constructeurs spécifient, en fonction des masses des doigts, des temps d'action minimaux. Enfin, dernier point, l'ensemble des efforts statiques et dynamiques ne doit pas contraindre les guidages des pré-mors au-delà des limites admissibles. Il est nécessaire pour cela d'identifier la situation critique par le calcul et de consulter les seuils en efforts radiaux et moments.

Ces derniers calculs sont peu aisés et l'usage d'un outil logiciel, quand il existe, est d'une aide précieuse. Nous en faisons la démonstration avec le logiciel de sélection des pinces disponible dans catalogue cédérom de Festo (voir l'encadré en cinq points).

### Conclusion

La démarche de dimensionnement de ces modules de préhension est similaire à celle des modules de translation ou de rotation. On retrouve toujours ces trois grandes étapes :

- dimensionnement de l'actionneur pneumatique pour réaliser l'effet désiré ;
- vérification de son aptitude à absorber l'énergie cinétique en fin de course ;
- vérification des capacités du guidage à supporter toutes les charges.

Figure 8. Tableau de formules de calcul de l'effort de serrage pour quelques cas typiques

Maintien	Croquis	Forces de contact	Forces de serrage
		$F_{K1} = \frac{m(g+a)\sin\alpha_2}{\sin(\alpha_1+\alpha_2)}$ $F_{K2} = \frac{m(g+a)\sin\alpha_1}{\sin(\alpha_1+\alpha_2)}$	$F_G = m(g+a) \cdot S$
Par obstacle		$F_{K1} = \frac{m(g+a)}{2 \cos\alpha_1}$ $F_{K2} = \frac{m(g+a)}{2 \cos\alpha_2}$	$F_G = \frac{m(g+a)}{2} \tan\alpha \cdot S$ $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$
		$F_{K1} = m(g+a)\tan\alpha_2$ $F_{K2} = \frac{m(g+a)}{\cos\alpha_2}$	$F_G = F_{K1} \cdot S$
Par adhérence		$F_K = \frac{m(g+a)}{4\mu}$	$F_G = \frac{m(g+a)}{2\mu} \sin\alpha \cdot S$

### BIBLIOGRAPHIE

#### Articles de Philippe Taillard dans *Technologie* :

- « Assistance aux 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
- « 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 ;

#### 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

#### La revue *Trend* éditée par Festo

Les logiciels de dimensionnement présents dans le catalogue sur cédérom Festo 2002-2003

La détermination de la pince, dans un système de manipulation, est, pour toutes les applications d'automatisme, la première opération délicate, car elle est déterminante dans la qualité du résultat final, à savoir une saisie fiable en toute circonstance. Un sous-dimensionnement conduit irrémédiablement à une non-qualité préjudiciable à l'installation, et un surdimensionnement provoque une augmentation fatale des masses en mouvements, donc des axes d'entraînement plus coûteux et un temps de cycle plus important. ■