



## Quel capteur de position convient à votre application ?

**La précision et la réactivité d'un système d'asservissement en circuit fermé dépendent de la qualité du capteur de position. Certains appareils disposent également de fonctionnalités qui peuvent améliorer considérablement la productivité et la sécurité de la machine. Comprendre les technologies disponibles vous permettra de faire le choix approprié en fonction de vos besoins.**

### Qu'est-ce qu'un capteur de position ?

Un capteur de position mesure la position de sortie mécanique d'un moteur par rapport à sa partie stationnaire. Dans le cas d'un moteur rotatif standard, l'appareil mesure la position de l'arbre/du rotor par rapport au boîtier/stator du moteur. Pour un moteur linéaire, il mesure la position de la bobine mobile par rapport à la structure magnétique stationnaire. Au fil du temps, la vitesse du mouvement et même l'accélération peuvent être calculées à l'aide de mesures de position.

Il existe de nombreux types de capteurs de position, basés sur différentes sortes de capteurs analogiques. Les plus courants sont les suivants :

- optique. P. ex., le capteur d'asservissement intelligent absolu multitour SFD-M de Kollmorgen ;
- inductif P. ex., les résolveurs de la série EQI de Heidenhain ;
- capacitif. Comme les appareils de la série EEM37 de SICK.

Chaque type de capteur possède ses avantages et ses inconvénients, en fonction du coût, de la taille, de la performance, de la robustesse et de la température de fonctionnement.

Dans le cas de servomoteurs rotatifs standard, les capteurs de position sont généralement montés à l'arrière du moteur, comme illustré dans la figure 1, une vue éclatée d'un servomoteur Kollmorgen AKM2G équipé d'un capteur d'asservissement SFD-M.

## Pourquoi un servomoteur a-t-il besoin d'un capteur de position ?

Certains moteurs fonctionnent sans capteur de position : p. ex., les moteurs actionnés par une ligne CA, les moteurs à induction à vitesse variable et les moteurs pas-à-pas. En revanche, pour les applications qui nécessitent un contrôle précis du mouvement, les moteurs fonctionnant en mode boucle ouverte sans capteur de position risquent de compromettre la qualité du mouvement en raison des facteurs suivants :

- incapacité de maintenir une position mécanique constante ;
- régulation médiocre de la vitesse lorsqu'une vitesse constante est requise ;
- lenteur des changements de vitesse ;
- lenteur du déplacement d'une position à une autre ;
- mauvaise fluidité du mouvement ;
- risque de « se perdre », par exemple en se réglant sur une position complètement erronée ;
- mauvaise efficacité thermique ou nécessité de spécifier une taille de moteur plus grande.

Un capteur de position dans un système en circuit fermé offre le **contrôle de mouvement le plus précis.**

Tous ces problèmes peuvent être éliminés en suivant la position mesurée du moteur dans une boucle d'asservissement.

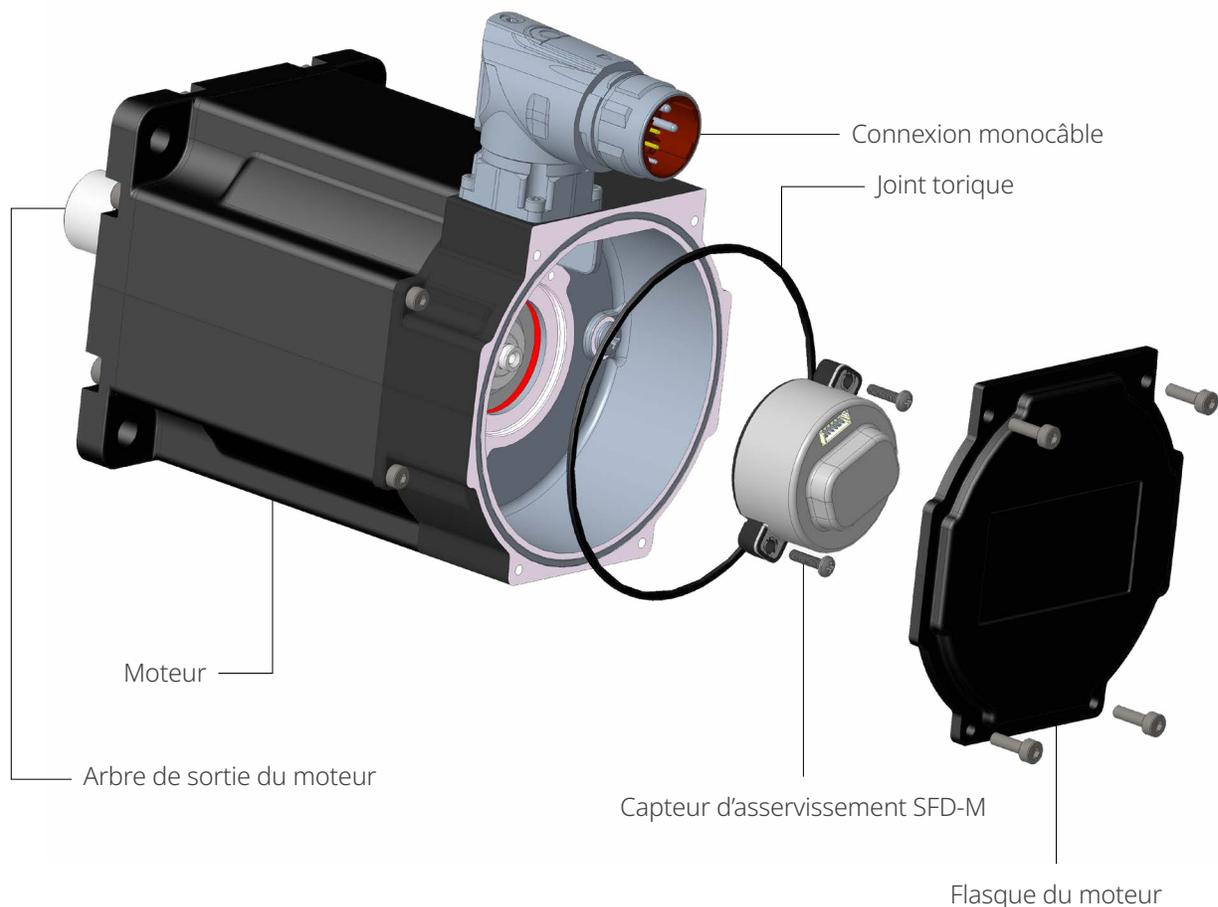


Figure 1. Vue éclatée du servomoteur AKM 2G Kollmorgen avec asservissement SFD-M

## Comment le feedback de position est-il utilisé ?

### Boucle d'asservissement

La position mesurée du moteur est utilisée par les données d'une boucle d'asservissement par un contrôleur électronique appelé variateur du moteur.

L'objectif de la boucle d'asservissement est de produire continuellement la valeur d'erreur la plus faible possible. Autrement dit, de pousser le bloc du capteur de d'asservissement vers la valeur la plus proche possible de la valeur de commande d'entrée.

Dans la figure 2, le bloc étiqueté capteur d'asservissement est le capteur de position du servomoteur dans le système. Dans l'idéal, la boucle d'asservissement tente d'entraîner la position de sortie du moteur, telle que mesurée par le capteur, vers la valeur la plus proche possible de la position commandée. Dans une variante de la figure 2, le bloc du capteur d'asservissement utilise la dérivée de la position mesurée pour fournir le retour de vitesse, et la boucle contrôle la vitesse du moteur.

La qualité du capteur de position est probablement l'élément le plus important qui contribue à la qualité du mouvement atteinte par un servomoteur. Cette conclusion découle du fait qu'une boucle d'asservissement ne peut pas entraîner directement la position de sortie vers une valeur égale à la commande d'entrée. Elle produit une valeur de feedback égale à la commande. Toute erreur de mesure faite par le capteur d'asservissement entraîne obligatoirement des erreurs/distorsions de la position réelle du moteur.

Lorsque la boucle d'asservissement du servomoteur est très serrée, ce qui signifie que le signal d'erreur est très faible, la position de sortie réelle présente une erreur inverse de l'erreur de mesure provenant du capteur d'asservissement. Imaginez un capteur de position qui présenterait des erreurs d'ondulation cycliques dans la position mesurée. Lorsque le variateur commande une vitesse constante, le mouvement réel du moteur produit une ondulation cyclique inverse qui annule les erreurs de mesure du capteur d'asservissement.

Meilleure est la position du capteur, meilleur sera le mouvement généré. Toutefois, lorsque les appareils sont montés dans le moteur, ils n'ont pas besoin d'être aussi précis.

Le plus souvent, un moteur entraîne un certain type de liaison mécanique, comme une poulie, une boîte de vitesses, un coupleur ou une vis sans fin. Ce qui importe est le mouvement obtenu à l'extrémité de ces dispositifs mécaniques. Même si le mouvement de l'arbre du moteur était parfait, le mouvement produit à l'extrémité des systèmes mécaniques connectés ne serait probablement pas parfait. Ces systèmes mécaniques connectés nécessiteraient un coût et un entretien substantiels pour éviter les erreurs de l'ordre de quelques minutes d'arc mesurées au niveau de l'arbre du moteur.

En conséquence, un capteur de position avec une précision de quelques secondes d'arc est peu susceptible d'améliorer de manière significative le mouvement à l'extrémité des systèmes mécaniques connectés, où la qualité du mouvement importe réellement.

### Commutation électronique d'un moteur

De nombreux moteurs requièrent des ondes CA synchronisées de manière appropriée pour produire le mouvement souhaité. Dans les moteurs à balais d'origine, cette synchronisation était réalisée au moyen d'un commutateur mécanique. Dans les servomoteurs à aimant permanent sans balais, un capteur de position fournit au variateur les informations dont il a besoin pour synchroniser de manière électronique l'excitation des enroulements du moteur requise pour des tâches de mouvement spécifiques. La commutation électronique des enroulements du moteur fournit de nombreux avantages en termes de performance, par exemple en permettant à des moteurs plus petits et moins coûteux de produire une puissance mécanique et un couple donnés. La commutation électronique de certains types de moteur nécessite des informations de position absolue pendant un cycle électrique du moteur.

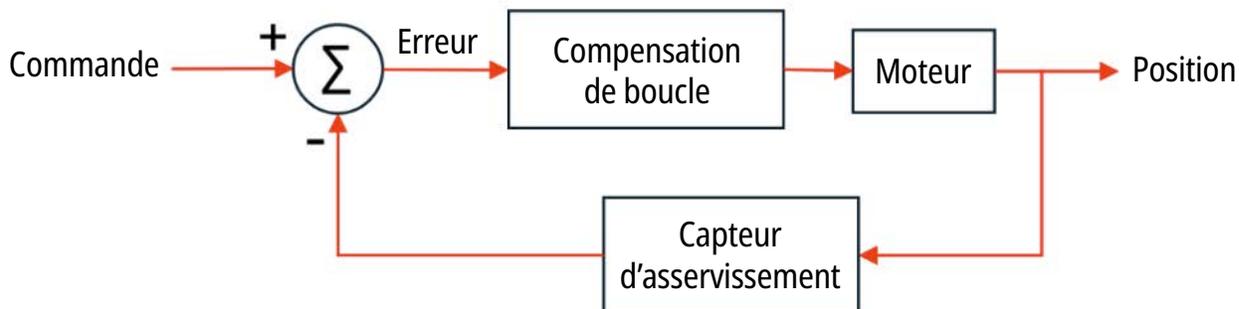


Figure 2. Boucle d'asservissement de base

## Qu'est-ce que la position absolue ?

Les capteurs de position les plus simples fournissent une position incrémentale. Cela signifie que lorsque l'appareil se met sous tension, il rapporte toujours une position 0, quelle que soit la position réelle et physique du rotor, puis il mesure la distance incrémentale parcourue depuis cette dernière mise sous tension. Pour certaines applications, comme le déplacement à vitesse constante, ces informations sont suffisantes.

Toutefois, la plupart des applications doivent connaître la position réelle dans un espace de fonctionnement. Les capteurs de position absolus fournissent la position par rapport à une position 0 qui est toujours fixe, au lieu de se réinitialiser à un emplacement différent à chaque mise sous tension. Ce type de position est appelé position absolue. Il existe différents types de capteurs de position absolue, différenciés par leur plage de position absolue :

- Commutation** Fournit suffisamment d'informations de position absolue pendant un cycle électrique du moteur à la mise sous tension pour commuter électroniquement le moteur. Pour la rétroaction de position, elle ne fournit que la position incrémentale ou la position absolue pendant un cycle électrique du moteur, ce qui représente moins d'une révolution complète du moteur. C'est le cas d'un codeur incrémental et un capteur à effet Hall ou un résolveur à plusieurs vitesses.
- Position absolue dans un tour** Fournit une valeur de position absolue exacte pendant une révolution mécanique de 0 à 360 degrés au démarrage. C'est le cas des résolveurs à vitesse unique et de certains appareils optiques, capacitifs ou inductifs.
- Position absolue multitour** Fournit une position absolue pendant une révolution mécanique, mais suit également le nombre de révolutions complètes qui se sont produites. En général, les capteurs absolus multitour produisent une capacité de comptage variant de 4 069 tours (12 bits, ou  $2^{12}$ ) à 65 536 tours (16 bits ou  $2^{16}$ ). L'asservissement absolu multitour peut être implémenté de quatre manières principales :
1. Enregistrement de la position actuelle dans une mémoire non volatile à la mise hors tension, restauration à la mise sous tension.
    - La position du moteur ne doit pas être modifiée pendant que l'appareil est hors tension.
    - Coût le plus bas, plage d'applications possibles la plus réduite.
  2. Une batterie de secours alimente un compte-tours.
    - Possibilité de déplacer le moteur pendant que l'appareil est hors tension.
    - La batterie implique un certain coût et une maintenance et nécessite de l'espace.
    - Risque qu'une longue période d'arrêt de l'appareil ne nuise à sa durée de vie utile.
  3. Utilisation d'engrenages à lecture individuelle. C'est le cas des appareils SICK DSL ou Heidenhain EnDat.
    - Possibilité de déplacer le moteur pendant que l'appareil est hors tension.
    - Les engrenages rendent le codeur plus volumineux, ce qui peut augmenter la taille du moteur.
    - Les engrenages sont coûteux et nécessitent des tolérances de montage étroites.
  4. Récupération d'énergie. Lorsque l'appareil est hors tension, le déplacement manuel du moteur déclenche un compte-tours dans une mémoire non volatile. C'est le cas du capteur SFD-M de Kollmorgen.
    - Possibilité de déplacer le moteur pendant que l'appareil est hors tension.
    - Plus robuste et offre un compte-tours plus important que les engrenages.
    - Plus petit que des engrenages, moins coûteux et nécessite des tolérances moins précises.

La plupart des applications peuvent bénéficier de la présence d'un système de positionnement absolu multitour. Par exemple, dans les applications où la rotation du moteur est convertie en mouvement linéaire dans une plage limitée, par exemple sur une table X-Y, l'asservissement absolu multitour permet une productivité immédiate sans nécessité de procéder à des routines de repérage chronophages ni de recourir à des câblages et à des capteurs de position coûteux.

Historiquement, compte tenu du coût élevé de l'ajout d'une fonctionnalité multitour absolue à des capteurs de position, de nombreuses applications se sont passées des avantages qu'elle peut apporter. Aujourd'hui, il n'est plus aussi nécessaire d'accepter ces limites. Plus précisément, le capteur de position SFD-M de Kollmorgen fournit tous les avantages d'une fonctionnalité absolue multitour avec une technologie de récupération d'énergie sans coût supplémentaire par rapport à un codeur incrémental monotour.

## Spécifications importantes des capteurs d'asservissement

Spécifications qui définissent la performance et l'utilité des capteurs de position :

- Résolution** La distance de mouvement minimale pouvant être mesurée. Également appelée position quanta. La résolution est généralement spécifiée par le nombre de bits binaires/tour. Plus le nombre de bits/tour est élevé, mieux c'est, jusqu'au point de diminution des retours. Cette valeur détermine également la résolution de la vitesse telle que calculée par la position différentielle. Pour un servomoteur rotatif industriel typique, recherchez au moins 16 bits/tour et de préférence 24 bits/tour, produisant  $2^{24} = 16\,777\,216$  positions mesurées distinctes par révolution mécanique. Au-delà de 24 bits/tour, le retour sur investissement diminue rapidement.
- Précision** La différence entre la position mesurée du capteur et la position exacte et réelle du moteur. La précision est généralement spécifiée comme l'erreur au pire des cas par rapport à la position réelle comme  $\pm$  minute d'arc/angle. La précision est presque toujours nettement moins bonne que la résolution.
- Ondulation de vitesse** Lorsque la vitesse réelle est constante, l'estimation de vitesse de la position différentielle mesurée produira des ondulations liées aux erreurs de la position mesurée. L'ondulation de vitesse est exprimée en % p-p, car l'amplitude de ces ondulations de vitesse dans la valeur mesurée est directement proportionnelle à la vitesse. Ondulation tours/min = (% d'ondulation)\*(tours/min. du moteur). L'ondulation de vitesse est provoquée par les erreurs de précision de la position, mais une erreur de position donnée  $\pm$  au pire des cas ne détermine pas directement le % de l'ondulation de vitesse.
- Bruit de position** Lorsque le moteur est parfaitement stationnaire, la valeur de position mesurée ne reste pas fixe. Elle présente un bruit aléatoire qui provoque des variations de la valeur. Ce bruit correspond à la somme du bruit inhérent de la méthode de détection analogique plus l'éventuel bruit couplé par l'EMI issu du bruit tel que les tensions PWM sur un enroulement de moteur. Le bruit est généralement spécifié comme la variation de la valeur rms (moyenne quadratique) de position. Dans les capteurs à haute résolution, l'amplitude du bruit de position se situe généralement entre les spécifications de résolution et de précision. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, un capteur de position avec 0 bruit, appelé quantificateur idéal, n'est pas souhaitable. Avec le bruit aléatoire ajouté, le signal de position peut être calculé en moyenne ou filtré davantage pour parvenir à une résolution supérieure à celle qui a été spécifiée. Il est préférable de disposer de 1 à 2 bits moins significatifs de bruit aléatoire de résolution.
- Bande passante** Chaque capteur présente une limite dans sa rapidité de réaction aux changements d'entrée. La bande passante du capteur de position est exprimée comme la fréquence en Hz lorsque l'amplitude du mouvement sinusoïdal mesuré comparé au mouvement de position sinusoïdal réel baisse à  $-3$  dB ou  $0,707x$ . La bande passante d'un capteur de position doit être supérieure à la bande passante du mouvement de boucle de régulation en circuit fermé souhaité.

**Latence/  
phase**

Chaque capteur possède un déphasage, voire une latence (délai) en ce qui concerne le passage de l'entrée à la valeur mesurée. Le déphasage net est généralement exprimé en degrés électriques à une fréquence de fonctionnement sinusoïdale spécifiée en Hz. Le déphasage doit être suffisamment limité à la bande passante de la boucle de servomoteur en circuit fermé souhaitée pour ne pas provoquer de problèmes de stabilité.

**Température**

Limites de température que peut atteindre l'appareil tout en fonctionnant selon les spécifications. Les composants d'un moteur peuvent généralement fonctionner à des températures plus élevées que les capteurs d'asservissement. Cela signifie que le couple continu du moteur est limité par la température de fonctionnement maximale du capteur de position.

**Robustesse**

Les applications pour servomoteurs impliquent généralement des vibrations et des chocs mécaniques rencontrés, par exemple, dans les machines de presse ou les applications de véhicules. Chaque capteur de position peut s'adapter à une plage de vibrations et de chocs mécaniques tout en fonctionnant selon les spécifications. Certains dispositifs sont plus robustes que d'autres.

## Caractéristiques utiles des capteurs d'asservissement

Outre leur fonction principale consistant à mesurer la position du moteur, les capteurs d'asservissement modernes peuvent inclure un certain nombre de fonctionnalités qui renforcent les caractéristiques et la valeur, notamment :

**ID du moteur**

Les capteurs de position qui incluent des liens de communication numériques vers le variateur sont souvent dotés d'une mémoire non volatile. La programmation de cette mémoire avec les valeurs de la fiche technique du moteur signifie qu'à la mise sous tension, le variateur peut déterminer à quel moteur il est connecté et se programmer automatiquement pour être compatible avec ce moteur. Tous les dispositifs Kollmorgen avec mémoire sont programmés avec les informations d'identification du moteur qui peuvent être utilisées pour la configuration automatique des variateurs Kollmorgen.

**Capteur  
thermique**

Certains capteurs de position numériques possèdent une entrée qui peut être connectée au capteur thermique d'un enroulement de moteur. Ce dernier communiquera la valeur mesurée au variateur sur sa liaison de communication numérique. Cela élimine la nécessité de raccorder le capteur thermique du moteur vers le variateur.

**Câble unique**

Les capteurs de position qui communiquent de manière numérique avec le variateur peuvent fonctionner avec un petit nombre de fils : p. ex., quatre câbles, voire seulement deux dans des capteurs comme le SFD-M de Kollmorgen ou le Hiperface DSL de Sick. Cela est, par exemple, bien préférable aux résolveurs qui nécessitent 8 câbles, aux capteurs incrémentaux et à effet Hall qui requièrent 13 câbles, ou à ceux EnDat 2.2/01 qui exigent 14 fils. Avec seulement 2 ou 4 câbles de feedback, il est possible à un seul câble hybride de fournir à la fois la puissance du moteur et le feedback entre le variateur et le moteur. En revanche, le nombre élevé de câbles ou de capteurs analogiques directs nécessitent deux câbles : un pour l'alimentation et l'autre pour les données d'asservissement. La technologie à câble unique allège les frais et nécessite moins de main d'œuvre pour l'installation.

**Sécurité  
fonctionnelle**

Dans les machines modernes, on souhaite permettre aux opérateurs d'intervenir sans avoir à arrêter complètement la machine. Pour assurer la sécurité de l'opérateur, les servomoteurs peuvent intégrer un capteur de position à sécurité fonctionnelle certifié par un tiers. Cette fonctionnalité intégrée permet aux servomoteurs actifs d'occuper une position fixe tandis que l'opérateur travaille en toute sécurité sur la machine. Cela améliore généralement la productivité moyenne de la machine tout en fournissant aux opérateurs un environnement de travail plus sûr.



## Tableau de comparaison des capteurs d'asservissement

En combinant tous les paramètres de performance, les capacités et les fonctionnalités dont nous avons parlé, et en ajoutant le prix relatif, nous sommes en mesure d'établir un tableau de comparaison complet présentant les bons appareils, les dispositifs supérieurs et les meilleurs capteurs de position disponibles. Voir le Tableau 1.

Capteur	Prix	Analogique ou numérique	Position initiale	Type pos. init.	Résolution	Précision	Bruit vitesse	ID du moteur	Simple Câble	Robustesse mécanique	Température	Longueur du moteur	Sécurité fonctionnelle
SFD-M	Bas	Numérique	16 bits	Récup. énergie	Élevée	Élevée	Très Bas	Oui	Oui	Élevée	Élevée	Plus courte	Non
SFD-3	Bas	Numérique	Simple	-	Élevée	Basse	Moyen	Oui	Oui	Élevée	Élevée	Plus courte	Non
SFD	Bas	Numérique	Simple	-	Élevée	Basse	Moyen	Oui	Oui	Élevée	Élevée	Plus courte	Non
Résolveur	Bas	Analogique	Simple	-	Moyenne	Basse	Haut	Non	Non	Très élevée	Très élevée	Plus courte	Non
Codeur incrémentiel + Hall	Moyen	Analogique	Commutation	6 étapes	Basse	Moyenne	Moyen	Non	Non	Moyenne	Moyenne	Plus courte	Non
Analogique optique BiSS B	Moyen	Ana/Num	Simple	-	Très élevée	Très élevée	Bas	Oui	Non	Moyenne	Moyenne	Plus longue	Non
Analogique optique BiSS B	Haut	Ana/Num	12	Engrenages	Très élevée	Très élevée	Bas	Oui	Non	Moyenne	Moyenne	Plus longue	Non
BiSS C numérique	Haut	Numérique	12	Engrenages	Très élevée	Très élevée	Bas	Oui	Non	Moyenne	Moyenne	Plus longue	Non
Analogique optique Hiperface	Moyen	Ana/Num	Simple	-	Moyenne	Élevée	Bas	Oui	Non	Moyenne	Basse	Plus longue	Non
Analogique optique Hiperface	Haut	Ana/Num	12	Engrenages	Moyenne	Élevée	Bas	Oui	Non	Moyenne	Basse	Plus longue	Non
DSL optique Hiperface	Moyen	Numérique	Simple	-	Moyenne	Élevée	Bas	Oui	Oui	Moyenne	Basse	Plus longue	Non
DSL optique Hiperface	Moyen	Numérique	12	Engrenages	Moyenne	Élevée	Bas	Oui	Oui	Moyenne	Basse	Plus longue	Non
Capacitif Hiperface	Moyen	Numérique	Simple	-	Moyenne	Élevée	Moyen	Oui	Oui	Élevée	Basse	Plus longue	Non
Capacitif Hiperface	Moyen	Numérique	12	Engrenages	Moyenne	Élevée	Moyen	Oui	Oui	Élevée	Basse	Plus longue	Non
DSL capacitif Hiperface	Moyen	Numérique	12	Engrenages	Moyenne	Élevée	Moyen	Oui	Oui	Élevée	Basse	Plus longue	Oui
Analogique optique EnDat 2.2/01	Moyen	Ana/Num	Simple	-	Très élevée	Très élevée	Bas	Oui	Non	Moyenne	Basse	Plus longue	Non
Analogique optique EnDat 2.2/01	Très élevé	Ana/Num	12	Engrenages	Très élevée	Très élevée	Bas	Oui	Non	Moyenne	Basse	Plus longue	Non
Analogique inductif EnDat	Moyen	Ana/Num	Simple	-	Moyenne	Élevée	Moyen	Oui	Non	Élevée	Basse	Plus longue	Non
Analogique inductif EnDat	Moyen	Ana/Num	12	Engrenages	Moyenne	Élevée	Moyen	Oui	Non	Élevée	Basse	Plus longue	Non
Numérique inductif EnDat 2.2	Très élevé	Numérique	12	Engrenages	Moyenne	Élevée	Moyen	Oui	Oui	Élevée	Basse	Plus longue	Oui

Tableau 1 : tableau de comparaison des prix, performances et fonctionnalités des capteurs de position

## Faire le bon choix

### Applications générales de contrôle de mouvement

En fonction du tableau de comparaison, le SFD-M constitue un choix évident pour la plupart des applications. Ses avantages :

- un bon rapport qualité-prix ;
- une résolution absolue multitour de 16 bits ;
- des performances supérieures.

### Recommandations concernant les applications spéciales

Toutefois, le SFD-M ne constituerait pas le meilleur choix pour certaines applications spécialisées. Ces cas particuliers sont répertoriés ci-dessous, ainsi que les capteurs d'asservissement appropriés et leur code de commande.

1. Sécurité fonctionnelle certifiée requise :
  - Sécurité capacitive GU BiSS
  - Sécurité inductive LD EnDat
    - Coût supérieur, voire largement supérieur et moteur plus long que le SFD-M
2. Une précision de position maximale requise pour un entraînement direct :
  - DA, DB EnDat optique
  - AA, AB BiSS optique
    - Coût plus élevé et moteur plus long que le SFD-M
3. Si vous n'utilisez pas un variateur Kollmorgen :
  - choisissez un capteur d'asservissement compatible avec le variateur.



## Kollmorgen vous accompagne tout au long du processus, avec des procédés éprouvés et un système de livraison fiable

Nous travaillons avec vous dans la phase de conception initiale pour comprendre vos besoins exacts, puis vous fournissons l'assistance technique dont vous avez besoin pour simplifier la sélection, le dimensionnement, la configuration et la programmation du système de mouvement. Grâce à nos capacités de configuration étendues, nous procédons rapidement au prototypage, à la livraison et aux itérations de votre solution en fonction de vos besoins, ce qui vous permet de gagner plusieurs mois dans votre processus de développement.

Lorsque la conception finale est prête, nous la documentons entièrement et nous vous aidons à obtenir les certifications requises, dans n'importe quelle région. Grâce à notre production allégée, à nos processus répétables et à nos contrôles de qualité éprouvés, nous passons rapidement du prototypage à la production à plein régime, en livrant toujours vos systèmes de mouvement dans les temps. Nous assurons également une assistance à long terme dans la région souhaitée, afin de garantir la livraison des produits tout au long du cycle de vie de votre application, en assurant à la fois la gestion des coûts et l'augmentation de la production en fonction des besoins.

## Prêt à vous lancer ?

[Contactez Kollmorgen](#) pour discuter de vos besoins et de vos objectifs avec un expert Kollmorgen spécialisé dans les applications.

## À propos de Kollmorgen

Kollmorgen, une marque Regal Rexnord, possède plus d'un siècle d'expérience dans le domaine du mouvement. Cette expérience se retrouve dans les performances et la fiabilité inégalées de ses moteurs et de ses variateurs, ainsi que dans ses solutions de contrôle et ses plateformes d'automatisation pour les véhicules autonomes. Nous proposons des solutions révolutionnaires avec des performances, une fiabilité et une facilité d'utilisation sans pareilles, qui donnent un avantage incontestable aux fabricants de machines.