

# Mesure de force

## Capteur de force

Guide d'information,  
de préconisation de  
montage.



### **SCAIME SAS**

Technosite Altéa,

294, rue Georges Charpak

74100 Juvigny – France

Tel. (+33) 4 50 87 78 64

Fax. (+33) 4 50 87 78 46

[info@scaime.com](mailto:info@scaime.com)

[www.scaime.com](http://www.scaime.com)

## Sommaire

<b>1 – Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>2 – Principe des capteurs de force à jauges de contraintes .....</b>	<b>4</b>
2.1 – A propos des capteurs de force	
2.2 – Jauges de contraintes et capteurs	
2.3 – Circuit du pont de Wheatstone	
<b>3 – Le conditionnement des capteurs à jauges de contraintes .....</b>	<b>6</b>
<b>4 – Préconisations de montage .....</b>	<b>7</b>
4.1 - Capteur de force utilisé en compression	
4.2 - Capteur de force utilisé en traction	
4.3 - Capteur de force utilisé en traction et compression	
<b>5– Axe dynamométrique .....</b>	<b>10</b>
5.1 - Principe	
5.2 - Axe M16 et M15	
5.3 - Applications typiques	
5.4 - Mise en place de l'axe	
5.5 - Calcul de la force résultante	
5.6 - Préconisations de montage	
<b>6 – Test : Vérifier l'intégrité du pont de Wheatstone .....</b>	<b>12</b>
6.1 - Mesure de la résistance du capteur	
6.2 - Mesure du zéro du capteur	
<b>7 - Annexes .....</b>	<b>13</b>
A faire et ne pas faire pour les capteurs de force	
Indices de protection suivant la norme EN60529	

## 1 - Introduction

Le but de ce guide est de vous donner un aperçu des différents types de capteur de force disponibles chez Scaime et de vous aider à concevoir le système le plus efficace pour vos besoins spécifiques.

Afin de tirer le meilleur parti d'un capteur de force, l'utilisateur doit avoir une connaissance de sa technologie, de sa construction et de son fonctionnement.

Si, à tout moment au cours des étapes de la conception de votre système de mesure de force, vous avez des questions, n'hésitez pas à contacter SCAIME.

Bien penser à prendre en compte la charge maximale que le capteur devra supporter et si possible prendre une marge de sécurité car un incident est vite arrivé et cela peut engendrer des dommages irrémediables au capteur.

Pour convertir des kg en N, vous pouvez utiliser la formule :  $F = m \times g$  avec F en N, m en kg et g on peut prendre la valeur de 9.81, soit approximativement : 1 kg = 10N (ou 1daN), 1t = 10kN

### Symboles utilisés

les symboles suivants peuvent être utilisés pour attirer l'attention du lecteur



- Signale un danger pour le capteur ou l'utilisateur



- Indique une aide

## 2 – Principe des capteurs de force à jauges de contrainte

### 2.1 – A propos des capteurs de force

Les capteurs de force permettent de mesurer une force. Ils transforment un effort mécanique en un signal électrique proportionnel à cet effort.

- **Charge nominale (CN)** : la charge (ou force) nominale (ou maximale) du capteur (exprimé en N, daN ou kN)
- **Force de travail admissible** : force qui peut-être appliquée temporairement sans produire de dérives permanentes des caractéristiques de performance. Elle est exprimée en pourcentage de la charge nominale.
- **Force ultime avant destruction** : force maximale avant destruction (ou casse) du capteur. Elle est exprimée en pourcentage de la charge nominale.
- **Déflexion sous force nominale** : déplacement du point d'application de la charge du capteur (dans l'axe d'application de la force) soumis à sa charge nominale.
- **Signal de sortie**: Ce signal exprimé en mV/V (millivolt par volt d'alimentation) est la tension que délivre le capteur lorsqu'il est soumis à sa charge nominale.
- **Linéarité** : c'est l'écart maximal du signal de sortie du capteur par rapport à la droite idéale passant par zéro. Elle est exprimée en pourcentage du signal nominal (correspondant à la charge nominale).
- **Hystérésis** : Différence maximale du signal pour la même force appliquée. La première valeur du signal étant lu en augmentant la force depuis la charge minimum et l'autre en diminuant la force depuis la force nominale. Elle est exprimée en pourcentage du signal nominal.
- **Répétabilité** : Différence maximale du signal obtenue pour plusieurs applications et suppressions de force successive sans modification de sa position et de son environnement. Elle est exprimée en pourcentage du signal nominal.
- **Reproductibilité** : Différence maximale du signal pour une même force avec modification de sa position uniquement (rotation ou dépose et repose du capteur). Elle est exprimée en pourcentage du signal nominal.
- **Dérive thermique** : évolution du signal pour une même charge mais avec une variation de température (exprimé en %CN/°C) sur le zéro et sur la sensibilité.

### 2.2 – Jauges de contraintes et capteurs

Les capteurs de force sont des structures métalliques qui ont été usinés de manière à ce que des zones spécifiques soient mises sous contraintes lorsque la force est appliquée. Ces zones sont équipées de jauges de contrainte. Les matériaux utilisés peuvent être de l'aluminium, des aciers alliés, ou de l'acier inoxydable.

Les jauges de contrainte se composent d'une "feuille" souple, sur laquelle est gravé un composant résistif. Elles sont collées sur le corps du capteur. Elles sont conçues de sorte que même de très petits mouvements ou "étirement" de la matière apportent des changements de leur valeur ohmique.

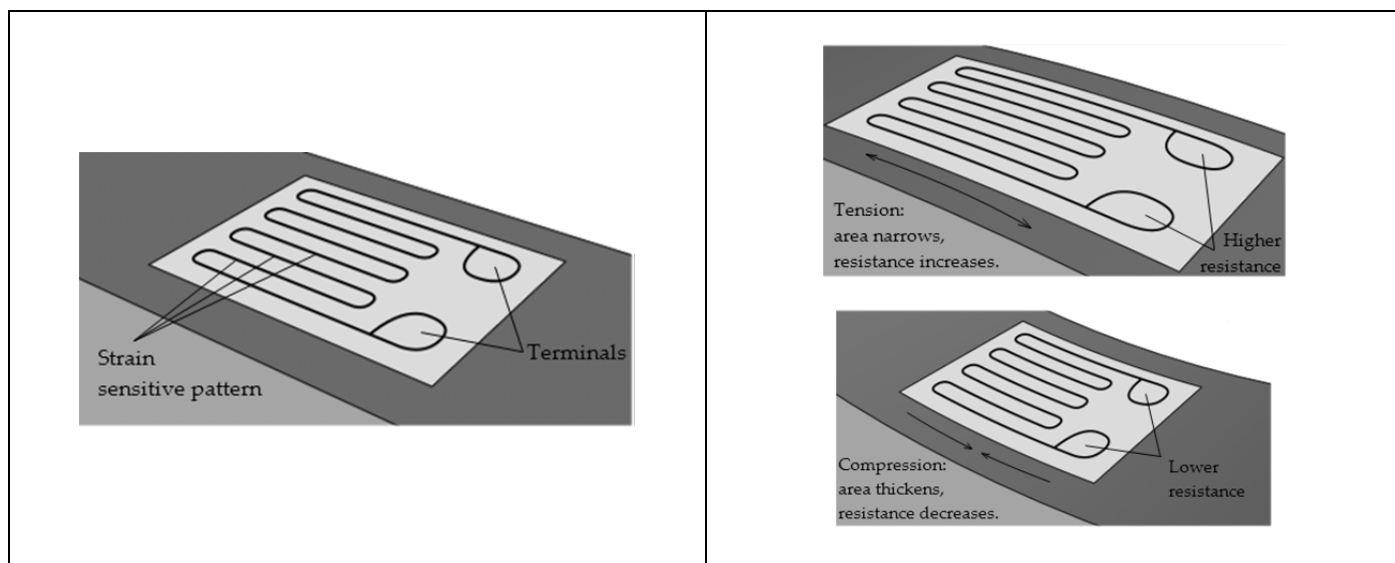
L'utilisation de jauges de contraintes pour le capteur de force leur permet de travailler en traction et compression, seule la liaison mécanique entre le capteur et l'application de la force peut ne pas permettre cette utilisation en traction **et** compression.

La relation entre le changement d'état de la matière et les changements de la résistance des jauges est presque parfaitement linéaire. Les précisions de  $\pm 0,1\%$  et de  $\pm 0,05\%$  ne sont pas rares pour un capteur de force.

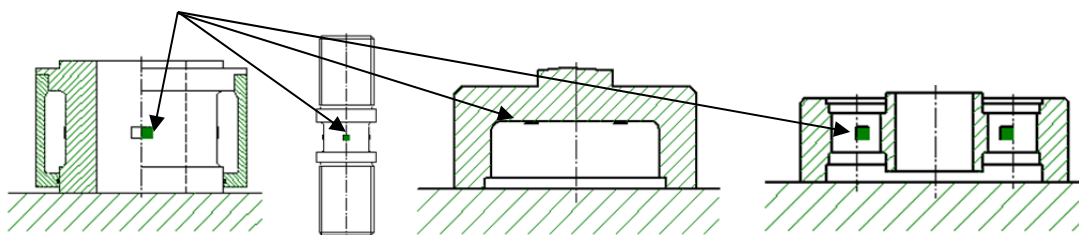
**Les capteurs de force peuvent mesurer des forces allant de quelques N à plusieurs MN (méga newtons)**

## 2.3 – Circuit du pont de wheatstone

Une jauge de contrainte est une résistance électrique dont la valeur résistive change si on l'étire (augmentation) ou si on la comprime (diminution). Les valeurs courantes sont 350; 700; 1000 Ohm.



Les jauges de contraintes sont collées sur le capteur.



Lorsque le capteur est soumis à une force, la matière va se déformer sous cet effort et la valeur résistive des jauges de contrainte va évoluer. Les jauges sont montées par 4 (ou multiple de 4) en pont de Wheatstone et la variation de leur résistance électrique va permettre de produire un signal de sortie proportionnel à l'effort exercé sur le capteur.

Si la force ne dépasse pas la force de travail admissible, le capteur va toujours travailler en déformation élastique, elle est réversible (il retourne à son état initial lorsque l'on supprime l'effort). Si l'on dépasse sa déformation élastique, le capteur passe en déformation plastique et elle devient **irréversible**. Ce qui signifie que le signal sans charge est décalé et que ce décalage peut évoluer même en utilisant ultérieurement le capteur avec des forces ne dépassant pas sa charge nominale.



Exemple : capteur de charge nominale 20N et un signal de sortie de 2mV/V

Alimentation du capteur en 5V donc signal à 20N égale à  $2\text{mV/V} \times 5\text{V} = 10\text{mV}$

### 3 - Le conditionnement des capteurs à jauges de contraintes

Compte tenu du principe utilisé, le signal de sortie des capteurs est une tension qui varie de quelques millivolts en fonction de la charge qui lui est appliquée.

Ce signal est aussi proportionnel à la tension d'alimentation du capteur.

Le signal de sortie (ou sa sensibilité) est exprimé en millivolt par volt d'alimentation (mV/V) correspondant à sa charge nominale. Ex : capteur de MS02-10kN, 2mV/V, cela signifie que le capteur délivrera un signal de 2mV/V pour une charge de 10kN soit 20mV si le capteur est alimenté par une tension de 10V.

Il est donc très important de raccorder le capteur à une électronique spécifique qui permet le conditionnement de ce type de capteur (alimentation du capteur très stable, bonne filtration du signal car amplification importante...).

Il faut utiliser un câble blindé afin de protéger le signal électrique des perturbations environnantes (parasites, ondes téléphoniques...). La tension provenant du capteur étant faible, des perturbations pourraient modifier, à travers le câble, le signal capteur et vous aurez en sortie de l'électronique une information peu fiable, instable.

Scaime propose différents types d'électronique permettant le conditionnement des capteurs de force.

- Transmetteur analogique, sortie 0/10V, 4/20mA (CPJ) ou numérique RS232, 485, CAN, Profibus (eNod).



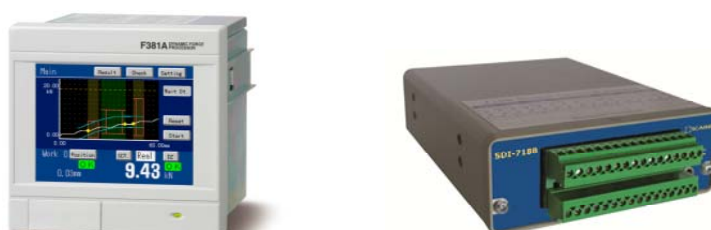
- Afficheur de tableau qui permet l'affichage de la valeur courante (ou valeur maximale) avec possibilité d'avoir une recopie analogique 0/10V, 4/20mA ou numérique RS232, 485, CAN, Profibus et des seuils permettant de faire une chaîne de contrôle autonome (PAX-S, IPE50, GM80PA ...)



- Conditionneur afficheur autonome portable permettant d'avoir une chaîne de mesure mobile pour le contrôle sur site (contrôle de force sur presse par exemple).



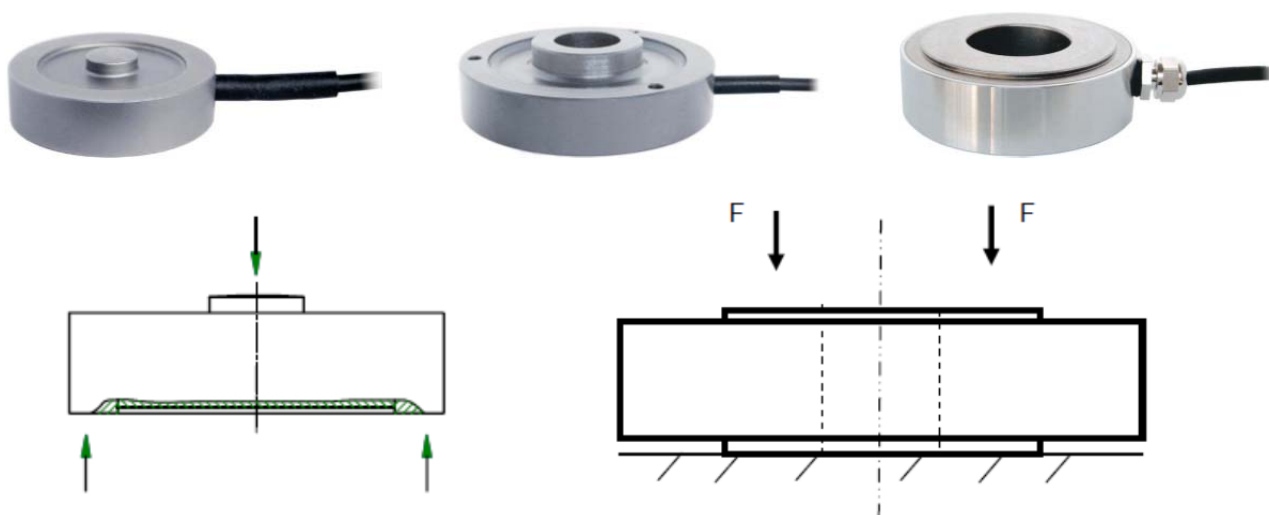
- Centrale d'acquisition multivoies permettant l'acquisition de différents type de signaux pour la mise au point de process, de machines ou de surveillance. Possibilité d'enregistrement des valeurs sur une carte SD en mode autonome. Contrôle de la force en fonction du temps ou du déplacement (emmanchement, sertissage...)



## 4 - Préconisations de montage

### 4.1 Capteur de force utilisé en compression

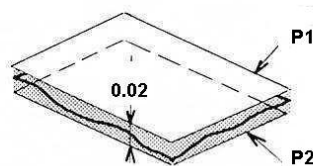
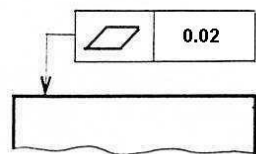
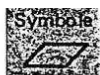
Exemple : K13, K22, K2528, K180 ...



Les surfaces d'appui doivent être suffisamment rigides pour ne pas se déformer sous la charge, être planes (rectifiées), d'une dureté > 43HRC, dégraissée et propre.

Les 2 surfaces d'appui au niveau du capteur doivent être parallèles (planéité 0.02).

PLANEITE  
d'une surface



La surface considérée doit être comprise entre les plans P1 et P2, parallèles et espacés de 0.02mm au maximum

Bien orienter l'application de la force dans l'axe du capteur. Toute force qui n'est pas appliquée suivant l'axe de mesure du capteur risque de l'endommager ou tout du moins de dégrader la qualité de sa mesure.

Ne pas appliquer de couple sur le capteur (même au montage), cela pourrait endommager le capteur.

Pour les filetages inox sur inox, utilisez de la graisse de bonne qualité (type Molykote) pour éviter tout grippage.

Le câble électrique doit être blindé et ne pas cheminer avec des câbles de puissance ou de commandes (moteurs, électrovannes...). Nous recommandons de mettre le câble dans un conduit métallique afin de le protéger mécaniquement et électriquement contre les parasites, perturbations électromagnétiques.



## 4.2 Capteur de force utilisé en traction

Exemple : K100, K12, K1107, M12 ...



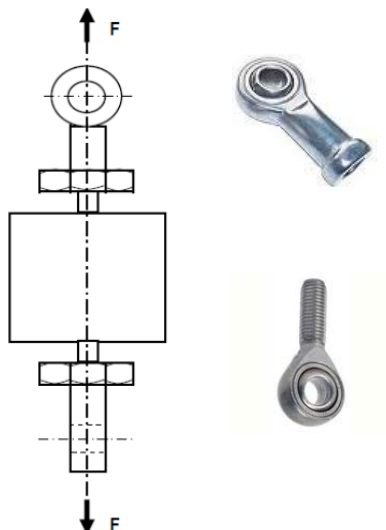
Utilisez 2 rotules décalées de 90° pour la liaison mécanique avec le montage en traction pour un meilleur alignement de la charge avec l'axe du capteur.

Ne pas appliquer de couple de serrage (même au montage) sur les parties de liaison, cela pourrait endommager le capteur, utiliser pour cela les plats sur l'axe du capteur si présents pour son immobilisation avec une clef plate lors du montage du côté où l'assemblage est effectué.

Pour les filetages inox sur inox, utilisez de la graisse de bonne qualité (type Molykote) pour éviter tout grippage.

Utilisez des écrous, si nécessaire, pour maintenir les liaisons mécaniques au capteur. Pour cela chargez le capteur en traction à 110% de la charge maximale utilisée et serrez modérément l'écrou, sur les pièces de liaison, les rotules, le capteur puis déchargez le capteur.

Bien orienter l'application de la force dans l'axe du capteur. Toute force qui n'est pas appliquée suivant l'axe de mesure du capteur risque de l'endommager ou tout du moins de dégrader la qualité de sa mesure.



Le câble électrique doit être blindé et ne pas cheminer avec des câbles de puissance ou de commandes (moteurs, électrovannes...). Nous recommandons de mettre le câble dans un conduit métallique afin de le protéger mécaniquement et électriquement contre les parasites, perturbations électromagnétiques.



### 4.3 Capteur de force utilisé en traction et compression

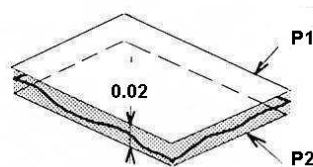
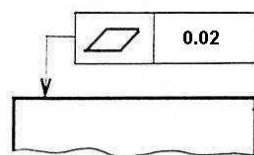
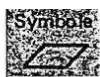
Exemple : K25, M12, MS02, K11 ...



Les surfaces d'appui doivent être suffisamment rigides pour ne pas se déformer sous la charge, être planes (rectifiées), d'une dureté > 43HRC, dégraissée et propre.

Les surfaces d'appui au niveau du capteur doivent être parallèles (planéité 0.02).

PLANEITE  
d'une surface



La surface considérée doit être comprise entre les plans P1 et P2, parallèles et espacés de 0.02mm au maximum

Bien orienter l'application de la force dans l'axe du capteur. Toute force qui n'est pas appliquée suivant l'axe de mesure du capteur risque de l'endommager ou tout du moins de dégrader la qualité de sa mesure.

Ne pas appliquer de couple de serrage (même au montage) sur les parties de liaison, cela pourrait endommager le capteur, utiliser pour cela les plats sur l'axe du capteur si présents pour son immobilisation avec une clef plate lors du montage du côté où l'assemblage est effectué.

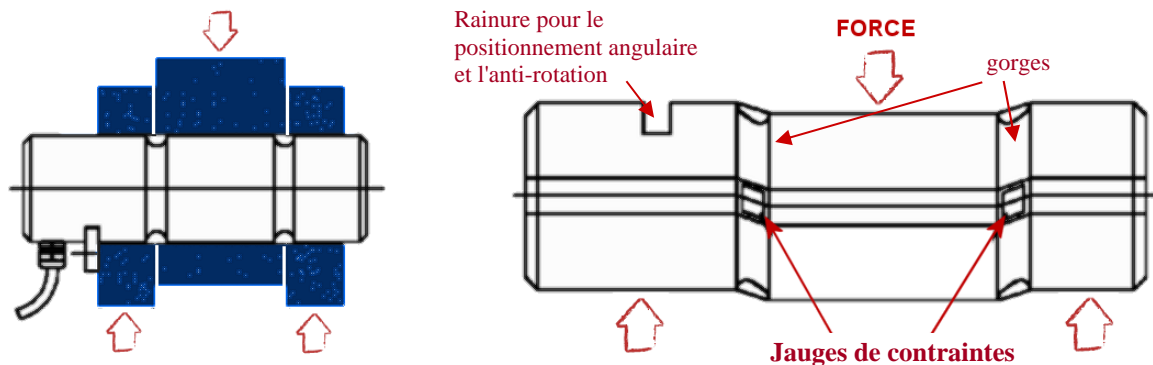
Pour les filetages inox sur inox, utilisez de la graisse de bonne qualité (type Molykote) pour éviter tout grippage. Utilisez des écrous, si nécessaire, pour maintenir les liaisons mécaniques au capteur, pour cela chargez le capteur en traction à 110% de la charge maximale utilisée et serrez l'écrou à la main, sur les pièces de liaison, le capteur puis déchargez le capteur.

Le câble électrique doit être blindé et ne pas cheminer avec des câbles de puissance ou de commandes (moteurs, électrovannes...). Nous recommandons de mettre le câble dans un conduit métallique afin de le protéger mécaniquement et électriquement contre les parasites, perturbations électromagnétiques.

## 5 – Axe dynamométrique

### 5.1 – Principe

La mesure de la force appliquée à travers l'axe, se fait par l'intermédiaire de jauges de contrainte (strain gages) installées dans le capteur. Deux gorges sont usinées dans le capteur pour définir les 2 plans de cisaillement, qui sont situés entre la force appliquée et les 2 supports d'axe.



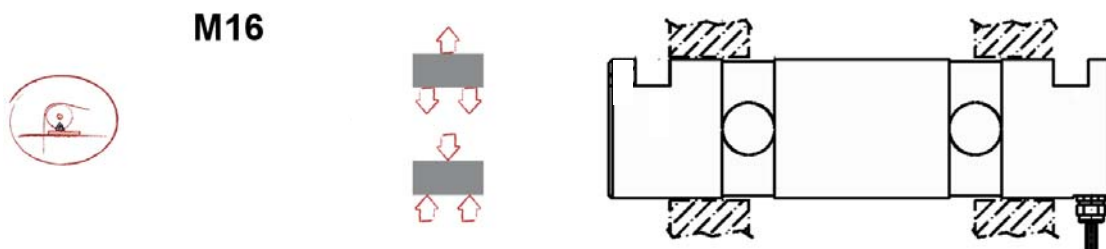
Les axes sont conçus pour de nombreuses applications aussi diverses que le remplacement direct d'axe existant déjà sur une installation. Ils présentent de nombreux avantages par rapport aux capteurs de force car ils peuvent se mettre facilement à la place d'axe sans modification de la structure mécanique existante.

Possibilité de faire des axes dynamométriques spécifiques avec des dimensions exactes aux axes existants et/ou des charges nominales adaptées à l'application.

**Etendues de mesure standard 200N à 1000kN.**

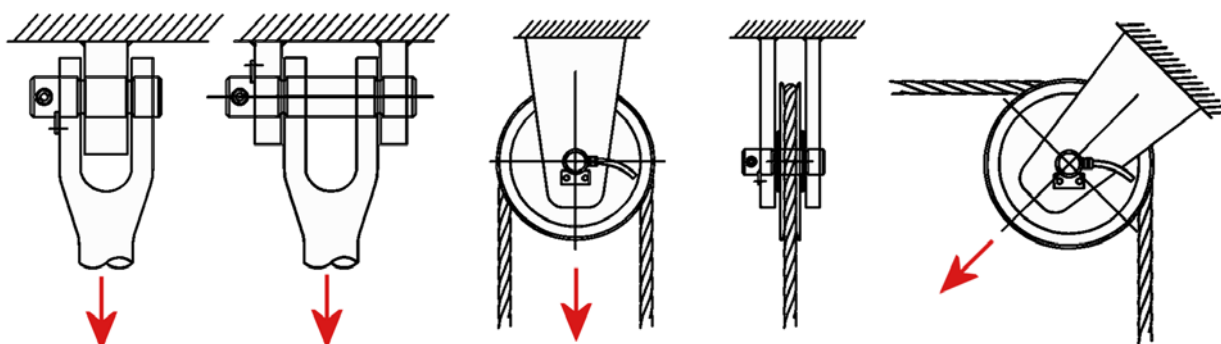
### 5.2 – Axe M16 et M15

Le type le plus couramment utilisé chez Scaime est le type M16 et M15, idéal pour mesurer la charge ou la protection de surcharge sur les grues, les chariots élévateurs et les treuils.



### 5.3 – Applications typiques

Mesure de la force pour système de sécurité de surcharge. Les croquis ci-dessous montrent des applications typiques pour l'utilisation d'axes dynamométriques.

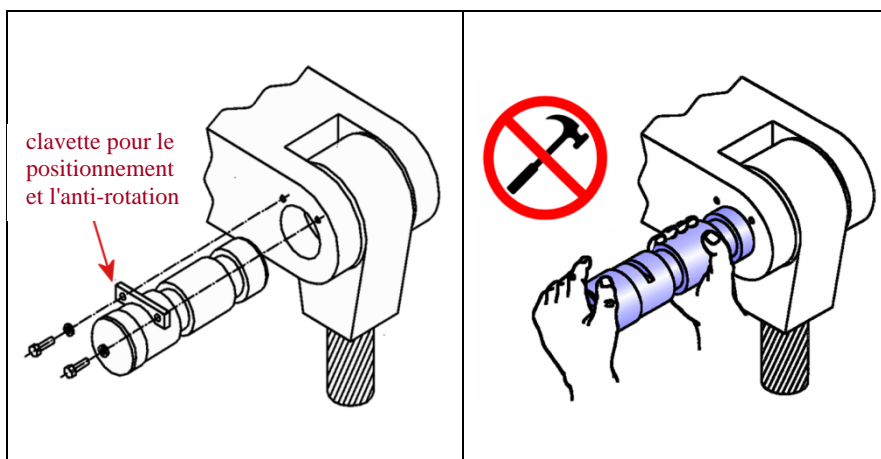


## 5.4 – Mise en place de l'axe

L'axe doit être bien positionné afin de fixer son orientation. Il doit être positionné axialement et en orientation angulaire dans son logement pour assurer de bonnes mesures. Il faut aussi le verrouiller dans cette position grâce à une clavette placée dans la rainure.

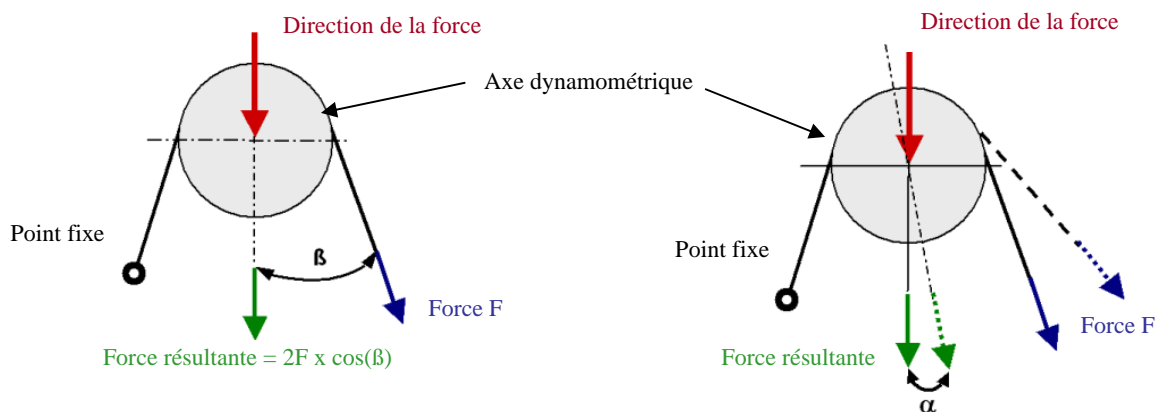


Faites glisser manuellement l'axe dans son emplacement. Ne jamais utiliser un marteau ou un autre outil pour l'insérer.



## 5.5 – Calcul de la force résultante

Un axe standard est conçu pour mesurer la force dans une seule direction. Soyez prudent avec le positionnement de l'axe afin d'éviter les erreurs de mesure.



### ► Résultante de la force mesurée par l'axe

Attention à la force résultante mesurée par l'axe, qui peut être différente de la charge appliquée sur le câble.

La force résultante peut être multipliée ou réduite en fonction du montage.

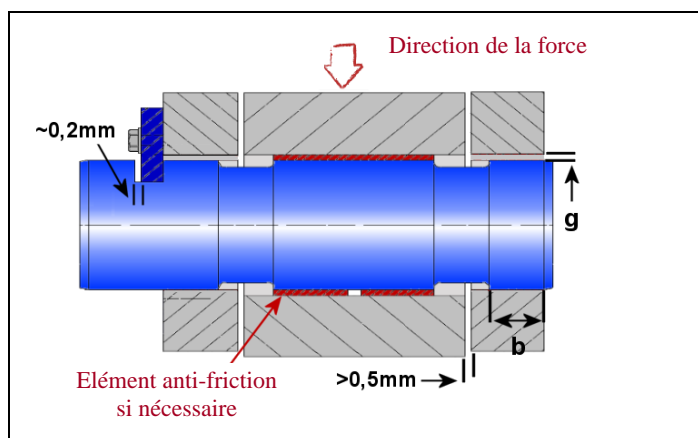
### ► Erreur due au mauvais alignement

La direction de mesure de l'axe doit être dans le même sens que la force résultante, sinon une erreur de mesure (% de la charge appliquée) peut être **estimée** par la formule:

$$\text{erreur estimée (\%)} = 100 (\cos \alpha - 1)$$

## 5.6 – Préconisations de montage

L'axe doit pouvoir fléchir librement dans son support. Pour cela vérifier que :

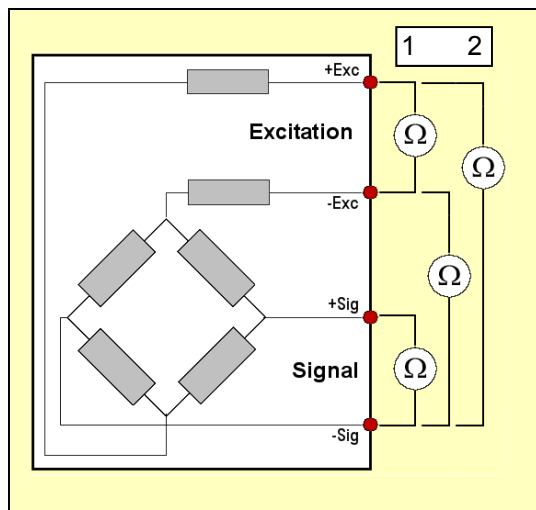


- $g \geq 0.01 \times b$  (habituellement:  $g \geq 0.2\text{mm}$ )
- Laisser un jeu ( $\sim 0,2\text{mm}$ ) entre le système de verrouillage et l'axe. Ainsi, l'axe pourra travailler sans contrainte parasite.
- Pour une meilleure précision, l'axe ne doit être soumis à aucun effort axial, radial ou de couple.
- Pour éviter tout effet de couple, le support de charge doit être libre de tourner autour de l'axe si nécessaire (utilisation d'éléments antifricition ou de roulements).

## 6 – Test : Vérifier l'intégrité du pont de Wheatstone

Cette vérification se fait par la mesure des résistances d'entrée, de sortie et du signal à zéro du capteur.

### 6.1 - Mesure de la résistance du capteur

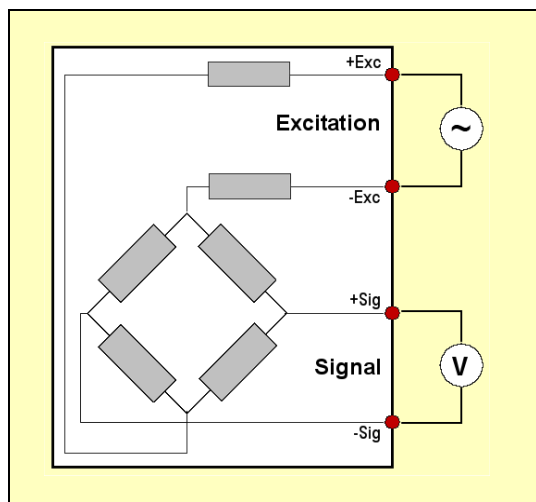


- Déconnectez le capteur de l'électronique
- 1) Mesurez la résistance d'entrée entre + et – alimentation (Exc) et de sortie entre + et – signal (Sig) avec un Ohm-mètre.  
-> Comparez les valeurs trouvées avec les valeurs indiquées sur la fiche technique du capteur.
- 2) Mesurez et comparez les résistances suivantes afin de vérifier l'équilibre du pont.  
  
Entre -signal / + alimentation, et entre + signal / + alimentation  
  
Entre - signal / - alimentation, et entre + signal / - alimentation  
  
->La différence entre ces valeurs devraient être  $\leq 0.1\%$

#### ► Analyse

Les changements de la résistance ou de l'équilibre du pont sont le plus souvent causés par une rupture de fils du câble, une défaillance d'un composant électrique, un court-circuit interne, une surcharge mécanique ou une surtension.

### 6.2 - Mesure du zéro du capteur



- Le capteur n'étant soumis à aucune force
- Raccordez les 2 fils d'alimentation du capteur à une alimentation continue stable d'une valeur inférieure ou égale à la tension maximale du capteur ou laissez les 2 fils alimentant le capteur connectés à son électronique.
- Connectez un millivoltmètre entre les 2 fils + et – signal.
- Mesurez le signal de sortie, cette valeur ne devrait pas excéder  $\pm 0.05\text{mV}$  par volt d'alimentation soit  $\pm 0.5\text{mV}$  pour une alimentation de 10V par exemple.

#### ► Analyse

Si ce signal est supérieur à  $0.05\text{mV/V}$ , la matière constituant le capteur a certainement subi une modification car il a travaillé au-delà de sa zone élastique. Si cette valeur n'excède pas  $0.1\text{ mV/V}$ , il peut être encore possible d'utiliser le capteur mais il faudra vérifier l'évolution du zéro du capteur.

## A faire et ne pas faire pour les capteurs de force

### ► A faire



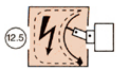







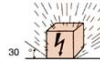



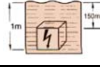

**Rappel**, bien que les capteurs puissent apparaître comme être extrêmement robuste, certains d'entre eux sont conçus pour mesurer de faibles forces et sont par conséquent fragiles. Ils peuvent être endommagés lors de leur installation ou de leur utilisation.

1. **Choisissez** le bon capteur pour votre application en tenant compte de tous les paramètres (chocs, ambiance autour du capteur, nombre de cycle total...).
2. **Sélectionnez** la bonne étendue de mesure (ou charge nominale), n'hésitez pas si cela est possible de prendre une étendue de mesure supérieure à votre besoin, cela pourra éviter des problèmes en cas de surcharge.
3. **Répertoriez** pour les éliminer ou les minimiser tous les paramètres qui pourraient venir affecter la mesure (vibrations, température, humidité, surcharge ....)
4. **Attention** aux chocs ou aux variations de charge très rapide ( $< 10\text{ms}$ )
5. **Stockez et manipulez** le capteur avec précaution lors de son installation.
6. **Utilisez** des vis de bonne qualité.
7. **Vérifiez** les surfaces qui seront en contact avec le capteur (rigidité, planéité, dureté, parallélisme).
8. **Respectez** le code couleur des fils pour faire le raccordement à l'électronique.
9. **Inspectez** régulièrement la fixation du capteur, la tenue des fils au niveau des connecteurs (côté capteur et électronique).

### ► A ne pas faire

1. **Ne pas utiliser** le capteur au-delà de son étendue de mesure.
2. **Ne pas faire tomber** le capteur.
3. **Ne pas donner** de coup sur le capteur en cours de fonctionnement ou pour son installation, ce qui pourrait l'endommager.
4. **Ne pas oublier** de protéger mécaniquement le câble s'il y a un risque.
5. **Ne pas faire de soudure électrique** à proximité du capteur (risque de destruction électrique du capteur par surtension).
6. **Ne pas prendre** le capteur par son câble.
7. **Ne pas utiliser** le capteur pour faire la liaison électrique entre différentes pièces métalliques qui pourrait avoir des tensions différentes (risque de destruction du capteur par surtension).
8. **Ne pas alimenter** le capteur au-delà de sa tension d'alimentation maximale.
9. **Ne pas dépasser** sa température d'utilisation maximale.
10. **Ne pas permettre** l'accumulation d'eau et de débris autour, sur le capteur.

## A2 – Indice de protection suivant la norme EN60529

<b>IP 1° chiffre</b> <b>Protection</b> <b>contre les</b> <b>corps solides</b>	<b>0</b>		Aucune protection
	<b>1</b>		Protégé contre les corps solides supérieurs avec d> 50mm (ex: contact involontaire avec la main)
	<b>2</b>		Protégé contre les corps solides supérieurs avec d> 12mm (ex: contact involontaire avec un doigt)
	<b>3</b>		Protégé contre les corps solides supérieurs avec d> 2.5mm (ex: contact avec des outils)
	<b>4</b>		Protégé contre les corps solides avec d> 1mm (ex: contact avec outils fins, petits fils..)
	<b>5</b>		Protégé contre les poussières risquant d'endommager l'équipement
	<b>6</b>		Protégé totalement contre les poussières
<b>IP 2° chiffre</b> <b>Protection</b> <b>contre les</b> <b>liquides</b>	<b>0</b>		Aucune protection
	<b>1</b>		Protégé contre les gouttes d'eau tombant à la verticale
	<b>2</b>		Protégé contre les gouttes d'eau tombant avec un angle < 15° par rapport à la verticale
	<b>3</b>		Protégé contre les gouttes d'eau tombant avec un angle < 60° par rapport à la verticale
	<b>4</b>		Protégé contre les projections d'eau dans toutes les directions
	<b>5</b>		Protégé contre les jets d'eau dans toutes les directions
	<b>6</b>		Protégé contre un jet d'eau intense dans toutes les directions
	<b>7</b>		Protégé contre les effets d'immersion temporaire sous moins de 1m d'eau
	<b>8</b>		Protégé contre les effets d'immersion dans des conditions spécifiées

Exemple: IP60

Cela signifie que le capteur est protégé contre les poussières mais sans protection contre l'eau.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.



## Capteur de force

Vous pouvez télécharger ce document  
à l'adresse :

[WWW.SCAIME.COM](http://WWW.SCAIME.COM)



Technosite Altéa,

294, rue Georges Charpak

74100 Juvigny – France

Tel. (+33) 4 50 87 78 64

Fax. (+33) 4 50 87 78 46

[info@scaime.com](mailto:info@scaime.com)

[www.scaime.com](http://www.scaime.com)

