

CAPTEURS DE PESAGE

Jauges de contrainte ou capteurs à compensation électromagnétique ?



C'est une question de précision et de prix. La jauge de contrainte, largement répandue dans l'industrie a prouvé sa robustesse et sa fiabilité pour toutes les applications de pesage industriel. Ses coûts de fabrication sont imbattables. Les capteurs à compensation électromagnétique de force coûtent beaucoup plus cher mais ils apportent des qualités métrologiques supérieures. Longtemps restée dans les laboratoires, cette technologie pénètre aussi le monde de l'industrie grâce au développement de cellule monobloc.



La célèbre jauge de contrainte.

L'industriel, ne se pose pas toujours la question du principe de mesure. Lui, ce qui l'intéresse c'est avant tout une plage de mesure, un niveau d'incertitude, une solution technique qui réponde et s'adapte à son application. Ainsi, il ne sait pas forcément quel élément sensible ou quel capteur se cache sous sa balance.

pesage) est largement éprouvée depuis de nombreuses années et pas uniquement dans le domaine du pesage industriel. Elle peut être utilisée pour des pesées du gramme jusqu'à plusieurs tonnes. Soit une étendue de

mesure de plus de 10^6 ! Rares sont les principes, dans le domaine de la mesure, qui savent faire un tel grand écart. La robustesse, la fiabilité, les performances métrologiques rendent les jauges de contraintes tout à fait

L'essentiel

- ▶ Dans le domaine du pesage industriel, il existe principalement deux types de capteurs : la jauge de contrainte et la cellule par compensation électromagnétique de charge
- ▶ La première, la plus répandue, offre un capteur robuste et fiable
- ▶ La seconde, développée initialement pour du pesage de précision en laboratoire, apporte de plus grandes qualités métrologiques
- ▶ De conception plus sophistiquée, elle est également plus chère

De toute façon, dans le domaine du pesage, il n'y a pas pléthore de principes de mesure. On peut dire qu'il y en a essentiellement deux : la jauge de contrainte et la cellule par compensation électromagnétique de force. Tout le monde connaît la première. Les qualités des jauges de contraintes ne sont plus à démontrer. Cette technologie simple, qui s'appuie sur la modification de la résistance électrique d'un matériau qui se déforme (sous l'effet d'une charge dans le cas du

Quel principe choisir ?

Critères	Balance à jauge de contrainte	Balance à compensation électromagnétique des forces
Linéarité (g)	± 0,5	± 0,05
Charge d'encoignure	+	+++
Répétabilité (g)	0,5	0,03
Stabilité de température	++	+++
Temps de stabilisation (s)	Environ 1	Environ 1
Résolution	0,5	0,01
Hystérésis	+	++++
Précision (g)	5	0,1
Prix *	600 à 1 000 euros	1 500 à 3 000 euros

Exemple pour une balance de capacité 35 kg (valeur moyenne). Les caractéristiques métrologiques d'un capteur à compensation électromagnétique sont toujours supérieures ou égales à celles d'un capteur à jauge de contrainte. Après c'est une question de prix...
* Prix HT sur la base d'une balance complète mono capteur 35 kg.

Pas un objet, pas un produit
ne sort d'une usine
sans échapper au pesage.

aptes pour une grande majorité des applications industrielles. Elle se prête aux conditions difficiles, elle est facile à installer. Trois pesons sous une cuve, c'est tout ! Autre avantage de taille, leurs prix dus à des coûts de production faibles.

Une question de précision

Moins connue dans l'industrie, la compensation électromagnétique à effet de charge n'est pourtant pas toute nouvelle. Les premiers capteurs ont une bonne trentaine d'années, et en raison de leur grande qualité métrologique, ils étaient réservés aux balances de précision exclusivement pour les laboratoires.

Le principe en lui-même est "relativement" simple. Il utilise le fait qu'une charge exercée sur le noyau d'une bobine nécessite une augmentation du courant de la bobine pour remettre le noyau à sa position initiale. Cette variation, permettant cette compensation, est alors proportionnelle à la force (et donc aux poids). Les qualités métrologiques de ce capteur sont indéniablement supérieures à la jauge de contrainte : dix fois mieux en répétabilité, dix fois mieux en linéarité...

Au final, ces caractéristiques permettent de réduire l'incertitude globale de mesure d'un facteur dix. Dans le domaine du pesage, on parle plus volontiers de résolution (charge maximale de la balance divisée par la précision d'affichage, i.e. la différence entre deux pas d'affichage. Une balance de précision présente une résolution aussi élevée que possible). A titre indicatif, une balance d'une charge maximale de 30 kg présentera une résolution de 6 000 points avec jauge de contrainte (5 g) et de 300 000 points (0,1 g) avec une cellule à compensation électro- →





La cellule à compensation électromagnétique, précise et robuste.

→ magnétique. Ces qualités métrologiques se révèlent d'autant plus importantes au niveau de la partie basse de la plage de mesure. En effet, l'incertitude relative augmente au fur et à mesure que la valeur du poids diminue. Dans bon nombre de domaines, les systèmes d'assurance qualité ou les guides de bonnes pratiques de fabrication imposent de définir une valeur limite, c'est-à-dire un poids minimal au-dessous duquel l'incertitude de mesure est plus élevée que les critères d'acceptation. On donne généralement un poids minimal type pour une tolérance de 1 %. Mais cela ne suffit pas. Il est toujours nécessaire d'effectuer des mesures sur site

Les critères qui font la différence

Linéarité

La linéarité d'une balance caractérise son aptitude à suivre le rapport linéaire entre le poids effectif et la valeur de mesure affichée. La qualité d'une balance est caractérisée par une ligne droite entre le zéro et le maximum de la portée.

Charge d'encoignure

Une balance de qualité indique le même poids sur toute la plate-forme quelle que soit l'excentration de la charge.

Stabilité de température

Une série de pesées du même poids donne toujours le même résultat même à différentes températures.

Temps de stabilisation

Temps entre le moment où le poids est posé et la stabilisation de l'indicateur. Il doit être le plus court possible.

Résolution

Si l'on divise la plage de mesure (la charge maximale) d'une balance par la précision d'affichage, on obtient la résolution de la balance. Une balance de qualité présente une résolution aussi élevée que possible.

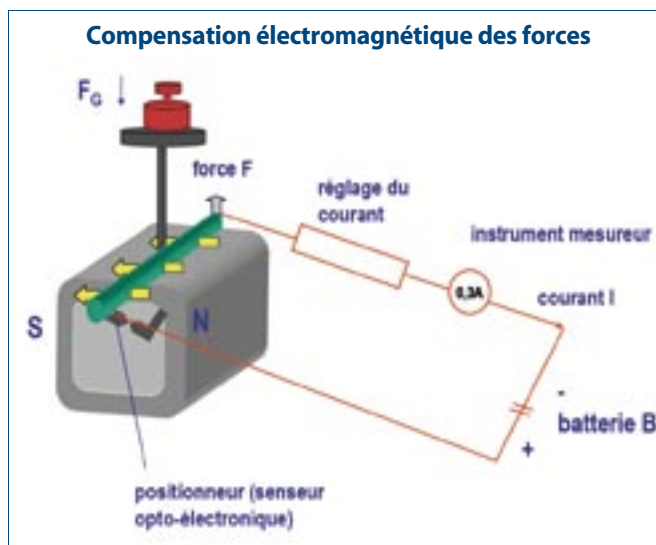
Exemple d'une balance de 32 kg de charge maximale avec une précision d'affichage de 0,1 g : ceci équivaut à une résolution de 320 000 points.

pour déterminer précisément la pesée minimale nette. Pour une balance par ailleurs équivalente, cette valeur de pesée minimale sera toujours plus basse dans le cas d'une cellule à compensation électromagnétique. Si avec une balance à jauge de contrainte, il paraît difficile d'aller en deçà du gramme, une balance avec cellule à compensation électromagnétique permet d'atteindre le dixième de microgramme (10^{-7} g).

Répétabilité, linéarisation, résolution, erreur liée à l'excentration de charge, la cellule par compensation électromagnétique offre en tout point de meilleurs résultats que la jauge de contrainte.

La jauge de contrainte garde cependant un atout pour elle : sa minceur. La structure "en deux dimensions" de la cellule à compensation électromagnétique est relativement épaisse. Il faut compter au minimum une

Les deux principes de pesage



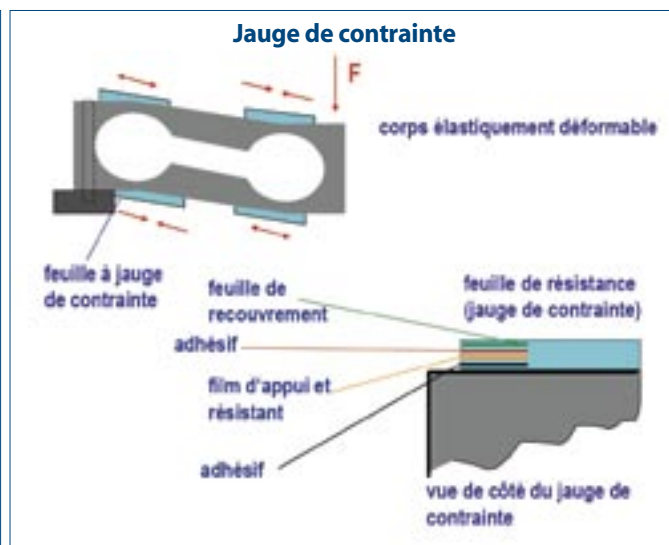
Principe :

Le principe est basé sur la transformation électrodynamique. Le courant est conduit par une bobine placée entre les deux pôles d'un aimant permanent. Au repos, le système est équilibré.

Si le système est déséquilibré par une force externe, il est remis à l'équilibre par une régulation du courant de la bobine. La construction en deux dimensions assure une résistance contre les coups et les torsions. La résistance mécanique du capteur est augmentée en utilisant des leviers et une protection intégrée.

Caractéristiques principales :

- Haute résolution,
- Bonnes performances métrologiques,
- Réduction de force par leviers,
- Sophistiquée mais relativement chère.



Principe :

Les capteurs à jauge de contrainte sont constitués d'un corps élastique sur lesquels des résistances électriques (ou jauge de contrainte) sont installées et dont la résistance se modifie sous la déformation. La mesure utilise un pont de Wheatstones pour déterminer le changement relatif de la résistance. Ce changement est proportionnel à la force. Cette technologie peut être utilisée pour mesurer des charges jusqu'à plusieurs tonnes. Elle est robuste et adaptée aux plates-formes de faible hauteur (idéale sous les silos ou les cuves).

Caractéristiques principales :

- Technologie simple, largement éprouvée,
- Faible coût de fabrication, basse consommation de courant,
- Apte pour les balances extra-plates,
- Existe en multiples versions : capteurs de flexion, capteurs annulaires de charges...

Étalonnage : de 1 milligramme à 5 tonnes

A Béthune, site historique de *Testut*, rachetée par *Mettler Toledo* en 1999, le fabricant réalise 20 000 étalonnages environ par an dans le domaine des masses. Il a investi 700 000 euros récemment pour étendre ses prestations. La dernière accréditation obtenue en décembre dernier porte sur la gamme de 1 mg à 1 kg dans la classe E2. Le laboratoire est donc accrédité par le *Cofrac* pour l'étalonnage de poids et masses de 1 mg à 5 t de classe M1, 1 mg à 20 kg de classe F1 et 1 mg à 1 kg de classe E2. La classe de précision E2 impose quelques précautions : pour atténuer les vibrations, le sol a été isolé du reste du bâtiment et les comparateurs sont installés sur des marbres de près d'une tonne. Une installation de conditionnement d'air permet de réguler les salles d'étalonnage et maintenir une vitesse de circulation d'air inférieure à 0,2 m/s (principalement grâce à des microperforations du plafond). Pour éviter l'échauffement de l'air (lié entre autres à la présence des opérateurs), l'air est renouvelé 30 fois par heure avec,

au final, une température régulée à $\pm 0,4$ °C et ± 5 % d'humidité relative. Ici, seul des comparateurs équipés de cellules à compensation électromagnétique peuvent garantir un niveau de précision suffisant pour ce type d'activité.



hauteur de 180 mm. Cet inconvénient peut être rédhibitoire notamment pour des balances ultraplates ou lorsqu'il s'agit de "glisser" des capteurs sous des silos ou des cuves posées sur le sol.

Une question de prix

Mais on l'aura déjà compris, la contrepartie la plus importante de la qualité des cellules à compensation électromagnétique est le prix. Leur fabrication relève de la mécanique horlogère de haute précision. Au sein de *Mettler Toledo*, elles sont d'ailleurs fabriquées exclusivement en Suisse.

En réalité, l'élément sensible est associé à une architecture mécanique qui par un jeu de leviers et d'axes permet de "concentrer" la force sur la cellule. On parle ainsi parfois de balance hybride. Il y a 20 ans, pour fabriquer un capteur de ce type, il ne fallait pas moins de 350 pièces, toutes assemblées les unes après les autres, manuellement.

Les constructeurs ont, ces dernières années, réussi à réduire le nombre de pièces à une centaine de pièces et à construire une cellule en un seul bloc. Ce monobloc est réalisé, chez *Mettler Toledo*, dans un alliage d'aluminium résistant, utilisé dans l'aéronautique. Une découpe spécifique est réalisée dans ce

bloc compact par une machine à électroérosion. Ces découpes à l'intérieur même du bloc créent des parties plus ou moins mobiles. L'agencement "très calculé" de ces parties mobiles induit une démultiplication des phénomènes remplaçant ainsi les axes et les leviers d'une structure mécanique classique. Cette cellule compacte développée initialement pour du pesage de précision en laboratoire est de plus en plus utilisée pour des applications industrielles. Sur le marché des balances industrielles, *Mettler Toledo* réalise aujourd'hui près d'un quart de ses ventes (en valeur) avec des capteurs à compensation électromagnétique.

Là où il y a des matières premières de valeur qui doivent être ajoutées avec parcimonie pour produire le bon mélange : en pharmacie, en cosmétique, en agro-alimentaire. Pour toutes ces fabrications qui nécessitent des formulations ou des recettes, avec parfois des écarts très grands. Dans le domaine de la mécanique aussi, pour le comptage par exemple de petites pièces. Pour toutes ces applications, la cellule à compensation électromagnétique prend l'avantage.

Marie-Pierre Vivarat-Perrin

Article rédigé à partir d'éléments techniques fournis par la société *Mettler - Toledo*