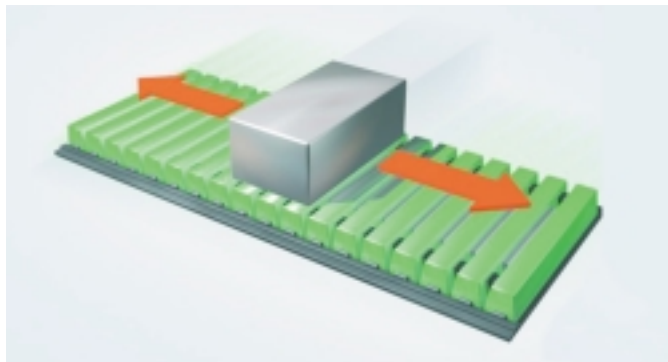


## AUTOMATISMES

# Le moteur linéaire, sans rival en vitesse et précision



▼ Comme son nom l'indique, le moteur linéaire produit un déplacement linéaire. Il demande donc beaucoup moins d'adaptations que les approches classiques où le mouvement linéaire est obtenu en couplant un moteur rotatif à une vis à bille ou à une crémaillère. Il y a donc moins de pièces en mouvement et donc moins d'inertie et de jeux. De ce fait, le moteur linéaire s'impose lorsque la vitesse et la précision importent vraiment. Omron présente ici l'intérêt de cette approche et compare les résultats obtenus avec ceux d'une solution classique.

**L**e moteur linéaire est dit à entraînement linéaire direct, c'est-à-dire qu'il n'y a aucune pièce pour convertir un mouvement d'une autre nature (rotatif par exemple) en mouvement linéaire. Le mouvement et l'effort sont directement appliqués au niveau de la charge, alors que les autres entraînements linéaires sont effectués sur la base d'un mouvement rotatif transformé en mouvement linéaire. Jusqu'à présent, les différents types de systèmes linéaires conventionnels étaient actionnés par des servomoteurs rotatifs. Le mouvement rotatif était transformé en mouvement linéaire à l'aide d'engrenages, de crémaillères, de courroies ou de vis à billes. Ceux-ci sont utilisés sans aucun problème dans de multiples applications. Dans certaines applications, ces systèmes atteignent souvent leurs limites techniques en termes de dynamique et de précision. Nous entendons par dynamique la gestion coordonnée du couple ou de la force, de la vitesse et de l'accélération. Parmi ces applications, il y a l'industrie des semi-conducteurs. Et ce n'est pas nouveau. Dans cette industrie, il y a déjà plus de 10 ans que les entraînements linéaires convention-

nels à base de transmissions rotatives ont atteint leurs limites. Ils ne permettent pas d'exécuter des processus de positionnement spéciaux avec la précision nécessaire et à la vitesse imposée par les cadences de production.

La miniaturisation impose souvent le moteur linéaire. Prenons les téléphones mobiles d'il y a dix ans. Ils étaient presque tous aussi volumineux qu'un livre de poche et, malgré leur taille impressionnante, leurs capacités techniques étaient très limitées. La tendance actuelle dans le secteur des téléphones mobiles est aux systèmes de communication multimédias de la taille d'un paquet de cigarettes, avec appareils photos et écrans LCD intégrés.

L'utilisation de moteurs linéaires permet d'obtenir la précision micrométrique nécessaire à la production de ces téléphones.

## Qu'est-ce qu'un moteur linéaire ?

À première vue, la taille d'une voiture ne donne aucune indication de tout le travail d'intégration que les ingénieurs-concepteurs ont dû réaliser au niveau de l'électronique de commande. Les utilisateurs veulent de plus en plus d'accessoires, ce qui impose souvent d'assembler les composants dans des emplacements de plus en plus exigus, ce qui

conduit à des processus de fabrication toujours plus fins et plus précis.

Le principe du moteur linéaire est le même que celui d'un servomoteur brushless. Dans le brushless, le rotor à aimants permanents (qui n'a donc plus besoin du balai pour capter le courant nécessaire à sa magnétisation, d'où son nom) pivote, entraîné par le champ magnétique issu du bobinage du stator.

Pour le moteur linéaire, le chemin magnétique, constitué d'aimants permanents, sert de base au mouvement de la bobine qui est cette fois mobile.

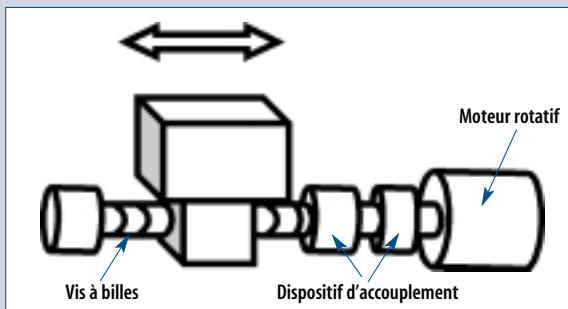
La génération d'un mouvement linéaire direct dans les nouveaux moteurs linéaires signifie que l'on peut s'affranchir des jeux, des dispersions et en partie des frictions qui existaient dans les mouvements linéaires issus de mouvements rotatifs.

## L'essentiel

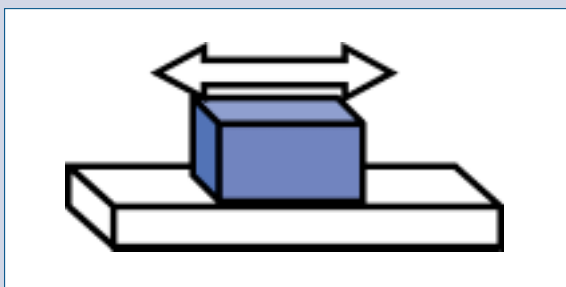
- ▶ Le moteur linéaire est depuis longtemps utilisé dans l'industrie, aussi bien sur les grosses machines-outils que sur les petits équipements de fabrication de semi-conducteurs
- ▶ Il s'impose lorsqu'une grande précision et/ou une grande vitesse sont nécessaires
- ▶ Il doit ses performances au fait que l'entraînement est direct et qu'il y a donc peu de pièces en mouvement
- ▶ Pour concurrencer sérieusement les solutions classiques à moteur rotatif, il est encore handicapé par son prix

## Comparaison des techniques

### Entraînement classique à moteur rotatif



### Entraînement à moteur linéaire



Le moteur linéaire autorise une précision de positionnement extrêmement élevée avec une dynamique supérieure à toute autre solution. La force est appliquée directement à la charge le plus efficacement possible, sans perte due aux systèmes de transmission et de conversion du mouvement (rotatif en linéaire, par exemple).

#### Des avantages déterminants

Pour bien se faire une idée de l'intérêt d'un moteur linéaire, comparons-le à un système moteur rotatif (souvent brushless) associé pour des raisons de précision à une vis à bille.

**La vitesse.** La vitesse maximale d'une vis à bille se situe aux environs de 1,5 m/s alors que la vitesse standard d'un moteur linéaire est de 5 m/s.

**Les moments d'inertie.** Le système rotatif cumule les différents moments d'inertie (axe moteur, couplage, vis...) et la force n'est pas directement appliquée à la charge. L'accélération est limitée par les inerties, alors que pour le moteur linéaire, la force est directement appliquée à la charge et l'accélération peut être beaucoup plus importante.

**Les jeux.** Dans un entraînement classique,

le codeur se situe dans le moteur, il tient compte d'une position angulaire, mais il ne peut pas déterminer la position exacte de la charge à cause des jeux des différents éléments d'entraînement. De plus, ces jeux ne se cumulent pas de la même façon dans les deux sens, varient suivant la température (dilatation) et évoluent dans le temps (rodage). Le moteur linéaire dispose d'une tête de lecture optique ou magnétique du codeur linéaire (appelé aussi règle) sur le chariot de la bobine. La précision de lecture de la position réelle est inférieure au micromètre.

**La course utile.** Les longues vis à bille nécessitent une mécanique parfaite. Les mécanismes vibratoires sont difficiles à gérer. Le diamètre doit être augmenté pour éviter ces vibrations. Mais alors l'inertie augmente fortement (elle varie comme le carré du rayon) et donc le couple et la puissance du moteur doivent être augmentés. Pour le moteur linéaire, la force n'a pas à être réévaluée, il suffit d'ajouter des modules de chemin linéaire (des contraintes de planéité de la surface sont tout de même à respecter).

**La maintenance.** La vis à bille, plus bruyante, en contact mécanique constant, requiert

une maintenance périodique. De plus, en moyenne, la durée de vie d'une vis à bille est de 1/10<sup>ème</sup> de la durée de vie d'un moteur linéaire. Le moteur linéaire nécessite peu de maintenance, mais il faut tout de même s'assurer de la qualité des câbles utilisés, car ces derniers sont en constant mouvement pour alimenter la bobine.

**Propreté.** La vis à bille a besoin de graisse et de lubrifiants qui sont proscrits dans certains process, comme en salle blanche par exemple. Pour les applications nécessitant une extrême propreté, le moteur linéaire, plus propre, utilise des systèmes de refroidissement des guidages à air filtré. À l'inverse, des environnements trop pollués obligeront à une mise sous carter du moteur linéaire.

**La chaleur.** La chaleur du moteur rotatif se dissipe à distance de la charge, alors que pour le moteur linéaire, la chaleur se dissipe au niveau de la charge. Dans les calculs de dimensionnement du moteur, cette contrainte doit être évaluée. Le cas échéant, un système de refroidissement est à considérer.

**Plusieurs chariots sur une seule ligne magnétique.** C'est possible!

#### La qualité des composants du système

Une unité d'entraînement efficace va bien au-delà d'un moteur et d'une ligne magnétique. D'autres composants sont nécessaires pour obtenir un moteur linéaire à la fois rapide et précis. Le codeur linéaire et surtout le variateur assurant l'asservissement en position, vitesse et force sont nécessaires pour gérer la vitesse et la précision du moteur linéaire.

Le choix du codeur linéaire (dit aussi règle linéaire) de haute résolution et de la tête de lecture adaptée est crucial en vue de profiter pleinement de la précision de positionnement offerte par le moteur linéaire.

Ces systèmes hautement dynamiques ont en outre besoin de guides mécaniques très rigides et robustes montés sur différents supports d'une bonne planéité.

Un variateur-contrôleur efficace est nécessaire. Il doit être très rapide et précis dans son traitement des boucles d'asservissement en position, vitesse et force.

La combinaison optimisée de l'entraînement dynamique et d'un servodriver intelligent peut augmenter d'une façon significative le rendement des systèmes effectuant plusieurs milliers de mouvements de positionnement de haute précision par heure!

Cette augmentation de la capacité peut conduire à des gains pouvant atteindre 15 ms par mouvement de positionnement, grâce

au contrôle quasiment sans erreur de poursuite de certains variateurs.

Cette technologie trouve sa place notamment dans des applications comme le perçage des cartes de circuits imprimés ou les systèmes de placement des composants. La productivité de la machine est renforcée sans en modifier radicalement la conception.

Comment combiner au cours d'une seule étape les deux exigences de base que sont la modularité et une grande disponibilité? La réponse réside dans un concept de système d'entraînement modulaire, flexible, ne requérant aucun entretien et intégrant un entraînement linéaire direct. Grâce au processus sans contact, il n'y a pas de friction et, par conséquent, pas d'usure.

## Plusieurs variantes de moteurs linéaires

Différents types de moteurs linéaires existent :

- avec noyau de fer sur chemin magnétique
- sans noyau de fer sur chemin magnétique
- avec noyau de fer sur chemins magnétiques latéraux

Très compacts, ils fournissent une plage de forces comprises entre quelques newtons et plusieurs milliers de newtons.

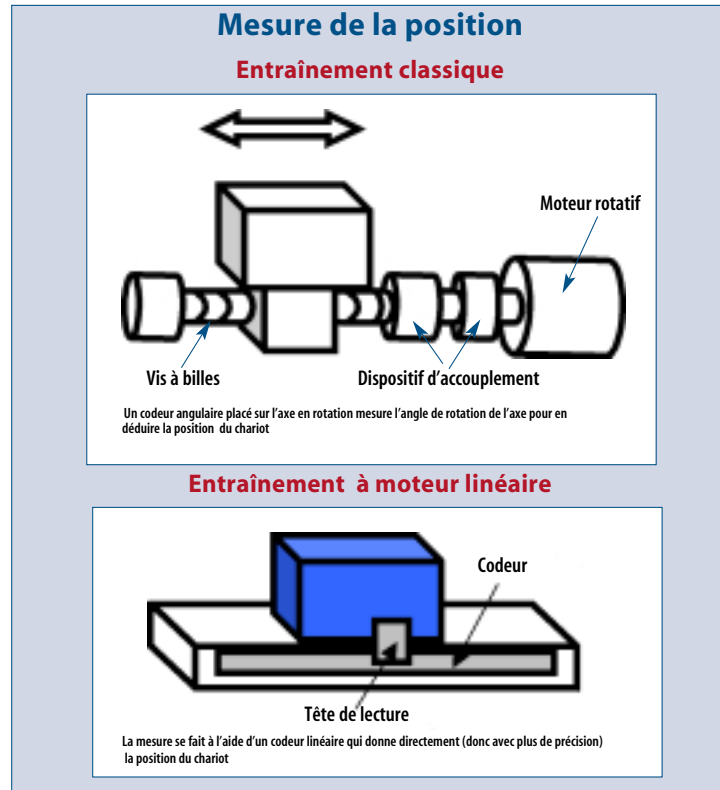
**Sans noyau de fer.** De par leur conception, les moteurs linéaires sans noyau de fer sont dépourvus d'attraction, en dehors de celle de la bobine. Ils peuvent ainsi suivre des trajectoires avec une très grande linéarité sans aucun à-coup avec d'excellentes propriétés de synchronisation.

Les à-coups peuvent être faiblement générés par l'attraction entre le fer du bobinage et les pôles du chemin magnétique. Ces à-coups, par exemple, ne sont pas souhaités en imprimerie ou en sérigraphie lorsque l'on travaille à grande vitesse pour des impressions d'une qualité de plusieurs milliers de dpi (dots per inch, points par pouce).

Les caractéristiques de ces moteurs sont poussées très loin pour répondre aux exigences toujours plus grandes de l'industrie des semi-conducteurs en matière de systèmes compacts. L'objectif des fabricants de puces est d'intégrer pour la production plus de systèmes dans des zones propres de plus en plus réduites.

**Avec noyau de fer.** Contrairement aux entraînements sans noyau de fer, les forces d'attraction magnétique agissant entre la bobine et le chemin magnétique doivent être prises en considération pour les moteurs linéaires avec noyau de fer.

Ces forces magnétiques peuvent atteindre jusqu'à quatre fois la force maximale du moteur.



Les moteurs linéaires avec noyau de fer constituent une variante plus rapide et plus précise, à un prix abordable, des systèmes d'entraînement linéaire à base de moteur rotatif. Ils trouvent notamment des applications dans les machines d'emballage, les installations de soudage et les systèmes de mesure, ainsi que dans toutes sortes de systèmes de manutention.

Les limites de ces moteurs se définissent par rapport à la force des chemins magnétiques. Plus la force du système est grande, plus la force d'attraction magnétique est élevée. La structure et la conception mécanique présentent un encombrement disproportionné, ce qui entraîne souvent des coûts et des investissements élevés.

Pour éviter cet inconvénient, il existe une variante : les moteurs linéaires avec noyau de fer sur chemins magnétiques latéraux. Ici, le chariot est situé entre deux rails adjacents aimantés en permanence. Cette configuration annule les deux champs magnétiques opposés, de sorte que seule la charge du chariot agit sur le système de guide. Ces moteurs répondent aux exigences d'application qui requièrent plusieurs milliers de newtons d'effort de compression et de traction, mais dans lesquelles des forces magnétiques élevées ne

sont pas autorisées. Ces systèmes sont utilisés dans des centres d'usinage où des charges très élevées doivent être actionnées à des niveaux dynamiques maximaux. L'absence de forces d'attraction magnétique offre également des avantages lors du transport de porte-pièces qui pèsent plusieurs tonnes dans l'industrie automobile.

## De belles perspectives

Les marchés se développent plus rapidement et dynamiquement que par le passé, à l'instar de la technologie qui les sert. La baisse des prix et l'augmentation des capacités des moteurs linéaires, ces quelques dernières années, favorisent la transition des systèmes d'entraînements rotatifs vers des systèmes d'entraînement linéaire direct.

Des systèmes intelligents sans codeur linéaire vont dans un proche futur voir le jour, alors que l'on peut déjà rencontrer des moteurs linéaires d'une précision garantie de 0,5 µm dans des applications extrêmes comme l'usinage de fibre optique.

Nous ne sommes qu'au début de l'essor d'un nouveau type de motorisation.

Gilles Gomila Chef de produits  
Variation de fréquence et Motion  
Omron