

## Installation des capteurs de force

Ces dernières années, les capteurs de force ont atteint un niveau technique très élevé. Ils sont arrivés également à un niveau de très grande précision, en partie grâce aux possibilités sans cesse améliorées de les étalonner. Dans un grand nombre de cas, un capteur de force, à la différence des capteurs de pesage par exemple, ne peut pas être étalonné sur site. Pour obtenir des résultats de mesure corrects et fiables, il est donc important dans la pratique d'arriver à avoir un montage du capteur aussi proche que celui d'une installation d'étalonnage, de façon à avoir uniquement des variations selon les caractéristiques techniques spécifiées.

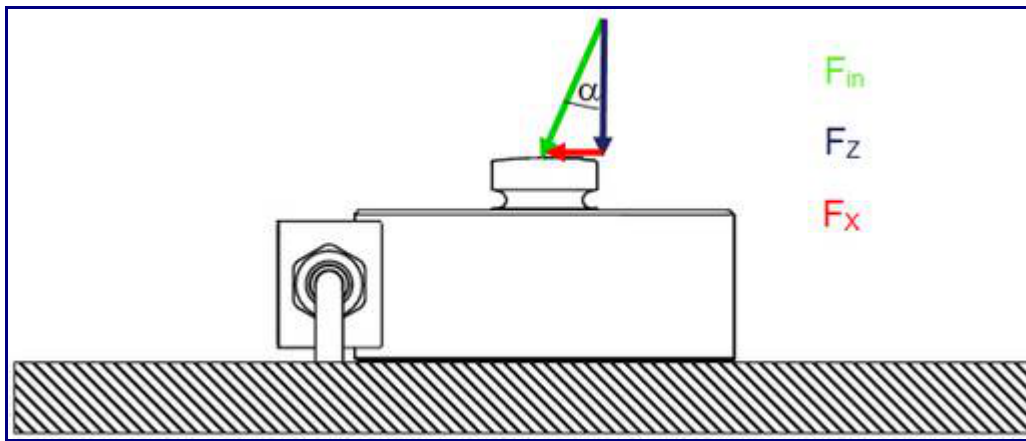
L'exactitude de mesure d'un capteur de force dépend en grande partie de sa situation en termes de montage. Les situations défavorables d'installation ont un effet négatif sur l'exactitude de mesure, mais également sur les propriétés dynamiques de la chaîne de mesure ainsi que sur la sensibilité aux effets des champs électromagnétiques.

### 1. Effet de l'introduction de la force

#### Application oblique de la force

Les manuels d'utilisation des capteurs de force, par exemple pour le capteur de force C2 de HBM, exigent que « ... les forces agissant sur les capteurs de force devront être exercées exactement dans l'axe de mesure si possible. »

Il y a un certain nombre de raisons à cela. D'abord, si ce n'est pas le cas, une erreur de mesure systématique apparaît parce que le capteur de force mesure seulement les forces dans l'axe de mesure. Les forces appliquées avec un certain angle par rapport à l'axe du capteur, sont compensées en grande partie parce que les forces latérales ne sont généralement pas l'objet de la mesure.



Dans cet exemple la force à mesurer  $F_{in}$ , est appliquée sur le capteur avec un angle  $\alpha$ . Le vecteur de force de la force appliquée est alors distribué en deux composantes  $F_z$  et  $F_x$ . Seule la force dans la direction Z, plus petite que la force appliquée, est mesurée par le capteur.

En considérant la formule suivante :

$$F_z = F_{in} \cdot \cos(\alpha)$$

Le résultat de mesure est réduit par le facteur  $\cos(\alpha)$

D'ailleurs, dans ce cas une force latérale est exercée, elle peut être calculée ainsi :

$$F_x = F_{in} \cdot \sin(\alpha)$$

L'erreur de mesure, quand la force est appliquée avec un angle jusqu'à cinq degrés, peut être évaluée à :

$$1^\circ = 0.015 \%$$

$$2^\circ = 0.06 \%$$

$$3^\circ = 0.14 \%$$

$$4^\circ = 0.24 \%$$

$$5^\circ = 0.38 \%$$

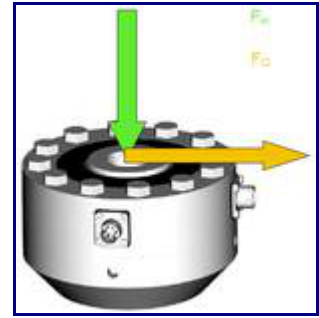
En comparaison : La plus grande erreur individuelle des capteurs modernes de force (S9M, S2M) est de 0.02 %.

## 2. Effet des forces latérales, des moments de flexion et de torsions

### a) Forces latérales

Les forces latérales sont des forces appliquées perpendiculairement à l'axe de mesure du capteur. La norme allemande VDI/VDE2638 se réfère à une force qui agit sur un point d'application de la charge.

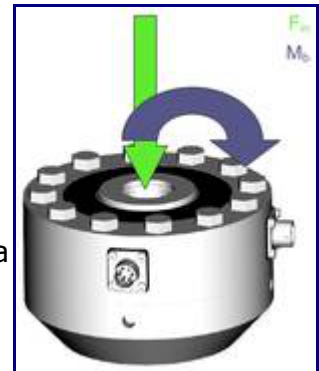
Ces forces latérales sont générées, par exemple, par le poids intrinsèque des pièces de montage ou parce qu'une charge est appliquée avec un angle. En général, une force latérale induit toujours un moment de flexion, car la force latérale agit rarement au niveau de l'emplacement des jauges de contrainte. Selon la sensibilité transverse de capteurs, une erreur additionnelle se produit. Dans la plupart des capteurs, cette erreur est bien en dessous de 1 % de la force appliquée dans l'axe ( $F_z$ ), si la force latérale est de 10 % de  $F_z$ .



### b) Moments de Flexion

Une erreur importante d'angle dans l'introduction de la force peut détruire le capteur. Dans la pratique, le moment de flexion dépasse la force réelle à mesurer.

Le dessin ci-contre montre cette situation. En plus de la force appliquée, le capteur est également chargé par un moment de flexion. Ce moment de flexion peut être généré par exemple par une force latérale au point d'introduction de la force, comme le poids des montages lorsque le capteur est monté horizontalement. Une introduction excentrée de la charge peut aussi générer un moment de flexion.



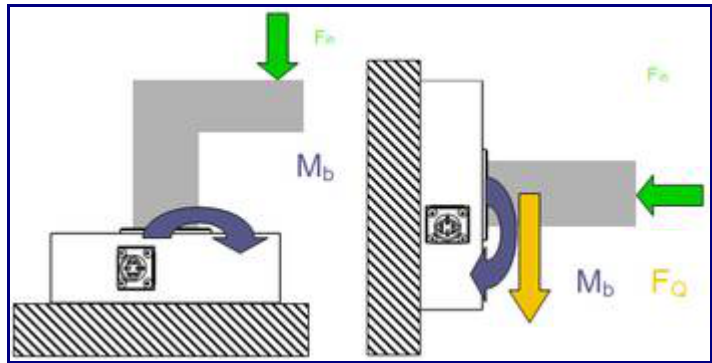
Dans ce cas-là, le couple (qui tourne dans le sens des aiguilles d'une montre dans le croquis) soulage la charge sur le capteur du côté gauche et l'alourdit du côté droit. Les capteurs conçus sur le principe d'une rotation symétrique (C2, U2B ou U10M) sont particulièrement peu sensibles aux moments de flexion parce qu'ils compensent les moments de flexion en utilisant des points de mesure multiples répartis sur la circonférence du corps d'épreuve. Les capteurs U10M et U10S ont un alignement du moment de flexion qui réduit considérablement l'influence du moment de flexion à 0.01 %. Ce dispositif se sert du fait que quand les différents points de mesure sont combinés, le résultat produit est toujours la valeur moyenne.

Indépendamment de ceci, un grand moment de flexion peut aussi détruire un capteur de force. Il est important de noter, comme mentionné ci-dessus, que le moment de flexion n'est pas affiché.

Il faut également considérer que dans beaucoup de cas les moments de flexion apportent avec eux une force latérale qui amène une charge additionnelle sur le capteur. Voir également les croquis ci-dessous.

Un moment de flexion est produit sur le côté gauche parce que le poids

intrinsèque de l'application de la charge agit en tant que levier. La distance par rapport au centre de gravité du capteur de force est représentée par la longueur du levier. Le poids est transformé en force dans ce cas simple. Le moment est obtenu en multipliant la force par le bras de levier. La force du poids agit sur le capteur comme une force latérale. Ces deux influences parasites doivent être prises en compte.



### c) Moment de torsion

Les capteurs de force, conçus pour travailler en compression et traction sont équipés de parties taraudées (S9, S2, U10) ou de tiges filetées (U15, Z4, U2B). Durant l'installation du capteur, il est important que ces raccords vissés soient bloqués à la clef avec un couple approprié. Le couple maximum est fréquemment dépassé pendant le montage. Veuillez noter ceci : Bloquer les raccords à vis mis en place de sorte qu'aucun couple ne soit appliqué sur le capteur. Garder à l'esprit le couple maximum car le capteur peut être détruit de manière permanente si la valeur limite est dépassée.



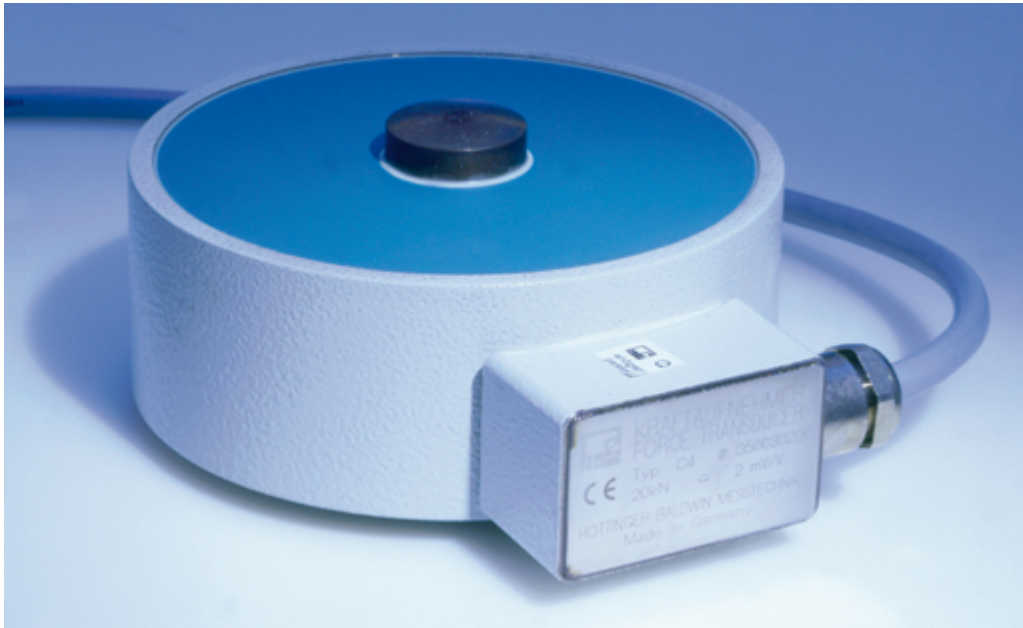
Lors du fonctionnement, la torsion est en grande partie compensée par la géométrie du corps de capteur et le positionnement des jauges de contraintes.

### d) Interaction de tous les moments, torsions et force latérale

Les limites maximales de charge doivent s'entendre comme celles que le capteur, une fois chargé avec la force (évaluée) nominale, peut également supporter en tant que charges parasites. Si plusieurs effets agissent simultanément sur le capteur de force, alors ce qui suit s'applique :

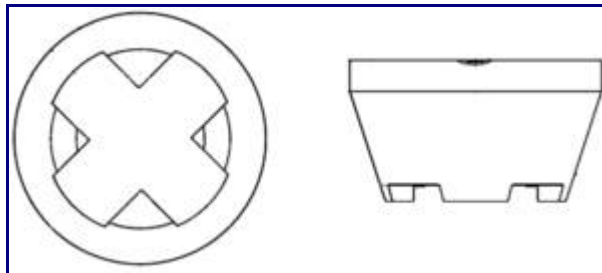
- Plusieurs composantes s'ajoutant simultanément aux valeurs autorisées maximales détruiront le capteur
- Si de multiples influences agissent sur le capteur simultanément, ces composantes peuvent être ajoutées. Le total ne doit pas dépasser 100 %. Exemple : 50 % de couple admissible, 40 % de moment de flexion admissibles et 10 % de force latérale permise sont effectifs, alors le capteur est à la charge maximum, car la somme est en effet égale à 100 %.

### 3. Capteurs avec introduction de la force sur appui convexe



Les capteurs ainsi conçus, peuvent seulement enregistrer des forces dans le sens de compression et sont généralement équipés d'une tête d'appui convexe recevant l'application de la charge.

L'application de la force sur la tête de charge peut être mise en œuvre avec des accessoires de montage qui sont disponibles pour de nombreux modèles de capteurs. Ceux-ci comportent par exemple des grains d'appui comme représentés dans les dessins ci-dessous.



Un grain d'appui de ce type est simplement placé sur la tête de charge. La seule précaution à prendre est simplement de s'assurer qu'il n'y ait aucun corps étranger entre le grain et la tête d'appui du capteur. Le grain a une liberté de mouvement en rotation et en inclinaison ce qui permet que les moments de flexion et de torsion ne soient pas appliqués au capteur.

Si un capteur de force est installé sans grain d'appui de ce type, il est important vis-à-vis de la tête d'appui convexe de respecter les consignes suivantes:

- HBM recommande une dureté de l'appui d'au moins 43 HRC
- La face d'appui doit être rectifiée
- Le support doit être exécuté de sorte que l'appui ne puisse se lever et que le capteur ne subisse des chocs

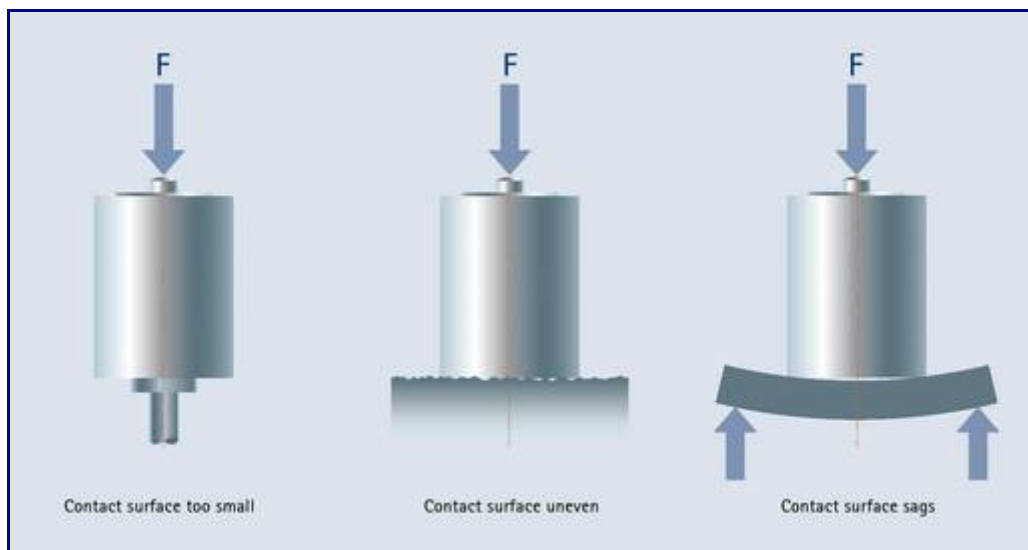
- Si possible, l'appui devrait pouvoir tourner et avoir une fonction de pivot pour éviter les moments de flexion et de torsion.

Dans leurs applications, les capteurs de force sont généralement placés dans la structure. Cela signifie que la force est dirigée dans la structure sous le capteur de force. Cependant, un montage horizontal est également imaginable. Dans ce cas, le capteur devra être relié à la structure d'une façon rigide.

En tous cas, l'élément structural sur lequel le fond du capteur est placé doit être conçu de sorte que les forces appliquées ne génèrent seulement qu'une légère déformation. Une rigidité suffisante doit être observée dans ce but.

Il est également important que la surface soit plane. La tolérance d'inégalité maximum est de 0.005 mm. Même une structure de substrat doit être faite pour que le capteur de force soit convenablement déformé selon les critères préconisés par le fabricant pour réaliser une mesure avec une bonne exactitude.

Une structure de substrat devra résister à une déformation et doit avoir un plus grand diamètre que le capteur lui-même. Une sous-structure qui a pour conséquence une déformation significative, une surface d'appui trop petite ou bien inégale amènera forcément des déformations qui n'ont pas été prises en compte lors de la conception du capteur. Les données techniques se rapportant à la sensibilité, linéarité et hystérésis peuvent donc changer.



Conditions essentielles sur l'état de la surface d'appui d'un capteur de force : taille, régularité et rigidité suffisantes.

#### 4. Capteurs T/C avec introduction de la force par vissage

Lors que les forces doivent travailler en traction en plus de la compression, avoir une tête de charge ne serait pas naturellement convenable.

Pour les mesures de force en compression et traction, les capteurs doivent disposer de parties mécaniques filetées ou taraudées ou parfois les deux. Quelques capteurs de force, par exemple le Z4A ou l'U2B, sont équipés d'une tige filetée sur le

dessus et un trou taraudé sur le dessous. Les capteurs de force du type U10M et U10S sont équipés d'un trou taraudé des deux côtés.

Les trous taraudés présentent une solution considérablement plus compacte. Celle-ci est très appropriée pour les capteurs de force qui doivent être plats. Dans le cas des capteurs avec tiges filetées, la distance entre la liaison mécanique et la zone d'installation des jauges de contrainte est naturellement plus grande, ce qui a un effet positif sur diverses propriétés métrologiques (hystérésis !). Les capteurs de force devant travailler en traction et compression avec des exigences très élevées en termes d'exactitude et de reproductibilité ont donc généralement une tige filetée. La tige filetée est seulement utilisée du côté non critique.

#### Pour les liaisons par taraudage :

Pour chaque capteur avec une liaison boulonnée, une pression extérieure suffisante doit être exercée sur le capteur de force par l'écrou. Il y a deux manières différentes de réaliser ceci :

a. Une liaison boulonnée avec une application de la force qui est plus grande que la force de fonctionnement la plus importante

- Visser les éléments mécaniques dans le capteur de force des deux côtés.
- Charger le capteur de force au-delà de sa charge de fonctionnement (ne pas dépasser les limites maximales autorisées)
- Serrer les contre-écrous
- Maintenant le capteur peut recevoir la force. Le capteur est ainsi correctement monté.

Pour la surcharge requise voir les instructions du manuel.

b. Montage avec le couple approprié

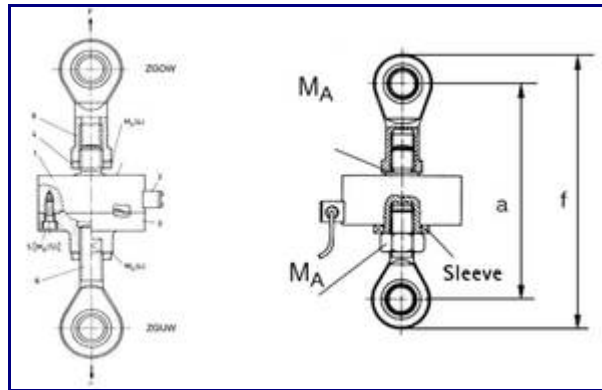
- Visser les éléments mécaniques
- Serrer les contre-écrous selon les couples spécifiques indiqués dans le manuel d'instructions

Noter que le couple exigé pour le montage ne doit jamais être appliqué à travers le capteur. Si c'est le cas, le capteur peut être détruit.

#### Pour des capteurs de force avec tige externe :

L'élément doit être fixé en place par un contre-écrou. Cette condition n'a pas lieu d'être pour des mesures purement statiques. Les couples sont spécifiés dans les manuels d'utilisation des capteurs de force.





*Le Z4A (à droite) est seulement bloquée dans sa partie taraudée. Le blocage avec un écrou est toujours exigé pour une tige filetée ex sur l'U2B (à gauche)*

HBM propose des anneaux à rotule pour presque tous les capteurs qui conviennent aux mesures de force en compression et traction. Si les capteurs de force sont montés en utilisant au moins une rotule, ils ne subissent pas de moments de torsion.

Si deux rotules sont employées, les moments de flexion et les forces ne doivent pas être appliqués sur le capteur de force avec un angle.



*Utilisation de deux rotules pour l'étalonnage d'un U10M de capacité maximale de 500 kN*

Les rotules ne sont pas normalement appropriées pour mesurer des forces dynamiques, en effet le jeu des roulements augmente avec le temps, ce qui peut mener à des erreurs de mesure. En outre, la gamme de fréquence dans laquelle les rotules peuvent être employées est limitée à environ 10 Hz.

Dans des conditions dynamiques, nous recommandons donc l'utilisation d'éléments flexibles pour appliquer les forces.