

Modules de pesage



Applications
Conceptions
Calculs
Installations
Service

Modules de pesage
Cellules de pesée

Manuel sur les systèmes de modules de pesage Directives d'ingénierie pour balances personnalisées

METTLER TOLEDO

Introduction

Le présent manuel est un guide de référence permettant de sélectionner et d'appliquer les modules de pesage METTLER TOLEDO les plus adaptés aux diverses applications de pesage industrielles. Il fournit les données scientifiques et les directives reconnues pour vous aider à concevoir un système de pesage précis et fiable.

Avertissement

Cette documentation est réservée aux personnes ayant suivi une formation technique adéquate et connaissant les manuels techniques des produits METTLER TOLEDO.

Ce manuel ne remplace en aucun cas le manuel technique des divers produits.

Veillez vous reporter aux manuels techniques spécifiques pour obtenir des instructions détaillées et connaître les mises en garde de sécurité avant d'utiliser ou de réaliser la maintenance des produits METTLER TOLEDO.

METTLER TOLEDO se réserve le droit d'apporter des améliorations ou des modifications dans préavis.

Ce manuel ne peut être reproduit ou transmis, même partiellement, quel que soit sa forme, par quelque moyen que ce soit, par voie électronique ou mécanique, y compris la photocopie et l'enregistrement, quel qu'en soit l'objectif, sans le consentement écrit explicite de Mettler-Toledo, Inc.

Droits limités du gouvernement américain : Cette documentation s'accompagne de droits limités.

Précautions

Conservez le présent manuel pour vous y référer ultérieurement.

Empêchez le personnel non-autorisé d'utiliser, de nettoyer, d'inspecter, d'entretenir ou d'altérer le matériel.

Débranchez toujours cet appareil de sa source d'alimentation avant de le nettoyer ou de l'entretenir.

Contactez METTLER TOLEDO pour en savoir plus sur les pièces de rechange, obtenir des informations et effectuer l'entretien.



AVERTISSEMENT

AUTORISER UNIQUEMENT LE PERSONNEL QUALIFIÉ À ENTREtenir CET APPAREIL. FAIRE PREUVE DE PRUDENCE PENDANT LES CONTRÔLES, TESTS ET RÉGLAGES QUI SONT EFFECTUÉS SOUS TENSION. LE NON-RESPECT DE CES PRÉCAUTIONS PEUT ENTRAÎNER DES BLESSURES.



ATTENTION

LORS DE LA SOUDURE SUR UNE BALANCE, PLACER LA PRISE DE MASSE AFIN DE NE PAS PASSER LE COURANT DE SOUDAGE PAR LES CAPTEURS DE PESAGE ! METTRE TOUJOURS LE POSTE DE SOUDAGE A LA TERRE LE PLUS PRÈS POSSIBLE DU LIEU DE TRAVAIL. NE JAMAIS SOUDER A PLUS DE 1,2 MÈTRE SUR TOUT CAPTEUR DE PESAGE SANS RETIRER CE DERNIER AU PRÉALABLE.



AVERTISSEMENT

LES MODULES DE PESAGE CENTERLIGN N'INTÈGRENT PAS DE PROTECTION CONTRE LE SOULÈVEMENT. SI DES FORCES DE SOULÈVEMENT SONT EXERCÉES, IL CONVIENT D'AJOUTER SÉPARÉMENT UNE PROTECTION CONTRE LE SOULÈVEMENT/LE RETOURNEMENT.



AVERTISSEMENT

LES STRUCTURES TELLES QUE LES CUVES ET LES CONVOYEURS DOIVENT ÊTRE CONÇUES DE TELLE SORTE QU'ELLES MAINTIENNENT LES LIENS ENTRE LES POINTS DE SUPPORT DE CHARGE DANS TOUTE L'ÉTENDUE DE PESAGE.



AVERTISSEMENT

VEILLEZ À BLOQUER LA BALANCE EN POSITION DE LEVAGE. OBSERVER TOUTES LES PROCÉDURES DE SÉCURITÉ ADÉQUATES LORS DE L'INSTALLATION ET DE L'ENTRETIEN DES MODULES DE PESAGE.



AVERTISSEMENT

POUR LES APPLICATIONS PAR TRACTION, UTILISER TOUJOURS DES CHÂÎNES DE SÉCURITÉ, DES BARRES OU D'AUTRES MOYENS SIMILAIRES POUR EMPÊCHER LA CHUTE DE LA CUVE EN CAS DE PANNE.

Contenu

1	Présentation des modules de pesage	1-1
	Modules de pesage par compression	1-1
	Modules de pesage par traction	1-2
2	Applications du module de pesage	2-1
	Cuves, trémies, silos et réservoirs	2-1
	Convoyeurs	2-2
	Bascules	2-3
	Transformations des bascules mécaniques	2-3
	Transformation du levier	2-3
	Remplacement du levier	2-5
3	Généralités concernant le module de pesage	3-1
	Modules de pesage par compression ou par traction	3-1
	Charge statique ou dynamique	3-1
	Combien de modules de pesage utiliser ?	3-2
	Étalonnage sur site	3-2
	Performances du système de pesage	3-2
	Détermination de l'exactitude et de la reproductibilité du système	3-3
	Quel niveau d'exactitude attendre sur le terrain ?	3-7
	Détermination de la résolution du système	3-10
	Normes sectorielles (applications agréées pour un usage commercial)	3-11
	Normes des États-Unis	3-11
	Normes internationales	3-13
4	Module de pesage	
	Généralités environnementales	4-1
	Résistance aux vents	4-1
	Résistance sismique	4-3
	Charge dynamique	4-4
	Vibrations	4-7
	Effets thermiques	4-7
	Humidité et corrosion	4-12
	Protection contre les surtensions et la foudre	4-12
5	Module de pesage	
	Directives générales concernant l'installation	5-1
	Application de force aux capteurs de pesage	5-1
	Chargement angulaire	5-2
	Charge excentrée	5-2
	Chargement latéral et en bout	5-3
	Effort de torsion	5-3

	Conception de la cuve et du réservoir	5-4
	Stabilité des balances par compression	5-4
	Intégrité structurelle	5-5
	Conditions des poids test	5-6
	Exigences du support structurel	5-7
	Montage du support du plateau	5-7
	Déformation du support	5-7
	Alignement du support de poutrage et du module de pesage	5-9
	Renforcement des structures	5-10
	Support structurel	5-11
	Interaction avec la cuve	5-12
	Autres méthodes de retenue du réservoir	5-13
	Tiges réglables	5-13
	Barres de sécurité	5-14
	Conception des tuyaux	5-14
	Calculs d'échantillon	5-18
	Pose des tuyaux	5-19
	Câblage électrique	5-24
	Câbles de capteur de pesage	5-24
	Câbles de colonne domotique	5-25
6	Modules de pesage par compression	6-1
	Introduction	6-1
	Charge statique ou charge dynamique	6-2
	Exemples d'applications pour les modules de pesage autocentres	6-4
	Calibrage des modules de pesage, distribution uniforme de la charge	6-9
	Calibrage des modules de pesage, répartition irrégulière de la charge	6-10
	Lutte contre le soulèvement	6-11
	Sélection du matériau	6-11
	Orientation du module de pesage	6-11
	Systèmes de détection du niveau	6-12
	Installation	6-14
7	Modules de pesage par traction	7-1
	Introduction	7-1
	Calibrage des modules de pesage	7-2
	Installation	7-3
8	Étalonnage du module de pesage	8-1
	Calibrage avec des poids test	8-1
	Étalonnage avec des poids test et substitution entre matières	8-2
	Étalonnage avec transfert de matières	8-2
	Étalonnage électronique	8-2

9	Indicateurs et applications	9-1
	Indicateurs	9-1
	Communications	9-1
	Exactitude de pesage	9-2
	Applications	9-3
10	Annexes	10-1
	Annexe 1 : Formulaire de revue de conception	10-1
	Annexe 2 : Calcul des forces de réaction	10-2
	Cuve circulaire avec quatre modules de pesage	10-3
	Cuve circulaire avec trois modules de pesage	10-5
	Annexe 3 : Tailles des filetages	10-7
	Dimensions du NPT	10-7
	Tailles de boulons	10-8
	Annexe 4 : Types de boîtier NEMA/IP	10-9
	Annexe 5 : Classification des zones dangereuses	10-13
	Annexe 6 : Tableau des résistances chimiques	10-15
	Annexe 7 : Tableau comparatif de l'acier inoxydable	10-25
11	Glossaire	11-1
12	Index	12-1

Présentation des modules de pesage

Un module de pesage est un appareil de pesage comprenant un capteur de pesage et le matériel de montage nécessaire pour fixer le capteur à une plate-forme, un convoyeur, une cuve, une trémie, un réservoir ou tout autre objet destiné à être une balance. Généralement, ce sont trois ou quatre modules de pesage qui sont utilisés pour bien soutenir le poids total de l'objet. L'objet se transforme ainsi en balance. Un module de pesage doit être en mesure de (1) fournir des données de pesée précises et (2) soutenir l'objet en toute sécurité.

Il existe deux types de modules de pesage de base : par compression et par traction.

Modules de pesage par compression

Les modules de pesage par compression conviennent à la plupart des applications de pesée. Ils se connectent directement au plancher, aux socles ou aux poutres structurelles. La cuve ou tout autre objet est monté sur le dessus des modules de pesage.

Un module classique de pesage par compression est illustré dans la Figure 1-1. Il se compose d'un capteur de pesage, d'un plateau (qui accueille la charge), d'un axe dynamométrique (qui transfère la charge du plateau vers le capteur) et d'un socle (boulonné au plancher ou à une autre surface de soutien). Un boulon de blocage peut servir à éviter le basculement du réservoir. Au moins trois modules de pesage disposés en triangle doivent être utilisés pour bien soutenir la balance ; Un carré ou rectangle de 4 modules de pesage est aussi couramment utilisé.

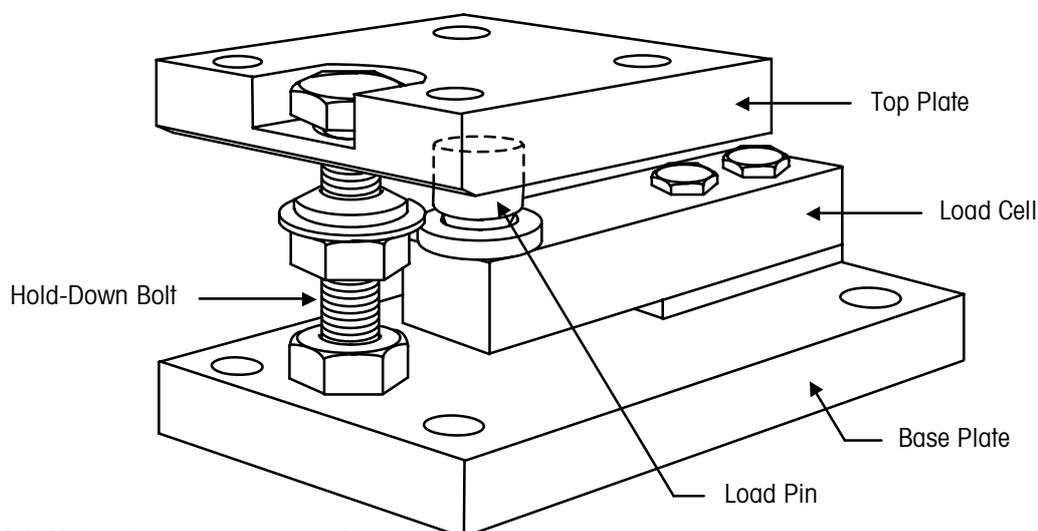


Figure 1-1 :Module de pesage par compression

Modules de pesage par traction

Les modules de pesage par traction servent à créer des balances à partir de cuves, de trémies ou autres objets suspendus depuis la superstructure ou l'étage supérieur d'un bâtiment.

La Figure 1-2 représente un module de pesage par traction classique. Il comprend un capteur de pesage en forme de S doté de trous filetés aux deux extrémités. Un palier à embout sphérique est vissé à chaque extrémité. Des maillons d'attache sont reliés à la structure du dessus et à la cuve du dessous au moyen de tiges filetées. Généralement, au moins trois modules de pesage soutiennent la balance.

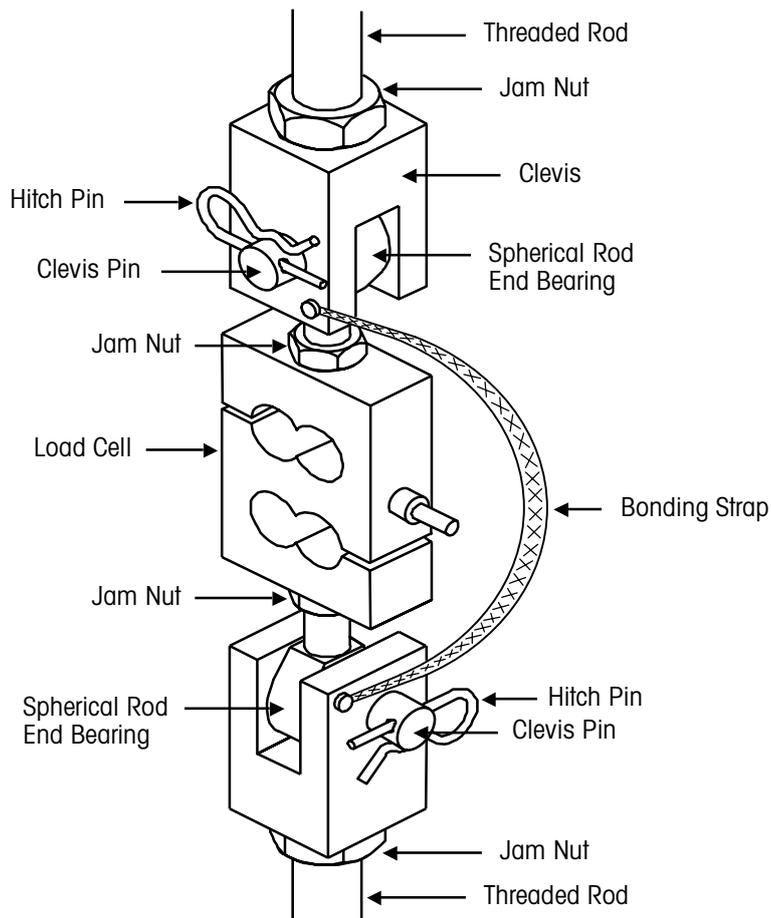


Figure 1-2 :Module de pesage par traction

Applications du module de pesage

Les modules de pesage servent à convertir n'importe quelle structure en balance. Ils peuvent être intégrées à une structure originale ou ajoutées à une structure existante. Ce chapitre décrit les applications les plus courantes du module de pesage.

Cuves, trémies, silos et réservoirs

Dans de nombreux secteurs industriels, la manutention s'effectue dans des cuves, des trémies, des silos et des réservoirs. En y fixant des modules de pesage, vous pouvez peser leur contenu de manière précise et fiable. Ce manuel utilise le terme générique de » cuve « pour désigner une cuve, une trémie, un silo ou un réservoir, soutenu par les modules de pesage, qui représente chacun un type donné de conteneur utilisé aux fins décrites ci-dessous :

Cuves : Une cuve est généralement un conteneur fermé où sont stockés des liquides, gaz ou solides à écoulement libre industriels. Les cuves sont de tailles variables, depuis les cuves domestiques de propane ou de combustible de chauffage jusqu'aux grandes cuves industrielles d'une capacité de plusieurs tonnes. La Figure 2-1 représente une cuve soutenue par des modules de pesage par compression ; ils peuvent être horizontaux ou verticaux, ou symétriques ou asymétriques.

Trémies : Une trémie est un conteneur dont le haut est ouvert et qui sert à traiter les solides qui ont la forme de poudres ou de granulés. Il est utilisé le plus souvent pour distribuer des matières ou recueillir des ingrédients à traiter ultérieurement. Les trémies sont habituellement plus petites que les cuves et sont suspendues à une superstructure. La Figure 2-2 représente une trémie soutenue par des modules de pesage par traction.

Silos : Un silo est un conteneur fermé, similaire à une cuve verticale, utilisé pour le stockage des matières solides sous forme de poudres ou de granulés. Les silos sont de tailles variables. Ils peuvent être extrêmement grands et contenir plusieurs tonnes de matières. Souvent placés à l'extérieur près d'une usine de traitement, ils sont employés pour stocker des matières premières.

Réservoirs : Un réservoir est une cuve élaborée équipée d'un matériel permettant de chauffer, de refroidir, de mélanger des matières ou de réaliser d'autres opérations. Des réactions chimiques ont souvent lieu dans les réservoirs. Il faut donc pouvoir mesurer précisément tout ajout de matières.

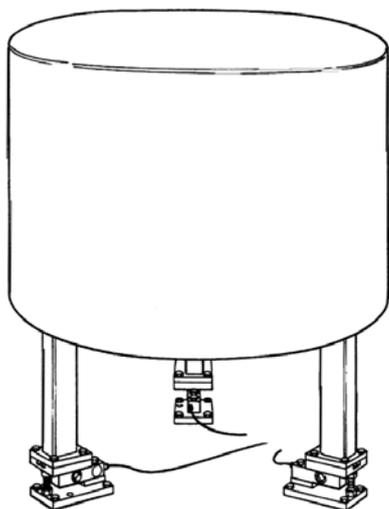


Figure 2-1 : Cuve verticale soutenue par des modules de pesage par compression

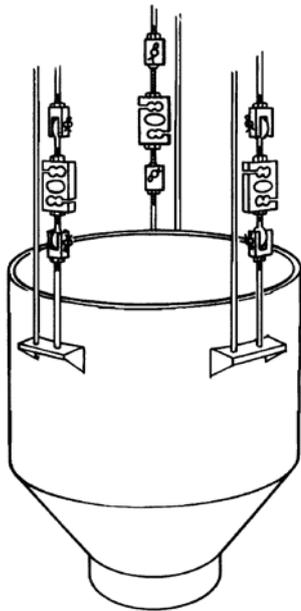


Figure 2-2 : Trémie soutenue par des modules de pesage par traction

Convoyeurs

Pour peser des objets transportés par un convoyeur, montez une partie du convoyeur sur des modules de pesage (voir la Figure 2-3). Comme les objets pesés sur un convoyeur sont souvent en mouvement, de telles applications exigent un module de pesage capable de résister à de fortes charges de cisaillement tout en garantissant des pesées reproductibles. Les modules de pesage METTLER TOLEDO à centrage automatique permettent à la section de pesage du convoyeur d'absorber les chocs causés par les charges de cisaillement, en effectuant des mouvements d'avant en arrière. Le système de suspension autorégénérateur du capteur de pesage replace toujours le convoyeur dans sa position » initiale « pour assurer la reproductibilité du pesage.

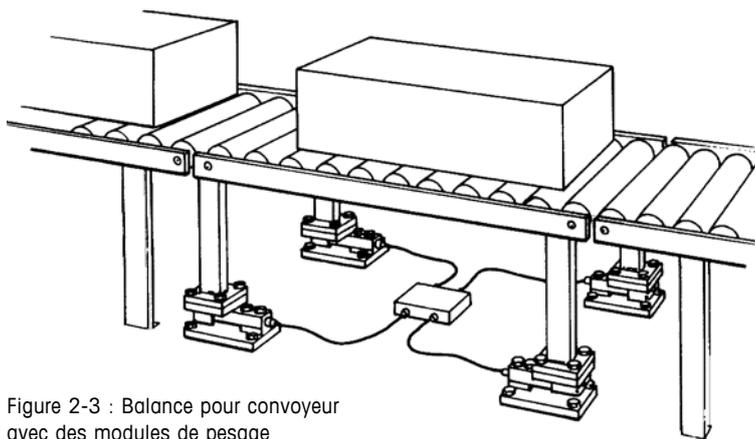


Figure 2-3 : Balance pour convoyeur avec des modules de pesage

Bascules

Il existe une large variété de bascules, dans une version standard ou plus personnalisée pour satisfaire aux exigences bien particulières d'une application. Cette version sur mesure peut notamment être complétée par des modules de pesage comme illustré dans la Figure 2-4.

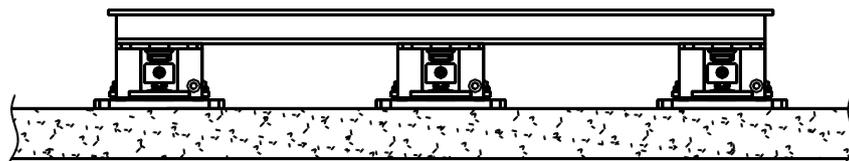


Figure 2-4 : Bascule avec modules de pesage

Transformations des bascules mécaniques

Il existe deux moyens de transformer d'anciens modèles de bascules mécaniques (voir la Figure 2-5) pour pouvoir réaliser des pesées électroniques. La première méthode consiste en une conversion du levier. Elle comprend l'ajout d'un module de pesage par traction en forme de S et le maintien des leviers et de la plateforme de pesage de la balance mécanique originelle. La seconde solution consiste à remplacer le levier. Elle exige le retrait des leviers et l'insertion de modules de pesage par compression sous la plate-forme existante.

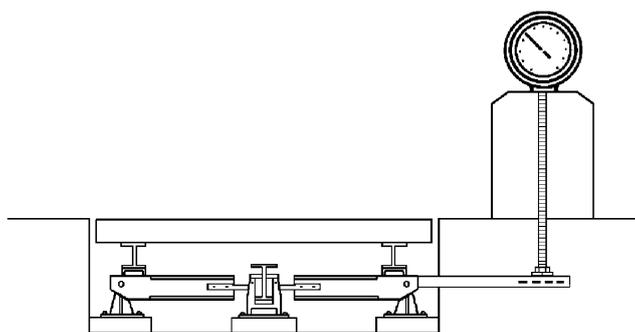


Figure 2-5 : Bascule mécanique

Transformation du levier

La transformation du levier englobe la conservation de la tête à cadran de la bascule mécanique afin de pouvoir effectuer une pesée électronique et mécanique. Un module de pesage par traction en forme de S est introduit dans la barre en acier existante située dans la colonne de la tête à cadran. La tête à cadran est bloquée afin que le capteur en S puisse ressentir la charge de traction appliquée par le levier perpendiculaire qui se prolonge depuis la fosse de la balance. En cas de coupure de courant ou de panne électronique, l'opérateur peut revenir en mode mécanique en débloquant la tête à cadran. La Figure 2-6 illustre la conversion d'un levier.

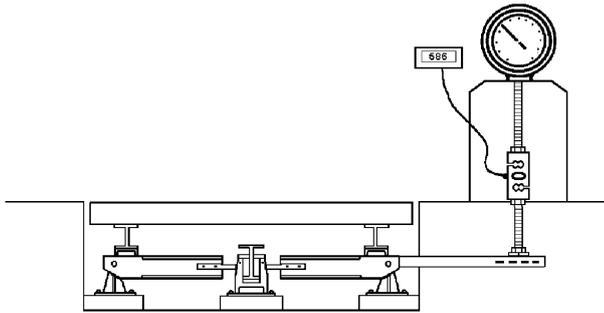


Figure 2-6 : Balance électromécanique

Comment déterminer la capacité du capteur de charge en kg que requiert la transformation :

- Déterminer la charge de traction initiale en kg dans la tige en acier découlant du poids mort de la plateforme.
- Déterminer la capacité en kg de la balance existante.
- Déterminer le multiple du système à levier.

Insérer les variables ci-dessus dans la formule suivante :

$$\text{Capacité du capteur de pesage} = \text{Charge de traction initiale} + \frac{\text{Capacité}}{\text{Multiple}}$$

Multipliez la capacité minimale absolue du capteur de pesage par un coefficient de sécurité, comme décrit plus en détails dans le chapitre 7, Modules de pesage par traction.

Conseils concernant les cotes

Charge de traction initiale : L'un des moyens de mesurer la charge de traction initiale dans la barre en acier est de soulever la barre avec un levier. Bloquez la barre en acier à l'aide d'un point de levage sous la forme d'une bride par exemple. La charge de traction correspond au poids à appliquer à l'extrémité libre du levier pour soulever la barre en acier, corrigé au moyen d'un coefficient basé sur la position du pivot du levier (voir la Figure 2-7). Par exemple, si le pivot se trouve à 5 cm de l'extrémité du levier situé sous le point de levage et à 50 cm de l'extrémité libre, multiplier par 10 la charge en kg qui doit être ajoutée à l'extrémité libre du levier afin de déterminer la charge de traction en kg.

Capacité : La capacité de la balance doit figurer sur la plaque d'identification, convertie en kg si besoin est.

Multiple : Vous pouvez définir le multiple d'un système à levier en fixant un poids test connu à la barre en acier de la balance vide. Le multiple s'obtient en divisant le changement de poids affiché sur le cadran par la valeur du poids test. Exemple : si le changement de poids affiché sur le cadran s'élève à 1 000 kg et si un poids test de 2,5 kg est suspendu à la barre en acier, le multiple est de 400.

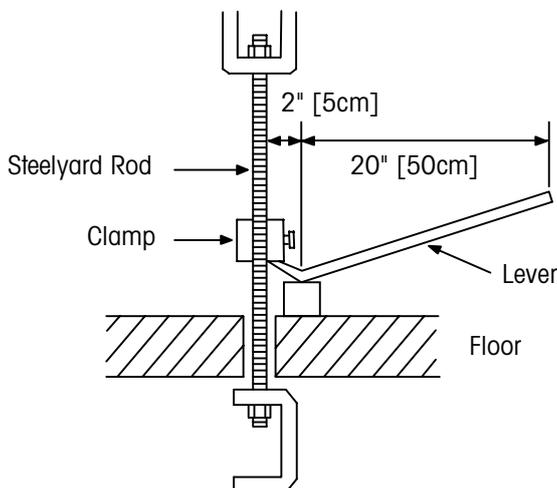


Figure 2-7 : Détermination de la charge de traction initiale dans la barre en acier à l'aide d'un levier.

Remplacement du levier

Le remplacement du levier implique l'élimination des leviers et de la tête de cadran de la balance mécanique. La plateforme de pesage existante peut être modifiée pour intégrer des modules de pesage par compression. De cette transformation découle une balance entièrement électronique (voir la Figure 2-8).

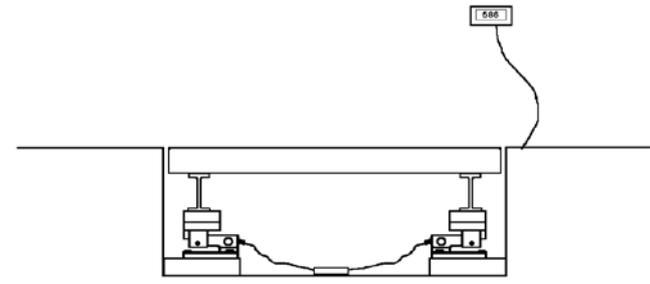


Figure 2-8 : Balance entièrement électronique

Généralités concernant le module de pesage

Modules de pesage par compression ou par traction

Il existe deux types de modules de pesage de base :

Les modules de pesage par compression sont conçus de telle sorte qu'une cuve ou une autre structure puisse être montée sur le dessus des modules. **Il est possible de suspendre une cuve ou une autre structure aux modules de pesage par traction.**

L'emploi de modules de pesage par compression ou traction dépend de l'application envisagée. Le Tableau 3-1 contient des informations générales concernant la conception, lesquelles affectent la sélection des modules de pesage.

Information concernant la conception	Modules de pesage par compression	Modules de pesage par traction
Encombrement	Exige un encombrement adapté à la taille de la cuve. Un espace tampon autour de la cuve peut être nécessaire.	Aucun encombrement n'est nécessaire. Suspension possible pour libérer de l'espace sous la cuve.
Restrictions d'ordre structurelle	Il peut être nécessaire de renforcer les planchers instables ou de les équiper d'une installation spéciale pour supporter le poids de la cuve pleine.	Il peut être nécessaire de renforcer les stratifs plafonniers instables ou de les équiper d'une installation spéciale pour supporter le poids de la cuve pleine.
Limite de poids	Généralement illimité. Si la répartition de charge est inhérente avec trois supports de cuve, elle est de plus en plus difficile à atteindre lorsque le nombre de cuves est supérieur à 4.	Les modules de pesage par traction existent jusqu'à 10 tonnes. Ce principe et les considérations d'ordre structurelle limitent la capacité du système de traction.
Alignement du capteur de pesage	Les conceptions peuvent varier et doivent tenir compte de la déformation du plancher, des colonnes de soutien disponibles, de la taille, de la forme et de l'état de la cuve.	L'alignement du capteur ne variera pas énormément car les barres de tension et les autres équipements de support acceptent la plupart des déformations.

Tableau 3-1 : Comparatif des modules de pesage par compression et par traction

Charge statique ou dynamique

Lors de la sélection de modules de pesage, il faut tenir compte de la façon dont la charge sera appliquée à ces modules. La plupart des applications impliquant des cuves, des trémies, des silos et des réservoirs sont soumises à une charge statique. En ce qui concerne la charge statique, la force de cisaillement transmise aux modules de pesage est faible, voire nulle. Les applications telles que les convoyeurs, les rateliers à tuyaux, les transformations de balances mécaniques et les balances équipées de puissants mélangeurs sont soumises à une charge dynamique. Pour ce qui est de la charge dynamique, la façon dont les produits sont placés sur la balance ou traités génère des efforts de cisaillement horizontaux pour les modules de pesage. Reportez-vous au Chapitre 6, Modules de pesage par compression, pour en savoir plus sur le type de suspensions de module de pesage et les paramètres d'application correspondants.

Combien de modules de pesage utiliser ?

Pour une installation existante, le nombre de modules de pesage dépend du nombre de supports existants. Si une cuve a quatre piètements, vous devrez utiliser quatre modules de pesage.

Pour les nouvelles installations, il est préférable de recourir à un système de support en trois points pour assurer une bonne répartition de la charge sur les modules de pesage. Si la résistance au vent, le ballonnement des liquides ou la résistance sismique sont des facteurs dont il faut tenir compte, la cuve peut nécessiter au moins quatre supports pour renforcer la stabilité et la protection contre le renversement.

La plupart des applications de pesage de cuve reposent sur trois ou quatre modules de pesage. Les indicateurs de METTLER TOLEDO peuvent additionner les sorties de quatre, huit ou davantage de modules de pesage. Toutefois, atteindre une répartition homogène du poids et régler le décalage deviennent de plus en plus difficiles au-delà de quatre modules.

Pour calculer la capacité requise de chaque module de pesage, divisez la capacité brute du système par le nombre de supports. Il convient d'appliquer un coefficient de sécurité à la capacité brute si le poids est sous-estimé ou réparti de façon irrégulière. Les chapitres 6, Modules de pesage par compression et chapitre 7, Modules de pesage par traction, décrivent la méthode de dimensionnement des modules de pesage. Des facteurs locaux, comme la résistance au vent et sismique, peuvent affecter la capacité des modules de pesage que requiert une application ; reportez-vous au chapitre 4, Généralités environnementales concernant le module de pesage.

Étalonnage sur site

Le mode d'étalonnage du module de pesage représente un autre facteur de poids. Si vous ajoutez des modules de pesage à une cuve existante, vous devrez peut-être modifier cette dernière afin que vous puissiez y suspendre des poids test agréés. La cuve doit au moins pouvoir supporter des poids test équivalant à 20 % du poids net du produit (capacité programmée). Le chapitre 8, Étalonnage du module de pesage décrit plusieurs méthodes d'étalonnage.

Performances du système de pesage

La mesure des performances d'un système de pesage repose sur trois concepts de base : l'exactitude, la résolution et la reproductibilité. Par exactitude, on entend le rapprochement plus ou moins important entre le relevé de la balance et le poids réel placé sur la balance. L'exactitude d'une balance se mesure généralement en fonction d'une norme reconnue, comme les poids test agréés du NIST.

La résolution est la variation de poids la plus infime que peut détecter une balance numérique. La résolution s'exprime en incréments selon les fonctions des capteurs de pesage et de l'indicateur numérique. Une balance numérique peut afficher un incrément très faible de l'ordre de 5 g ; cela ne signifie pas que le système est précis à ± 5 g.

La Figure 3-1 fait la distinction entre l'exactitude et la résolution. Bien que la balance affiche une résolution de 0,005 kg, le relevé est imprécis à $\pm 0,145$ kg. La résolution dépend des circuits électroniques d'une balance. Bon nombre de balances industrielles modernes peuvent subdiviser le signal d'un capteur de pesage en 1 000 000 de divisions internes et afficher 100 000 divisions. La configuration de la balance affecte la résolution affichée. Toutefois, un incrément affiché ne traduit pas le niveau d'exactitude de la balance.

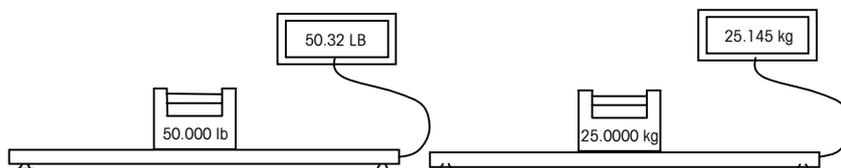


Figure 3-1 : Exactitude et résolution

La **reproductibilité** d'une balance représente sa capacité à afficher un relevé cohérent chaque fois que le même poids est pesé. Ceci est particulièrement important dans les applications de dosage et de remplissage, lesquelles exigent la même quantité de matières pour chaque lot. La reproductibilité et l'exactitude vont de paire. Un système peut être reproductible mais imprécis mais il ne peut jamais être précis sans être reproductible.

Les facteurs suivants peuvent affecter l'exactitude et la reproductibilité d'un système de pesage. Ils seront abordés plus en détails dans ce manuel.

- Facteurs environnementaux : vent, forces sismiques, température, vibrations
- Le module de pesage soutient les structures
- Conception de la cuve et du réservoir
- Conception des tuyaux (raccordements directs et permanents)
- Qualité du capteur de pesage et du terminal
- Capacité totale du capteur de charge
- Étalonnage
- Facteurs opérationnels / de processus

Détermination de l'exactitude et de la reproductibilité du système

Il a été constaté que les balances de cuve soutenues par des modules de pesage, posées sur des fondations solides, peuvent être précises à +/- 0,1 % de la charge appliquée, à savoir le poids placé sur la balance. Si ce type de balance est bien étalonné, il donnera un relevé précis. Le pourcentage du poids total doit être égal au pourcentage du total de points (incrément). La figure 3-2 illustre ce rapport.

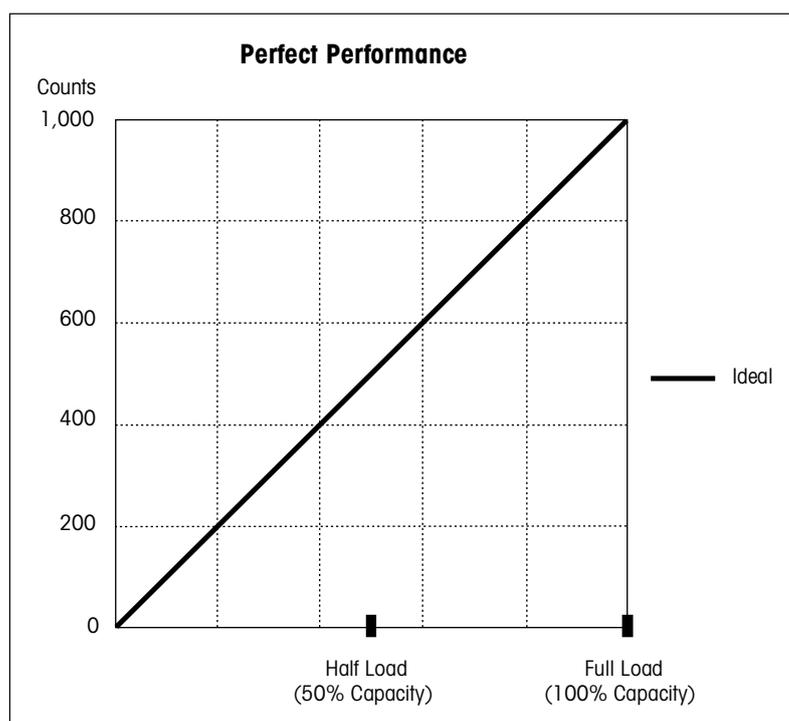


Figure 3-2 : Poids idéal ou comptes

Si une balance possède 1 000 comptes et une capacité totale de 2 000 kg, chaque compte équivaut à 2 kg. Si un poids de 1 000 kg est posé sur la balance, il devrait y avoir 500 comptes. Pour un poids de 2 000 kg, le nombre de comptes est de 1 000. Ce rapport ne varie pas, qu'un poids soit ajouté ou retiré de la balance.

Si une balance n'est pas correctement étalonnée, ce rapport idéal ne se répète pas. L'inexactitude du pesage est due à quatre principaux types d'erreurs :

- Erreurs d'étalonnage
- Erreurs de linéarité
- Erreurs d'hystérèse
- Erreurs de reproductibilité

Erreurs d'étalonnage

Un étalonnage incorrect du matériel de pesage peut provoquer des erreurs. En cas d'erreur d'étalonnage (voir la Figure 3-3), le rapport comptes/charge reste rectiligne, comme avec la balance idéale. Toutefois, le rapport n'atteint pas 100 % à pleine charge. Le rapport entre le poids et la charge est linéaire mais incorrect. Cela est généralement dû à une erreur dans l'étalonnage électrique. Il suffit de réétalonner la balance pour corriger cette anomalie.

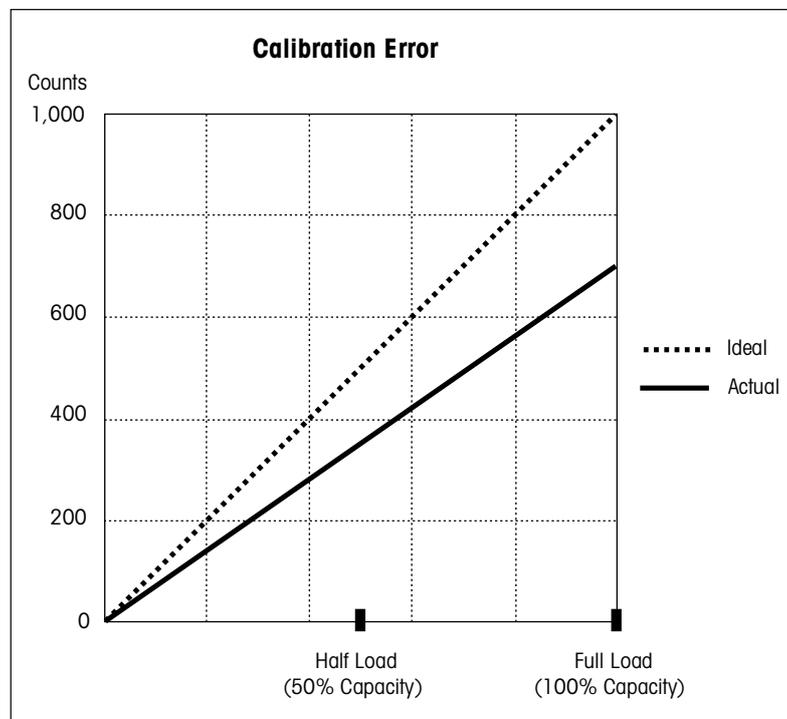


Figure 3-3 : Erreur d'étalonnage

Erreurs de linéarité

La linéarité d'une balance caractérise son aptitude à suivre le rapport linéaire (une ligne droite sur le graphique) entre le poids effectif et la valeur de mesure affichée. Une erreur de linéarité survient lorsqu'une balance effectue un relevé correct à vide et à pleine charge, mais des relevés incorrects entre les deux points (voir la Figure 3-4). Le poids indiqué est soit supérieur (comme illustré dans le graphique) soit inférieur au poids réel.

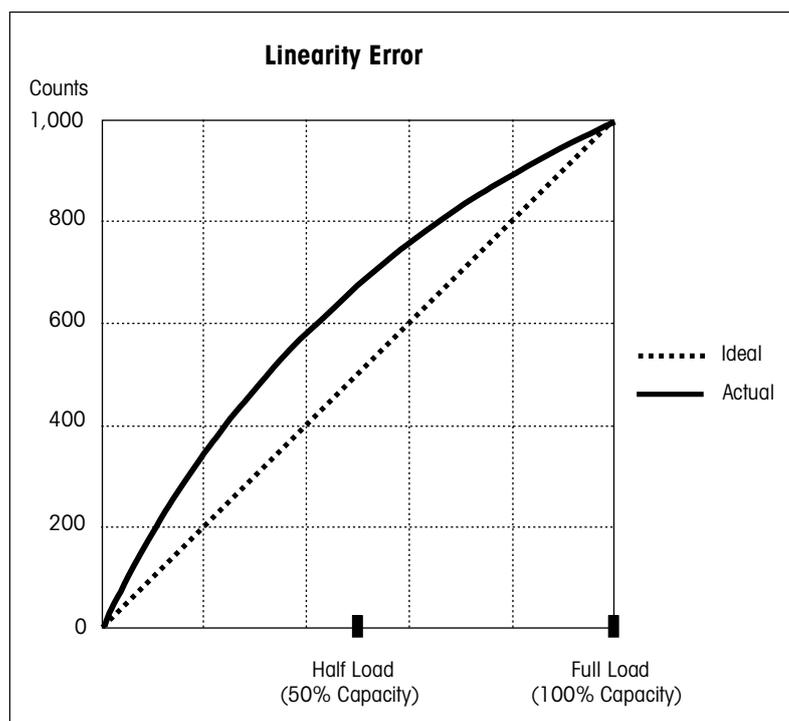


Figure 3-4 : Erreur de linéarité

Erreurs d'hystérèse

L'hystérèse correspond à l'écart maximal observé entre deux relevés pour une même mesure, d'une part en augmentant la charge à partir de zéro et d'autre part en réduisant la charge depuis la portée maximale. La Figure 3-5 décrit une erreur classique d'hystérèse. La balance est précise à zéro et à pleine charge. Au fur et à mesure que le poids augmente, la courbe se trouve au-dessous de la ligne droite, ce qui indique que les relevés sont trop faibles. Une fois la pleine charge atteinte, le poids diminue progressivement et la courbe se trouve au-dessus de la ligne droite : les relevés sont trop élevés. L'hystérèse correspond à l'écart maximal entre la courbe de chargement et la courbe de déchargement ; elle apparaît à mi-charge dans cet exemple. Vous devez combattre les erreurs de linéarité et d'hystérèse pendant les opérations de dosage, de remplissage et de comptage, en particulier lorsque toute l'étendue de mesure est utilisée.

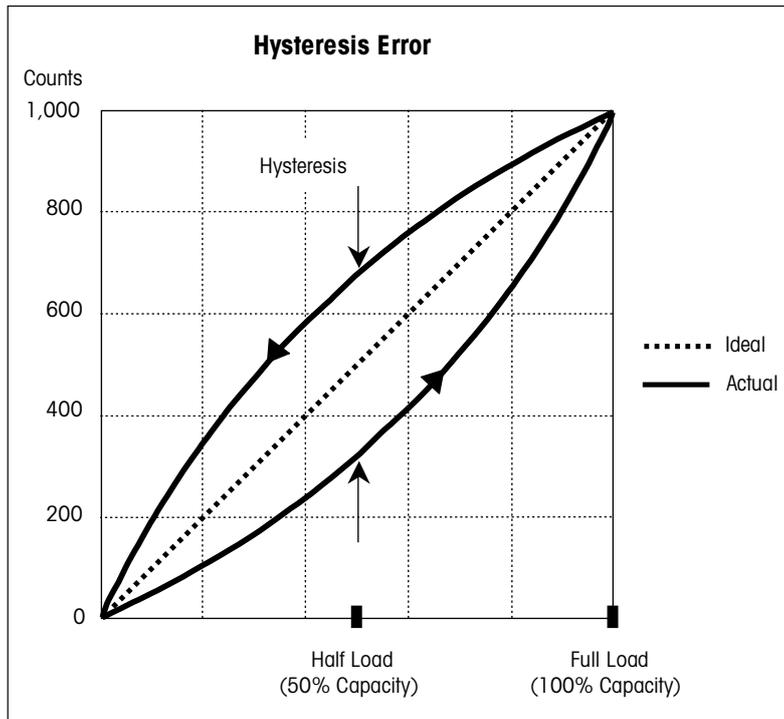


Figure 3-5 : Erreur d'hystérèse

Erreurs de reproductibilité

La reproductibilité d'une balance correspond à son aptitude à reproduire le même relevé lorsque le même poids est appliqué et supprimé plusieurs fois, dans des facteurs environnementaux identiques. Elle correspond à l'écart maximal entre les relevés et s'exprime en pourcentage de la charge appliquée. Supposons, par exemple, qu'un poids de 2 500 kg soit placé sur une balance de 2 500 kg] à 10 reprises: 2 500,5 kg est le relevé le plus élevé et 2 500 kg le relevé le plus bas. L'erreur de reproductibilité est de 0,5 kg ou 0,02 % (1/5 000) de la charge appliquée (C.A.) de la balance. L'erreur de reproductibilité est l'écart maximum entre les relevés de la sortie du capteur pris à partir d'essais consécutifs avec la même charge et les mêmes conditions environnementales de mesure, exprimé en % de la charge appliquée.

Quel niveau d'exactitude attendre sur le terrain ?

L'exactitude d'une balance dépend de la qualité des capteurs de pesage utilisés. La meilleure approche consiste à évaluer les performances des capteurs seuls. Voici les performances habituelles de capteurs de qualité :

- Non-linéarité : $\pm 0,01$ % de la capacité nominale (C.N.)
- Hystérèse : $\pm 0,02$ % de la capacité nominale (C.N.)
- Erreur combinée : $\pm 0,02$ % à $0,03$ % de la capacité nominale (C.N.)

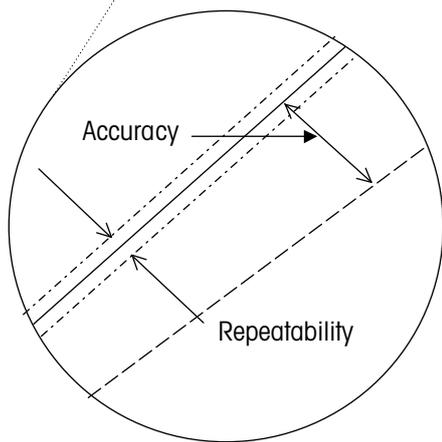
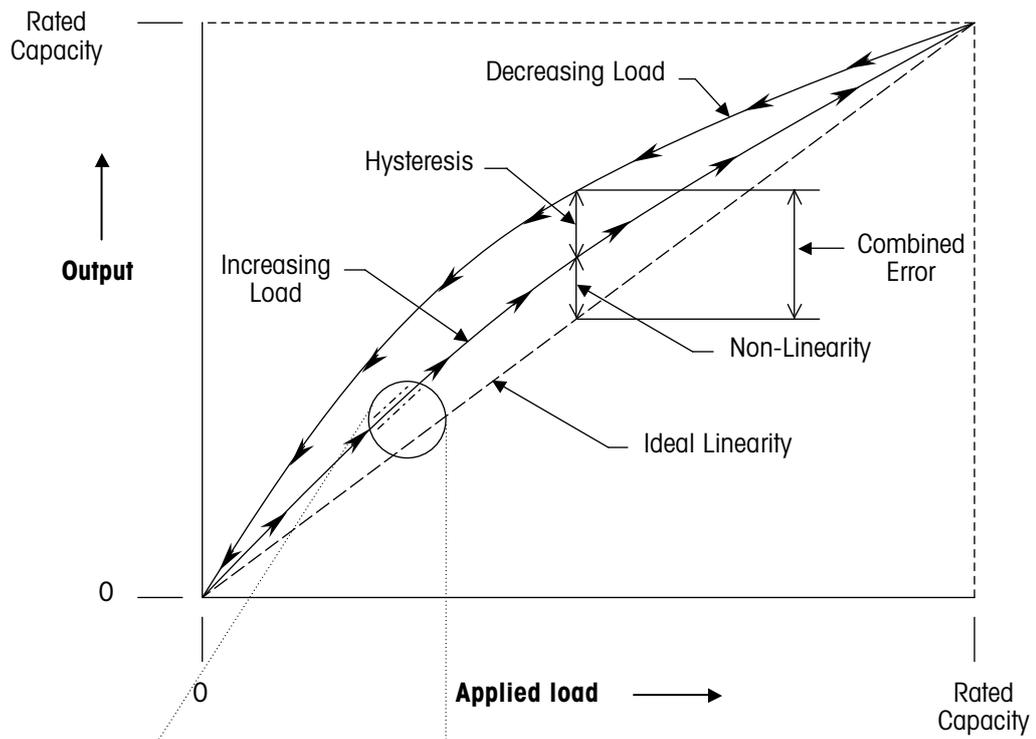
L'erreur combinée est l'erreur causée par l'effet combiné de la non-linéarité et de l'hystérèse. La Figure 3-6 illustre l'erreur combinée du capteur de pesage comme un intervalle d'erreur compris entre la charge nulle et la capacité nominale. Cet intervalle d'erreur doit englober tous les poids relevés. Dans des conditions idéales, l'exactitude d'une balance peut avoisiner ou dépasser l'exactitude des capteurs individuels du système (au moins $0,02$ % de la capacité du système). En réalité, des facteurs environnementaux et structurels influencent le degré d'exactitude, notamment les vibrations, la température, les raccordements directs et permanents, les tuyaux et l'intégrité du support de module.

Prévision de l'exactitude du système

L'exactitude d'une balance de cuve est fonction de plusieurs facteurs, notamment l'indicateur, les capteurs de pesage, le matériel de montage, la conception de la cuve, les fondations et des facteurs environnementaux. Le niveau d'exactitude varie en fonction de l'application. Comparé au stockage en vrac, le dosage et le remplissage exige une exactitude accrue. Le Tableau 3-2 indique les quatre niveaux d'exactitude du pesage et énumère les facteurs qui peuvent influencer l'aptitude de la balance de cuve à atteindre ces niveaux. Observez les recommandations du tableau pour veiller à ce que la balance de cuve atteigne le niveau d'exactitude souhaité.

Synthèse sur l'exactitude du système

L'exactitude réelle d'un système s'obtient en testant et en validant une fois que le système est intégralement installé. Dès que tous les tuyaux et composants sont fixés, » exercez « la cuve en ajoutant des poids test ou d'autres matériaux jusqu'à la pleine capacité de la balance. Cela évite l'accumulation de contraintes et permet au système de se stabiliser. Dès que le système est stable, effectuez plusieurs test de zéro à la pleine capacité pour connaître les performances du système qui en découlent. A vide, commencez à appliquer des poids connus par étapes successives jusqu'à la pleine capacité. Consignez le poids indiqué à chaque étape. Notez ensuite les relevés à intervalles identiques à mesure que les poids sont retirés du système. Pour déterminer l'erreur système réelle, comparez les relevés aux poids réellement appliqués à la balance.



Le graphique ci-dessus illustre la corrélation entre la linéarité, l'hystérèse, la reproductibilité et l'erreur combinée.

Erreur combinée = non linéarité + hystérèse.

Les schémas de performances varient en fonction des capteurs utilisés et des facteurs environnementaux et structurels.

Figure 3-6 : Graphique des performances d'un exemple de système à capteur de pesage

Paramètres du système

Exactitude	Exactitude élevée	Exactitude moyenne	Exactitude faible	Détection du niveau
Niveau d'exactitude	Maximal	Meilleur	Bon	Passable
Exactitude du système (% de la capacité du système)*	0,015 à 0,033	0,033 à 0,10	0,10 à 0,50	> 0,50
Utilisation du capteur de pesage (% de la capacité nominale)*	≥ 50	≥ 30	≥ 30	≥ 20
Type d'application	Cuves de réacteur pour la formulation, le mélange, le dosage et le remplissage de précision	Cuves de stockage, trémies, systèmes de convoyage, dosage, remplissage	Cuves de stockage, trémies, systèmes de convoyage	Cuves de stockage en vrac des matières premières et des produits de base

Paramètres de l'équipement de la balance

Certification du capteur de pesage	C6 ou C3 OIML, 5000d CIII NTEP	C3 à D1 OIML, 3000d CIII à 10 000d CIIIL NTEP	D1 OIML, 1000d CIII NTEP, non agréé	Agréé ou non agréé
Charge du module de pesage Suspension	A centrage automatique	A centrage automatique ou coulissant	A centrage automatique, coulissant ou rigide	A centrage automatique, coulissant ou rigide
Faux capteur ou capteur de pesage facile	Néant	Néant	Néant	Uniquement pour les liquides ou les gaz

Paramètres d'installation

Caractéristiques de la cuve	Dispositions des poids test, des supports de montage rigides	Dispositions des poids test, des supports de montage rigides	Dispositions des poids test, des supports de montage rigides	Supports de montage rigides
Tuyaux d'entrée et de sortie	Flexible uniquement	Flexible uniquement	Flexible et rigide	Flexible et rigide
Fondations	Rigide et isolé des facteurs environnementaux, déformation uniforme	Rigide et isolé des facteurs environnementaux, déformation uniforme	Rigide et déformation uniforme	Rigide et déformation uniforme

Paramètres environnementaux

Plage de températures du capteur de pesage	Dans les limites des valeurs nominales du capteur de pesage	Dans les limites des valeurs nominales du capteur de pesage	Dans les limites des valeurs nominales du capteur de pesage	Dans les limites d'utilisation du capteur
Vibrations	Néant	Limitée, utiliser des coussinets isolants et le filtrage des instruments	Limitée, utiliser des coussinets isolants et le filtrage des instruments	Utiliser des coussinets isolants et le filtrage des instruments
Vent et courants d'air	Installation recommandée en intérieur	Jusque dans les limites du module de pesage	Jusque dans les limites du module de pesage	Jusque dans les limites du module de pesage

Procédure d'étalonnage

Procédure recommandée	Poids test, substitution entre matières	Poids test, substitution entre matières, transfert de matières	Substitution entre matières, transfert de matières	Transfert de matières, étalonnage électronique
CalFREE™	Non	Non recommandé	Oui, lorsqu'il n'y a pas d'autres alternatives	Oui

Modules de pesage

Modèles	A centrage automatique	A centrage automatique, coulissant ou par traction	A centrage automatique, coulissant, rigide ou par traction	Combinaison de modules réels et faux capteur ou faux capteurs
Matériau	Acier inoxydable recommandé	Acier au carbone, acier inoxydable	Acier au carbone, acier inoxydable	Acier au carbone, acier inoxydable

Indicateurs

Filtrage TraxDSP™ pour la stabilité	Recommandé	Recommandé	Selon le besoin	Selon le besoin
Maintenance prédictive	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Selon le besoin

* La capacité du système correspond à la capacité de la balance programmée dans l'indicateur. La capacité nominale (C.N.) est la capacité des capteurs de pesage de la balance. L'utilisation du capteur de pesage représente le pourcentage de la capacité nominale de chaque capteur utilisée lorsque la balance est chargée de zéro jusqu'à la capacité du système. Exemple : Si une balance de 2 500 kg est soutenue par quatre capteurs de pesage de 1 250 kg, l'utilisation du capteur équivaut à 50 % de la capacité nominale.

Tableau 3-2 : Exactitude de pesage de la cuve pour les systèmes à module de pesage

Détermination de la résolution du système

Pesage industriel non-transactionnel

La possibilité pour une combinaison de capteurs de pesage et d'indicateurs de fournir la résolution ou l'incrément souhaité(e) s'exprime par la formule suivante :

$$\text{Intensité du signal (Microvolts par incrément)} = \frac{\text{Incrément souhaité} \times \text{Sortie du capteur de pesage (mV/V)}^* \times \text{Tension d'excitation} \times 1\,000}{\text{Capacité d'un capteur de pesage} \times \text{Nombre de capteurs de pesage}}$$

*La plupart des capteurs de pesage METTLER TOLEDO ont un débit de 2 mV/V.

Indiquez l'incrément souhaité dans la formule ainsi que les paramètres du capteur de pesage et de l'indicateur, dans les mêmes unités que le débit. Si l'intensité du signal (microvolts par incrément) dépasse le seuil autorisé pour l'indicateur, le système devrait pouvoir fournir la résolution souhaitée.

Exemple 1 :

Soit une balance de cuve de quatre capteurs de pesage de 2 mV/V reliés à un indicateur qui a une tension d'excitation de 15 VCC et au moins 0,1 microvolt par incrément et 100 000 incréments affichés maximum. La pesée maximale est de 15 000 lb avec des incréments de 2 lb (7 500 incréments affichés). A l'aide de la formule suivante, déterminez l'intensité du signal requise :

$$\frac{2 \text{ lb} \times 2 \text{ mV/V} \times 15 \text{ VCC} \times 1\,000}{5\,000 \text{ lb} \times 4} = 3,0 \text{ microvolts par incrément}$$

L'intensité du signal admissible minimale de l'indicateur s'élève à 0,1 microvolt par incrément. Etant donné que l'intensité de 3,0 microvolts par incrément découlant de la formule est supérieure au seuil de 0,1 microvolt, vous pouvez afficher des incréments de 2 lb.

Exemple 2 :

Soit une balance de cuve de quatre capteurs de pesage de 1 100 kg (1,94 mV/V) reliés à un indicateur qui a une tension d'excitation de 5 VCC et au moins 0,1 microvolt par incrément et 100 000 incréments affichés maximum. La pesée maximale est de 1000 kg avec des incréments de 0,2 kg (5 000 incréments affichés). A l'aide de la formule suivante, déterminez l'intensité du signal requise :

$$\frac{0,2 \text{ kg} \times 1,94 \text{ mV/V} \times 5 \text{ VCC} \times 1\,000}{1\,100 \text{ kg} \times 4} = 0,44 \text{ microvolts par incrément}$$

L'intensité du signal admissible minimale de l'indicateur s'élève à 0,1 microvolt par incrément. Etant donné que l'intensité de 0,44 microvolts par incrément découlant de la formule est supérieure au seuil de 0,1 microvolt, vous pouvez afficher des incréments de 0,2 kg.

Pesage transactionnel agréé pour usage commercial

Si vous utilisez une balance pour acheter et/ou vendre des produits au poids, la certification de la balance limite la résolution ou l'incrément. Le chapitre suivant décrit les normes sectoriels régissant les applications agréées pour un usage commercial et les limites qu'elles imposent à la résolution des balances.

Normes sectorielles (applications agréées pour un usage commercial)

Plusieurs organismes établissent des normes pour le secteur des balances afin de garantir leur exactitude. Aux États-Unis, l'approbation des types est délivrée par le NTEP (National Type Evaluation Program), sous l'administration du Bureau des poids et des mesures du National Institute of Standards and Technology (NIST, Institut national des standards et de la technologie). En Europe, il s'agit des états membres de l'Union européenne, d'après les recommandations dictées par l'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML).

Normes des États-Unis

Le NIST fait partie du ministère américain du commerce. Il sponsorise la Conférence nationale sur les poids et les mesures (National Conference on Weights and Measures, NCWM), une association regroupant les représentants de l'industrie et des membres des gouvernements locaux, d'état et fédéraux. Cet organisme adopte des lois et des règlements uniformes recommandés by les membres de la NCWM. Il publie ces règlements dans le manuel 44 du NIST. Adopté par les états et localités, le manuel 44 du NIST est la liste officielle des spécifications, des tolérances et autres exigences techniques des appareils de mesure et de pesage.

L'évaluation du type représente la procédure employée pour tester le type (ou modèle) donné d'un appareil de pesage. Le NTEP teste un échantillon de chaque modèle dans un laboratoire ou sur le terrain. Si le modèle se décline en plusieurs tailles et capacités, le NTEP évaluera une partie de ses variantes selon la disponibilité des tailles et des capacités, le nombre de divisions et la division la plus petite. Si les tests révèlent que la balance est conforme aux exigences techniques du manuel 44 du NIST, le NTEP établit un Certificat de conformité pour ce modèle de balance.

Un certificat de conformité stipule que la balance testée par le NTEP, et non toutes les balance fabriquées, satisfait aux exigences établies par le manuel 44 du NIST. Il incombe au fabricant de la balance de veiller à ce que tous les modèles certifiés des balances adhèrent aux caractéristiques techniques établies. C'est à la seule discrétion du fabricant de s'assurer que les modèles, dans leur totalité ou non, d'une balance agréée NTEP soient conformes aux spécifications du manuel 44 du NIST. METTLER TOLEDO a mis en place des procédures de contrôle pour vérifier que chaque balance soit fabriquée conformément au même cahier des charges.

Le manuel 44 du NIST fixe les tolérances de réception et de maintenance. Il faut respecter les tolérances de réception lors de la première certification de la balance par le NTEP et lors de sa première mise en service. Les tolérances de maintenance sont deux plus nombreuses que les tolérances de réception et sont applicables après la mise en service de la balance pendant une certaine période. La Figure 3-7 illustre les tolérances de réception du manuel 44 du NIST pour les balances de classe III.

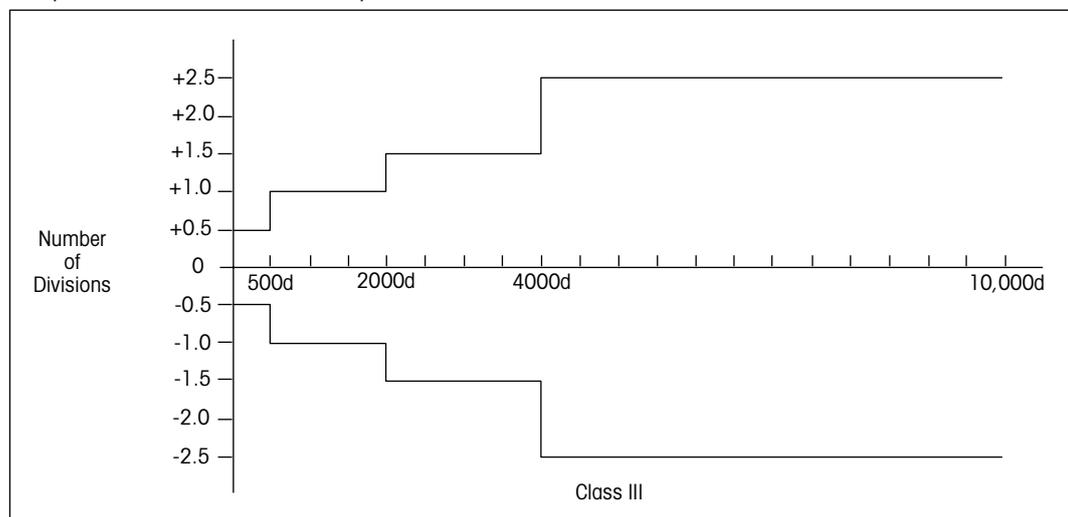


Figure 3-7 : Tableau des tolérances de réception du manuel 44

Les divisions de l'axe vertical représentent l'erreur admissible (les limites établies). L'axe horizontal affiche le nombre de divisions qui correspond au poids réel affiché sur la balance. Ainsi, si un poids correspondant à 1 000 divisions est placé sur la balance, l'indicateur doit afficher 1 000 divisions $\pm 1,0$ division. Si le poids correspond à 3 000 divisions, la tolérance est de $\pm 1,5$ division. A pleine charge, la tolérance est de $\pm 2,5$ divisions. Pour être certifiée, une balance doit respecter les limites indiquées sur une plage de températures de 30 °C. Les balances sont généralement conçues dans les limites indiquées sur la plage de températures la plus grande de -10 °C à +40 °C.

Il est important de comprendre comment les tolérances influencent l'exactitude d'une balance. Si une balance possède 5 000 divisions, cela ne signifie qu'elle est précise à 1 pour 5000. L'exactitude ne doit jamais s'exprimer à 1 pour 5 000 car, d'après le manuel 44, 2,5 parts d'erreur sont autorisées dans 5 000 divisions.

L'exactitude d'une balance peut aussi s'exprimer en pourcentage de l'exactitude de charge appliquée. Dans la Figure 3-8, la ligne en pointillés représente 0,1 % de l'exactitude de charge appliquée, comparé aux tolérances de réception de classe III du manuel 44. Une exactitude de charge appliquée d'environ 0,1 % (ou $\pm 0,05$ %) correspond au schéma du manuel 44 du NIST via 5 000 divisions. Notez, toutefois que la ligne indiquant une exactitude de charge appliquée de 0,1 % est en-dehors de la tolérance de réception comprise entre 3 000 et 4 000 divisions et au-dessus de 5 000 divisions. Etant donné que la méthode d'exactitude de charge appliquée de 0,1 % ne permet pas de respecter les tolérances à ces points, elle ne doit s'employer que pour s'approcher des tolérances de réception. Pour connaître les tolérances de réception réelles, reportez-vous toujours au manuel 44 du NIST ou aux consignes locales de Poids et mesures.

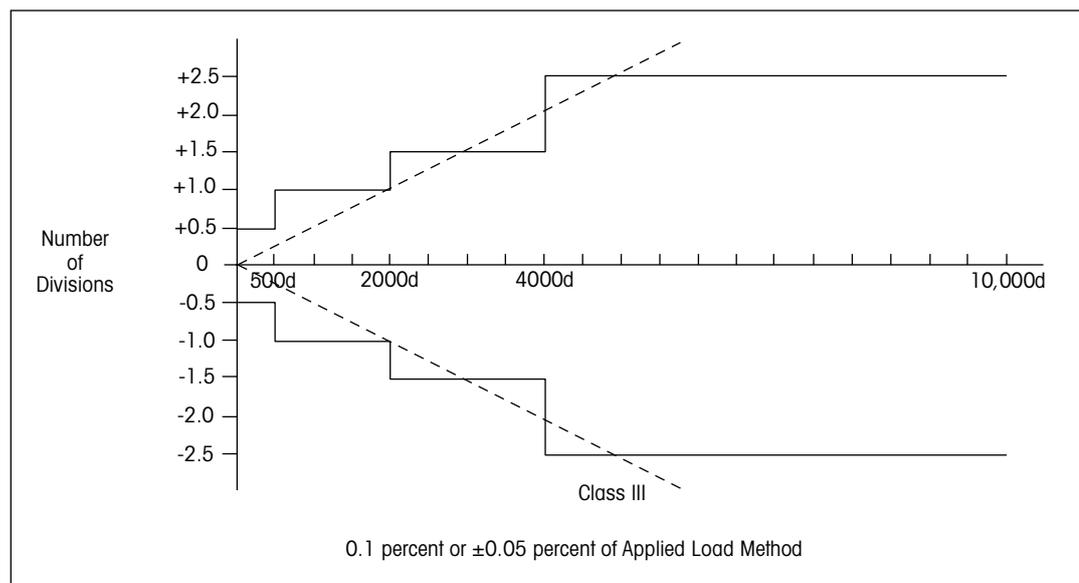


Figure 3-8 : Tableau des tolérances de réception du manuel 44 (méthode de charge appliquée en pourcentage)

Normes internationales

Bien que la certification NTEP soit largement répandue aux États-Unis, elle ne représente pas un standard mondial. Si vous vendez des produits hors des États-Unis, vous devez comprendre et observer les normes locales. Certaines normes courantes englobent les normes de Mesures Canada reconnues au Canada et les normes de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) adoptées par l'Union européenne.

L'OIML est une organisation internationale indépendante qui élabore des normes adoptées par les divers pays. Son objectif est d'harmoniser les règlements administratifs et techniques sur les mesures et les instruments de mesure employés par les services de métrologie nationaux de chaque pays membre de l'OIML. Il existe deux principaux types de publications OIML :

- **Les Recommandations internationales** (OIML R) sont des modèles de règlements qui énoncent les exigences métrologiques pour les balances et pour déterminer les méthodes et le matériel servant à vérifier la conformité des balances. Il appartient aux pays membres de l'OIML d'appliquer ces recommandations.
- **Les documents internationaux** (OIML D) contiennent des informations visant à améliorer le travail des services métrologiques nationaux.

Les balances certifiées NTEP ne répondent pas nécessairement aux exigences des normes de l'OIML. Plusieurs laboratoires d'essai européens tels que le NMI, le BTS et le PTB, réalisent des essais de performance pour vérifier l'adéquation du matériel aux normes OIML et leur aptitude à exécuter les fonctions prévues. L'OIML a établi ses propres classes d'exactitude et ses tolérances de réception. Les instruments sont classés d'après les valeurs d'exactitude absolue et relative.

- Les valeurs de division de contrôle d'une balance représentent l'exactitude absolue.
- Le nombre de valeurs de division de contrôle ($n = \text{capacité max.}$) représente l'exactitude relative.

La liste des classes d'exactitude des instruments avec les symboles correspondants est fournie ci-dessous :

Classe d'exactitude	Symbole
Exactitude spéciale	I
Exactitude élevée	II
Exactitude moyenne	III
Exactitude courante	IIII

La Figure 3-9 énumère les tolérances de réception de classe III de l'OIML tandis que la Figure 3-10 offre un comparatif avec les tolérances de classe III du manuel 44 du NIST. De même, l'axe vertical représente l'erreur admissible et l'axe horizontal indique le nombre de divisions correspondant au poids réel sur la balance.

Les tolérances de réception de l'OIML sont identiques à celles du manuel 44 du NIST comprises entre 0 et 4 000 divisions. A 4 000 divisions, la tolérance de réception du NIST augmente de $\pm 1,5$ division à $\pm 2,5$ divisions, tandis que la tolérance de réception de l'OIML demeure à $\pm 1,5$ division, avec un maximum de 10 000 divisions.

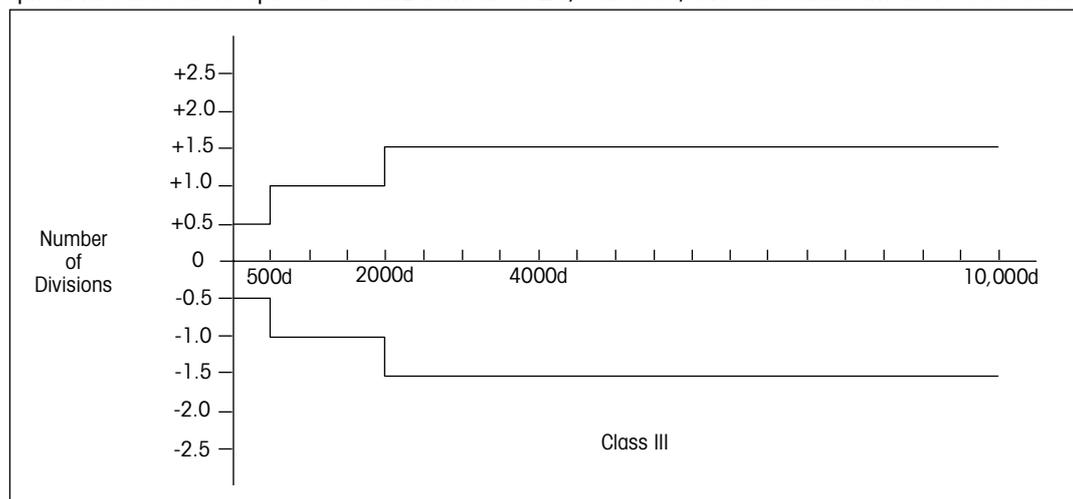


Figure 3-9 :Tableau des tolérances de réception de l'OIML

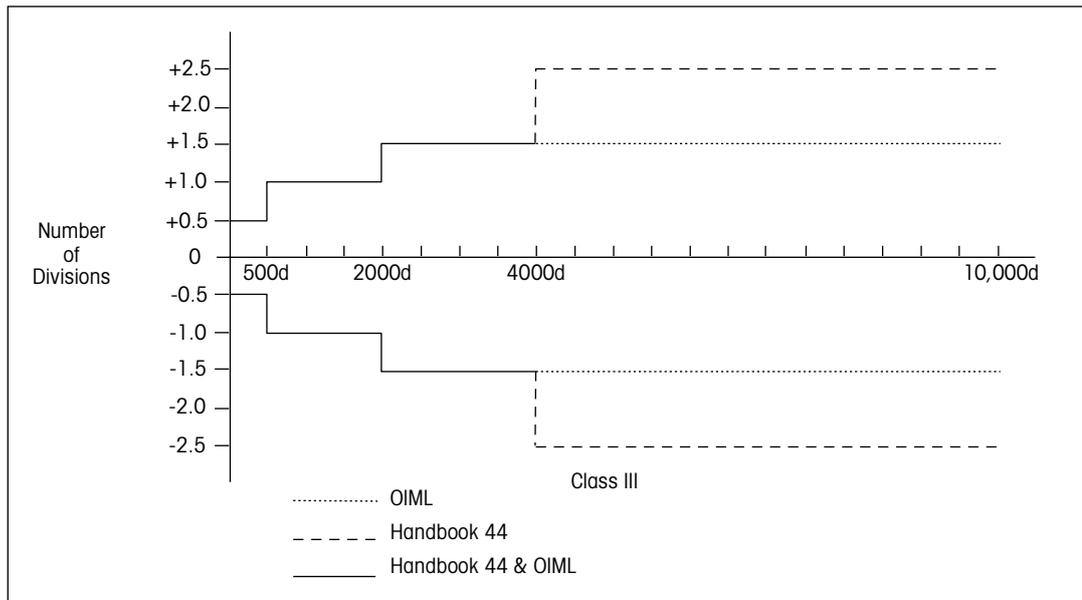


Figure 3-10 : Transparent des tolérances de réception de l'OIML/du manuel 44

Pour être « agréée pour un usage commercial », une balance doit respecter les tolérances de réception de l'OIML. Les relevés de poids de la balance doivent se situer dans les limites indiquées, par rapport au nombre de divisions (ou incréments) qui correspond au poids réel utilisé. Si un poids correspondant à 5 000 divisions est posé sur la balance, alors l'indicateur doit afficher 5 000 divisions $\pm 1,5$ division, en ligne avec les tolérances de réception de l'OIML. Pour que la même balance respecte les tolérances de réception du NIST, l'indicateur peut afficher 5 000 divisions $\pm 2,5$ divisions. La plus grande tolérance de réception autorisée par le NIST devait servir initialement à se rapprocher de la méthode de 0,1 % de charge appliquée.

Pour respecter les normes de l'OIML, une balance doit satisfaire à toutes les exigences et opérer dans les limites de tolérances d'étalonnage.

Au titre des règlements européens Poids et mesures, il existe une distinction entre un « certificat d'essai » et une « homologation ». L'homologation est délivrée pour les balances dans leur intégralité (et non pas pour les indicateurs ou les capteurs de pesage seuls). Il existe deux types d'homologation :

- **L'approbation des types CE pour une balance autonome complète.**
- **L'approbation « ombrelle » CE** pour une balance modulable composée de plusieurs pièces ((indicateurs, capteurs de pesage, boîtes de raccordement, imprimantes, etc.). Chaque composant doit faire l'objet d'un certificat d'essai CE porté sur l'homologation ombrelle.

Dès qu'une homologation ombrelle est délivrée, il est possible d'y ajouter ultérieurement des pièces certifiées CE supplémentaires. L'homologation englobe les balances composées de plusieurs combinaisons de pièces certifiées. Vous pouvez ainsi disposer d'une pièce homologuée tandis que d'autres pièces sont en cours de développement.

Module de pesage

Généralités environnementales

Du fait de l'influence des conditions ambiantes sur l'exactitude et la sécurité des modules de pesage, il faut en tenir compte lors de la phase de conception. Si une balance sera soumise aux vents, à un risque sismique ou à une charge dynamique, il faut peut-être envisager de recourir à des modules de plus grande capacité et prévoir des dispositifs de retenue supplémentaires pour que la structure demeure stable dans les conditions extrêmes.

Résistance aux vents

Les balances montées à l'extérieur ou dans des bâtiments ou structures ouverts sont soumises aux vents. Il faut tenir compte de cet aspect lors de leur conception. La force du vent qui s'abat sur la structure de la balance peut générer d'autres forces contre le module de pesage, ce qui peut conduire à la surcharge ou au vacillement de ce dernier dans les cas extrêmes. Le vent peut affecter considérablement les performances de la balance. Les deux chapitres suivants expliquent en détails ces risques. Les balances de cuves et de silos sont généralement des cylindres verticaux surélevés et soutenus par des modules de pesage par compression de type courant (voir la Figure 4-1).

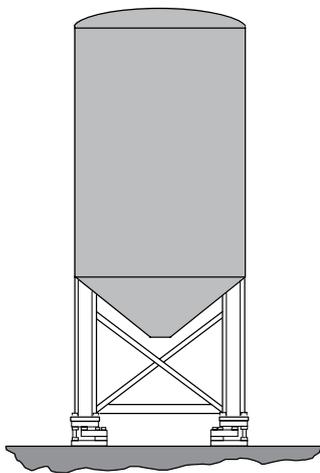


Figure 4-1 : balance de cuve extérieure classique

Stabilité de la construction

Dans l'analyse de la stabilité de la construction, il est généralement admis que le vent peut souffler dans toutes les directions. Lorsque le vent souffle sur l'un des côtés de la balance, il exerce une force horizontale sur le côté au vent. Cela se traduit par plusieurs effets structurels sur la balance :

1. Les modules de pesage doivent résister à la force du vent en appliquant des forces horizontales sur la cuve. Il ne faut pas dépasser la Force horizontale max.
2. Les forces du vent génèrent un transfert de poids entre les modules de pesage du côté au vent et les modules du côté sous le vent (voir le Chapitre 10, Annexe 2, Calcul des forces de réaction, pour plus d'informations sur ce sujet. Ce phénomène peut endommager les modules de pesage en cas de dépassement de la capacité nominale. Cela se produit souvent lorsque la balance est pleine. Il convient parfois d'opter des modules de pesage de plus grande capacité nominale supérieure. Le positionnement des modules de pesage près du centre de gravité de la balance permet d'atténuer cet effet, comme l'illustre la figure 5-19a dans le Chapitre 5.

3. Dans les cas extrêmes, la balance peut tomber en raison des forces du vent, surtout si la cuve ou le silo est mince et surélevé. Elle peut surtout se renverser si elle est vide. Pour ne pas tomber, le module de pesage doit être équipé d'une fonction anti-soulèvement et sa force de soulèvement maximale ne doit pas être dépassée. Il faut parfois ajouter des dispositifs de retenue pour empêcher les vents forts de renverser la cuve (voir le chapitre « Autres méthodes de retenue du réservoir » du chapitre 5).

Pour calculer les forces du vent, le facteur le plus important consiste à déterminer la vitesse du vent fondamentale (ou nominale) sur le site. Cette information se trouve généralement sur les cartes isotaques des normes et règlements de construction propres à la région. L'exposition est tout aussi importante, notamment si la balance est perchée sur une falaise ou fait face à un vaste plan d'eau ouvert, des sebkas, etc? La construction de la balance doit être conforme aux codes d'urbanisme locaux. Par ailleurs, de nombreux pays exigent que les travaux de conception soient confiés à des ingénieurs habilités à exercer. Selon Mettler-Toledo, la conception résistante aux vents doit être réalisée par des professionnels expérimentés et bénéficiant d'une certification locale, d'après les règlements en vigueur selon le cas ; Les fiches techniques énumèrent les caractéristiques du capteur et du module de pesage afin de réaliser cette analyse.

Performances de la balance

Lorsque le vent souffle sur une balance, les relevés de zéro et de l'étendue de mesure peuvent être affectés, qu'ils soient positifs ou négatifs. Un vent constant peut générer un décalage constant dans les relevés de zéro et de l'étendue de mesure ; toutefois, une rafale de vent est plus caractéristique car elle engendrerait de l'instabilité dans les relevés de zéro et de l'étendue de mesure de la balance ; ce phénomène peut au mieux créer une légère perturbation rendant difficile le fonctionnement de la balance et au pire, causer de graves erreurs dans les poids relevés. Le vent peut affecter une balance de plusieurs façons :

1. Le vent qui souffle à l'horizontale contre l'un des côtés de la balance peut entraîner un transfert de charge entre les modules de pesage comme cela a été expliqué au point 2 du chapitre précédent ; le vent peut causer une surcharge chez certains modules de pesage, ce qui peut affecter l'exactitude des poids relevés. En raison des tolérances de fabrication, il existe une variation des charges nominales pour tous les capteurs de pesage ; dans les fiches techniques, cela se traduit par l'ajout d'une valeur comprise entre 0,1 et 5 % précédée de \pm après la charge nominale en mV/V. Si le décalage n'est pas réglé (ce qui est courant sur les balances pour cuves qui pèsent des matériaux autostabilisateurs comme les liquides), le poids transféré ne sera probablement pas le même en raison de cette variation de la sortie mV/V des capteurs de pesage. Il est possible de réduire ces erreurs en optant pour des capteurs de pesage dotés d'une faible tolérance mV/V et en ajustant le décalage (avec une J-Box de coupure) avant l'étalonnage. Les capteurs de pesage de Mettler-Toledo employés dans les modules de pesage sont automatiquement réglés afin que la tolérance soit de $\pm 0,25$ % ou mieux. Le 0745A qui se trouve dans le Flexmount et le Centerlign est réglé à $\pm 0,1$ %.
2. Le vent qui souffle horizontalement peut également produire des forces avec un composant vertical sur les surfaces du haut et du bas de la balance. Si les surfaces du haut et du bas étaient exactement symétriques et possédaient des configurations de circulation identiques, les forces verticales qui en résulteraient seraient égales et opposées et s'annuleraient. Mais de telles conditions n'existent jamais, en particulier sur les appendices comme les mélangeurs, les tuyaux, les portes d'accès et les pieds-supports. Il est difficile de quantifier ces forces en pratique ; La meilleure méthode consiste à abriter la balance ou à l'installer à l'intérieur du bâtiment, ce qui est toujours recommandé pour obtenir la meilleure précision possible (voir le chapitre « Effets thermiques » ci-dessous). Une cuve située du côté sous le vent d'un bâtiment n'est pas nécessairement protégée contre les effets du vent ; la circulation de l'air sur le bâtiment peut créer un gradient de pression à l'ombre du vent et une force verticale nette sur la balance.
3. Si le vent souffle en formant un angle, la force verticale nette qui s'exerce sur la balance en affecte directement les relevés. Cela peut se produire si la balance se trouve sur un terrain en pente ou si des bâtiments ou d'autres obstacles modifient la direction du vent. Un problème semblable survient si un ventilateur ou un système CVCA souffle de l'air par le haut sur le plateau des balances industrielles ou des balances de laboratoire de faible capacité.
4. Sur les grandes balances à bascule, si le vent s'engouffre par le dessous, la pression peut augmenter et soulever la bascule. Protégez la balance en la plaçant dans une fosse à parois intacts aux quatre côtés.

Résistance sismique

Les forces sismiques provoquées par les tremblements de terre représentent les forces externes les plus intenses pouvant toucher les balances de cuves et de silos. Un séisme représente un mouvement soudain de la terre qui peut appliquer des forces de grande amplitude aux structures humaines. Les séismes peuvent résulter de violentes éruptions volcaniques, mais le plus souvent malheureusement, ils se produisent le long des plaques tectoniques. Dans la figure 4-2, chaque point représente un séisme de magnitude 4 minimum enregistré sur une période de 5 ans ; en général, le schéma des points coïncide avec les limites de la plaque tectonique. Les plaques tectoniques tentent parfois de glisser les unes contre les autres, horizontalement ou verticalement, ce qui provoque des frictions entre les plaques sur de longues périodes ; de l'énergie potentielle s'accumule jusqu'à ce que les frictions soient surmontées et un glissement se produit soudainement, ce qui génère un séisme. Les ondes sismiques se diffusent depuis l'épicentre, ce qui crée des mouvements horizontaux de la terre et des ondes en surface ; les séismes génèrent ainsi des mouvements horizontaux et verticaux et les forces correspondantes dans les infrastructures et le matériel au sol.

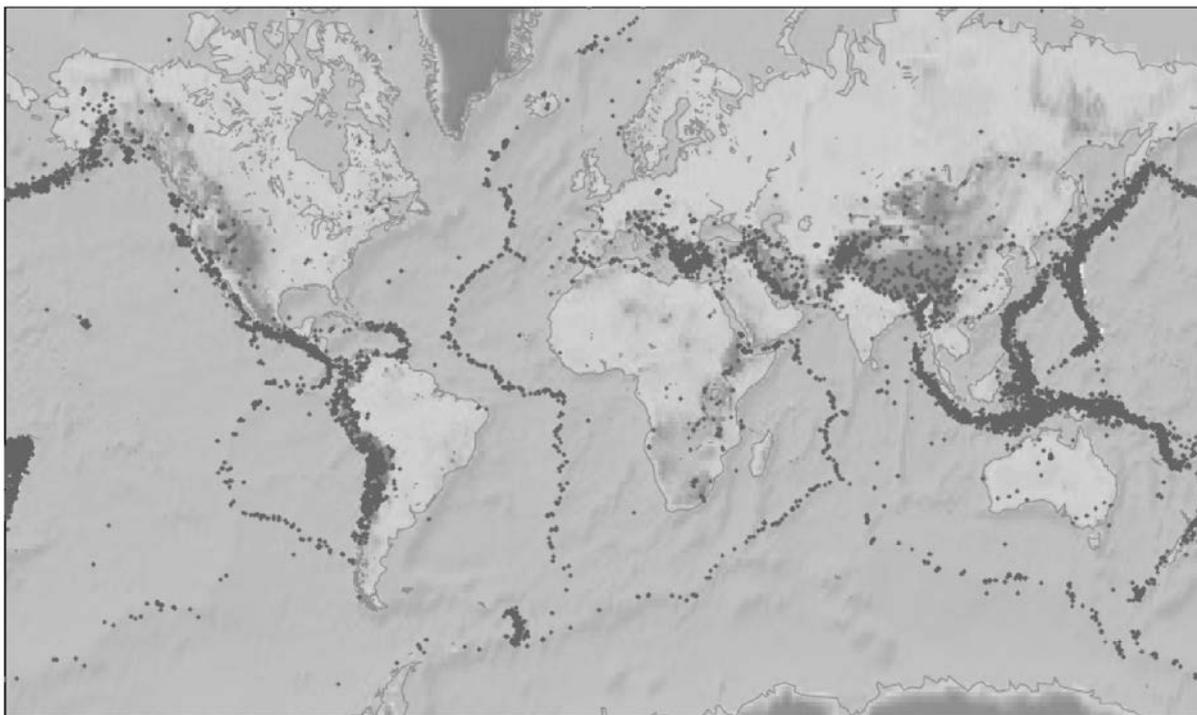


Figure 4-2, Séismes de magnitude 4 minimum enregistrés sur une période de 5 ans

Source : Iris Consortium

Les règles parasismiques ont considérablement évolué ces 40 dernières années et continuent d'évoluer chaque fois que les leçons sont tirées d'un séisme majeur. Il existe de nombreux règlements de construction parasismique dans le monde entier, notamment le code international de construction (International Building Code) publié par l'ICC répandu aux États-Unis tandis que la norme EN1998 Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes publié par le CEN est employée dans toute l'Europe. Les concepteurs des cuves doivent tenir compte des conséquences des effets hydrodynamiques du ballonnement des liquides dans la cuve ; il existe des règlements écrits traitant spécifiquement de ce problème. Le Tableau 4-1 énumère d'autres règles relatives aux cuves surélevées.

Numéro	Titre	Publié par
EN1998-4	Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes Partie 4 : Silos, cuves et canalisations	CEN
D100	Cuves en acier au carbone soudé pour le stockage d'eau	AWWA
D103	Cuves en acier boulonnées enduites en usine pour le stockage de l'eau	AWWA
Directive de NZSEE	Recommandation pour la conception parasismique des cuves de stockage	NZSEE
ACI 350.1	Conception parasismique des structures en béton contenant des liquides et commentaires	ACI

Tableau 4-1 : Codes de conception parasismique des cuves surélevées

Les séismes éclatent le plus souvent loin des zones de population et d'industrialisation mais il existe encore de nombreuses exceptions. Si la balance se trouve dans une régie par une réglementation parasismique, elle doit respecter les règles de construction définies. Il convient de tenir compte de nombreux facteurs, notamment la gravité et la nature du séisme auquel la construction doit résister, la distance par rapport aux lignes de failles connues, le type et la profondeur du sol/ de la roche sur le site de la balance, le type de fondation et la position de la balance dans le bâtiment/la structure, les dimensions et la configuration de la balance, la toxicité des matières stockées et l'état attendu de la balance après le séisme. Dans de nombreux pays, la loi exige que les constructions parasismiques soient confiées à des ingénieurs agréés. Selon Mettler-Toledo, la conception parasismique doit être réalisée par des professionnels expérimentés et bénéficiant d'une certification locale, d'après les règlements en vigueur selon le cas ; Les fiches techniques énumèrent les caractéristiques du capteur et du module de pesage afin de réaliser cette analyse.

Charge dynamique

La charge dynamique d'une balance peut être accidentelle ou inhérente à son fonctionnement. Il faut en tenir compte lors de la phase de conception, surtout lors du développement des balances à trémie, à bascules et des balances pour convoyeur. Elle est due à un changement brutal du poids de la balance causé par la chute ou le dépôt d'un objet sur la balance. Cela se voit notamment pendant la pesée des ferrailles qui nécessite le chargement de la balance à l'aide d'un capteur électromagnétique de même que lorsque les balances de plancher sont employées pour peser des pièces moulées abaissées à l'aide d'un pont roulant. Si les forces dynamiques sont suffisamment intenses, il faudra installer des capteurs de pesage de plus grande capacité ou prendre les mesures adéquates pour limiter les charges.

L'évaluation de la charge dynamique causée par la chute d'un objet exige de connaître le poids de l'objet en question, la distance verticale de la chute, le poids à vide de la balance, le nombre de capteurs de pesage ainsi que la capacité et la déformation nominales de ces derniers. Les fiches techniques de METTLER TOLEDO contiennent ces informations.

L'évaluation de la charge dynamique causée par l'abaissement d'un objet (courant dans les application de chargement par grue) exige de connaître le poids de l'objet en question, la vitesse d'abaissement, le poids à vide de la balance, le nombre de capteurs de pesage ainsi que la capacité et la déformation nominales de ces derniers.

Calibrez les capteurs/modules de pesage comme à l'accoutumée conformément au Chapitre 6, Modules de pesage par compression ou le Chapitre 7, Modules de pesage par traction. Vérifiez ensuite si la charge dynamique peut les endommager. Identifiez le capteur de pesage possédant le pire régime. Appliquez l'une des équations suivantes pour évaluer la charge maximale appliquée à ce capteur en raison de la chute ou de l'abaissement de charges.

Équation pour une chute de charge :

$$M_{\text{MAX}} = M_2 + M_1 \times \left[1 + 1 + \frac{2 \times H \times \text{R.C.}}{(M_1 + M_2) \times \Delta} \right] \quad (1)$$

Équation pour un abaissement de charge :

$$M_{\text{MAX}} = M_2 + M_1 \times \left[1 + 1 + \frac{V^2 \times \text{R.C.}}{(M_1 + M_2) \times \Delta} \right] \quad (2)$$

Où :

M_{MAX} = Charge maximale en kg sur le pire capteur de pesage causée par la chute ou l'abaissement de charges.

M_1 = Part de la charge tombée ou abaissée en kg portée par le pire capteur de pesage.

M_2 = Part du poids mort de la balance en kg portée par le pire capteur de pesage.

H = Hauteur en mm à laquelle l'objet a chuté.

R.C. = Capacité nominale (E_{max}) du capteur de pesage en kg. Convertissez les autres unités en kg si besoin est.

Δ = Déformation en mm du capteur de pesage à R.C.. Voir la section « Utilisation de tampons amortisseurs » ci-dessous si des tampons sont utilisés.

V = Vitesse en mm/s à laquelle l'objet est abaissé.

g = Accélération due à la gravité = 9 810 mm/s².

M_{MAX} doit être inférieur à la capacité nominale du capteur ou module de pesage exprimée en kg. Ces équations aboutissent à des résultats prudents dans les cas où la structure de la balance est fortement déformée en raison par exemple de la chute d'une charge au centre d'une balance de plancher agréée à 4 capteurs de pesage. Les équations peuvent s'appliquer aux capteurs de pesage seuls. De manière générale, la déformation d'un module de pesage est considérée comme étant celle du capteur de pesage correspondant. Employez les unités de mesure de manière cohérente (lb, in, in/s et in/s² ou kg, mm, mm/s et mm/s²).

Si une protection supplémentaire contre les charges dynamiques est nécessaire, l'une des solutions consiste à choisir un capteur/module de pesage de plus grande capacité ; vous pouvez aussi choisir l'une des options suivantes :

- Modifiez le processus afin que les objets soient placés sur la balance avec une charge dynamique plus faible.
- Broyez ou écrasez les matières afin de réduire la taille des blocs.
- Ajoutez de la masse à la bascule de la balance.
- Utilisez des matériaux qui absorbent les chocs comme des tampons amortisseurs, des ressorts hélicoïdaux, des traverses de voie ferrée ou du sable compacté pour atténuer la puissance des chocs.

Exemple: les unités impériales

Une balance de plancher a un poids mort de 400 lb et est chargée avec un pont roulant dont la vitesse de descente est de 3 in/s. Elle est conçue pour accueillir n'importe où sur sa structure une seule charge de 1 500 lb. Quatre Centerligns de 5 000 lb sont proposés pour cette application. Vérifiez que la charge dynamique n'endommagera pas les capteurs de pesage.

M_1 = 1 500 lb (M1 peut être abaissé par un seul module de pesage)

M_2 = 400/4 = 100 lb (le poids mort est réparti uniformément entre 4 modules de pesage).

R.C. = 5 000 lb

Δ = 0,020 inches de la fiche technique 0745A (le capteur de pesage utilisé dans Centerlign).

V = 3 in/s

En appliquant l'équation (2)

$$M_{\text{MAX}} = 100 + 1\,500 \times \left[1 + 1 + \frac{3^2 \times 5\,000}{386 \times (1\,500 + 100) \times 0,020} \right]$$

$$M_{\text{MAX}} = 4\,832 \text{ lb}$$

Ce résultat est acceptable et inférieur à la capacité nominale du module de pesage.

Utilisation de tampons amortisseurs

L'insertion de tampons amortisseurs en élastomère entre les plateaux supérieurs du module de pesage et le pont-bascule permet d'atténuer la charge dynamique transmise par les capteurs de pesage en augmentant la déformation de la balance sous la charge. Les équations (1) et (2) peuvent inclure ce phénomène. Il suffit d'ajouter la déformation du tampon amortisseur dans la déformation du capteur de pesage, d'où :

Δ = Déformation du capteur de pesage à R.C. + R.C. + Déformation du tampon amortisseur /à R.C du capteur de pesage

Pour déterminer la déformation du tampon amortisseur, consultez le schéma Configuration dimensionnelle générale pour les tampons. Pour chaque tampon, la déformation sera exprimée en in/lb et en mm/kg. Multipliez cette valeur par la capacité nominale du capteur de pesage pour connaître la déformation du tampon amortisseur à la capacité nominale du capteur de pesage. L'exemple suivant illustre l'utilisation de tampons amortisseurs. Vous pouvez télécharger tous les schémas sur www.mt.com. Pour accéder aux schémas des tampons amortisseurs, consultez le site Internet du module de pesage correspondant.

Exemple : les unités métriques

Une balance à trémie a une forme carrée dans la vue en plan et est conçue pour résister à une chute de charges de 200 kg de 2,5 m en son centre. Suggestion : 4 x Pinmounts de 15 000 kg disposés symétriquement. Le poids mort de la trémie est de 6 000 kg. Vérifiez que la charge n'endommagera pas les capteurs de pesage.

$M_1 = 200/4 = 50$ kg (M1 est réparti uniformément entre 4 modules de pesage).

$M_2 = 6\ 000/4 = 1\ 500$ kg (le poids mort est réparti uniformément entre 4 modules de pesage).

R.C. = 15 000 kg

$\Delta = 0,25$ mm provenant de la fiche technique SLC610 (le capteur de pesage utilisé dans Pinmount).

H = 2 500 mm

En appliquant l'équation (1)

$$M_{MAX} = 1\ 500 + 50 \times \left[1 + \frac{2 \times 2\ 500 \times 15\ 000}{(50 + 1\ 500) \times 0,25} \right]$$

$$M_{MAX} = 23\ 547 \text{ kg}$$

Ce résultat n'est pas acceptable et est supérieur à la capacité nominale du module de pesage.

Considérez l'ajout de tampons amortisseurs pour résoudre ce problème. Dans le schéma du tampon amortisseur Pinmount, sa déformation est de $3,69 \times 10^{-5}$ mm/kg de charge appliquée. Aussi, à la capacité nominale du capteur de pesage, la déformation s'élève à $3,69 \times 10^{-5} \times 15\ 000 = 0,55$ mm. Comme indiqué précédemment, il faut modifier Δ comme suit :

Δ = Déformation du capteur de pesage à R.C. + Déformation du tampon amortisseur à R.C. du capteur de pesage.

$\Delta = 0,25 + 0,55 = 0,80$ mm.

Avec cette valeur, M_{MAX} devient :

$$M_{MAX} = 1\ 500 + 50 \times \left[1 + \frac{2 \times 2\ 500 \times 15\ 000}{(50 + 1\ 500) \times 0,80} \right]$$

$$M_{MAX} = 13\ 847 \text{ kg.}$$

M_{MAX} est maintenant inférieur à la capacité nominale du module de pesage ; la valeur est acceptable.

Vibrations

Si une balance vibre en continu, elle peut ne pas retrouver une stabilité suffisante pour fournir un relevé exact. Les indicateurs de METTLER TOLEDO intègrent des systèmes de filtrage qui éliminent les effets des vibrations. En installant un module de pesage, vous devez prendre les mesures adéquates pour réduire les vibrations internes ou externes que l'indicateur est incapable d'éliminer.

Vibrations externes : Les vibrations issues des fondations ou de l'environnement peuvent affecter les balances. Il est conseillé de localiser la source des vibrations et de l'éliminer. La coupure de la dalle-plancher ou l'isolement du cadre support de la balance vis-à-vis des structures adjacentes peut empêcher les vibrations externes affectant négativement la stabilité de la balance.

Vibrations internes : Les vibrations survenant dans une cuve découlent généralement du ballonnement ou de l'agitation de liquides. Dans les cuves de grande taille, le ballonnement peut créer des vibrations basse fréquence qui sont difficiles à éliminer sur l'indicateur de la balance. Vous pouvez atténuer le ballonnement en intégrant des chicanes dans la cuve. Si un agitateur à moteur est fixé à la cuve de façon permanente, il faudra peut-être envisager d'ajouter des tampons amortisseurs (disponibles chez METTLER TOLEDO) lors du montage des modules de pesage afin de minimiser les vibrations internes. Il est possible d'éviter ces problèmes en permettant l'arrêt de l'agitateur pendant les prises de mesure.

L'analyse des effets aléatoires des vibrations causées par le vent est difficile. Si l'exactitude des relevés est primordiale, il est recommandé d'installer la balance à l'intérieur d'un bâtiment ou de la protéger du vent. Si une cuve est installée à l'extérieur, elle doit pouvoir atténuer les forces verticales liées au vent.

Effets thermiques

Une balance et ses composants de pesage peuvent causer des changements thermiques pour de nombreuses raisons :

- Variations de la température de l'air ambiant :
 - Journalières : variations constatées pendant 24 heures.
 - Saisonnières : variations de l'année.
- Conduction thermique provenant :
 - Chemises de réchauffage/refroidissement sur les cuves
 - Pesage de liquides chauffés
 - Réactions chimiques exothermiques dans les réacteurs
- Effets du chauffage par rayonnement provenant :
 - du soleil
 - du contenu de la balance pour cuve et/ou de sa chemise de réchauffage
 - Équipement industriel adjacent, notamment les fours

Les variations thermiques peuvent affecter une balance de trois façons :

1. Effet thermique sur la sortie du poids mort min. des composants de pesage.
2. Effet thermique sur la sensibilité des composants de pesage.
3. Dilatation/contraction thermique de la structure de la balance.

Effet thermique sur la sortie de poids mort minimale

Également appelé « Effet thermique sur le zéro » : cas où le relevé zéro des capteurs de pesage et du terminal (et donc de la balance) varie en fonction de la température. Les fiches techniques correspondantes proposent une description chiffrée de cet effet. Exemple : Effet thermique sur le poids mort minimal du capteur de pesage O745A est $\leq 0,002\%$ R.C./°C ; Cela signifie que le relevé zéro du capteur de pesage peut varier à hauteur de 0,001 % maximum de la capacité nominale pour une variation thermique en °C de 0,002 % de capacité nominale. La variation peut être positive ou négative.

Exemple :

Soit un capteur de pesage O745A de 220 kg présent dans un local où l'amplitude thermique peut atteindre 10 °C en 24 heures. Quelle est la variation maximale du relevé zéro en kg du capteur de pesage ?

D'après la fiche technique du O745A, l'effet thermique sur le poids mort minimum est de 0,002 % R.C./°C.

$$\text{Variation max. du zéro} = \frac{0,001 \times 500 \times 18 \text{ lb}}{100} \left[\frac{0,002 \times 220 \times 10 \text{ kg}}{100} \right] = 0,044 \text{ kg.}$$

La variation peut être positive ou négative.

Si une balance est vide et en veille, l'effet thermique sur le poids mort min. peut forcer l'écran à lire toute autre valeur que zéro. Si une pesée démarre, le poids sera erroné à hauteur de cette valeur. Il suffit de mettre la balance à zéro avant le début de la pesée pour éviter de telles erreurs. Vous pouvez aussi activer la fonction Automatic Zero Maintenance (AZM, Maintenance automatique du zéro) pour conserver automatiquement le point zéro.

L'effet thermique sur la sortie de poids mort minimal peut entraîner le déplacement du point zéro pendant une pesée et par conséquent un relevé erroné. Dans la pesée transactionnelle, le cycle de pesage est traditionnellement court, autour d'une minute. Cela signifie que les variations thermiques et les erreurs qui découlent de l'effet thermique sur le poids mort minimal sont mineures.

Les erreurs dues à l'effet thermique sur le poids mort minimal peuvent être importantes si :

1. Les durées de chargement de la balance sont longues.
2. Les durées de déchargement de la balance sont longues (balance pour pesée de sortie).
3. Les balances demeurent chargées pendant longtemps, par exemple les silos de stockage.

Ces erreurs peuvent être réduites en :

1. Recourant à des composants de pesage de qualité à compensation thermique. Préférez ceux offrant le plus faible effet thermique sur le poids mort minimal.
 - a. En comparant les capteurs de pesage aux agréments métrologiques, choisissez ceux qui ont la plus faible valeur Vmin. Remarque : Les valeurs Vmin HB44 de classe III L ne sont pas directement comparables. Il faut les multiplier par 3 avant de les comparer aux valeurs Vmin de classe III.
2. Voir l'exemple ci-dessus. L'effet thermique sur le poids mort minimal dépend de la capacité nominale du capteur de pesage et demeure inchangé, quelle que soit la charge pesée. Pour cela, utilisez le capteur de pesage à la capacité la plus faible, en ligne avec les autres exigences telles que la robustesse, etc. Consultez le chapitre 6, Modules de pesage par compression ou le chapitre 7, Modules de pesage par traction pour en savoir plus sur le dimensionnement des capteurs de pesage.
3. Réduisant les durées de chargement (balance pour pesée d'entrée) ou de déchargement (balance pour pesée de sortie).
4. Minimisant les variations de la température de l'air ; Installez la balance à l'intérieur d'un bâtiment, ou mieux dans un local climatisé.
5. Minimisant la conduction thermique vers les composants de pesage.
 - a. Ne pas monter le terminal et la boîte à bornes près d'une cuve chauffée.
 - b. Les longs piètements (ou les longues tiges de suspension dans le cas d'installations sous tension), réduisent la conduction thermique entre la cuve et les modules de pesage. En outre, la pose de tampons d'isolation thermique entre les piètements d'une cuve et les modules de pesage par compression permet de renforcer l'isolation.
6. Réduction des effets du chauffage par rayonnement en insérant des écrans thermiques entre la source et les composants de pesage. Dans la mesure du possible, évitez de placer les balances à côté de sources de chaleur par rayonnement comme les fours.

* Mettler Toledo propose deux types de tampons d'isolation thermique : en acétal et en polyéthér-imide (PEI). Ils fonctionnent tous deux de la même façon mais le PEI a une conductivité thermique plus faible et résiste à des températures plus élevées ; pour en savoir plus, consultez les schémas de cotes sur mt.com/.

Effet thermique sur la sensibilité

Également appelé Effet thermique sur l'étendue de mesure, ce terme désigne le cas où la sensibilité (ou étalonnage de l'étendue de mesure) des capteurs de pesage et du terminal (et donc de la balance) varie en fonction de la température. Les fichiers techniques correspondantes proposent une description chiffrée de cet effet. Exemple : Effet thermique sur. la sensibilité pour le capteur de pesage 0745A est $\leq 0,0009 \%$ A.L./°C ; Cela signifie que le relevé du capteur de pesage peut varier à hauteur de 0,0005 % maximum de la capacité appliquée (A.L.) pour une variation thermique en °C de 0,0009 % de capacité appliquée. La variation peut être positive ou négative.

Exemple :

Si un seul capteur de pesage SLS410 de 2,5 tonnes est utilisé pour peser 2 000 kg de charge appliquée de façon répétée et s'il est monté dans une pièce où l'amplitude thermique peut atteindre 10 °C en 24 heures, quelle est l'erreur maximale en kg causée par l'effet thermique sur la sensibilité ?

D'après la fiche technique de SLS410, l'effet thermique sur la sensibilité est de 0,0014 % A.L./°C

$$\text{Erreur max.} = \frac{0,0008 \times 4\,000 \times 18 \text{ lb}}{100} \left[\frac{0,0014 \times 2\,000 \times 10 \text{ kg}}{100} \right] = 0,28 \text{ kg}$$

La variation peut être positive ou négative.

Ces erreurs peuvent être réduites en :

1. Recourant à des composants de pesage de qualité à compensation thermique. Préférez ceux offrant le plus faible effet thermique sur la sensibilité. Après avoir comparé les composants à partir des agréments métrologiques, choisissez les composants possédant la classe de précision la plus élevée puis le plus grand nombre d'intervalles de vérification (nmax) dans cette classe. Par exemple, la classe III HB44 est supérieure à la classe III L tandis que la classe III 5 000 e est supérieure à la classe III 3 000 e. De même, la classe III OIML R76-1 III est supérieure à la classe III tandis que la classe III 6 000 e est supérieure à la classe III 3 000 e. Pour les capteurs de pesage OIML R60, la classe C est supérieure à la classe D et C6 est supérieur à C3.
2. Consultez également les recommandations 4 à 6 décrites sous la section **Effet thermique sur le poids mort minimal ci-dessus**.

Dilatation/contraction thermique de la structure de la balance

La dilatation/contraction thermique peut provoquer :

1. Le liage mécanique de la balance
2. Des forces extérieures horizontales et des moments à appliquer aux capteurs de pesage
3. Tuyaux pour exercer des forces axiales sur une balance de cuve

En cas de contraction/dilatation d'une balance, la balance peut se lier aux structures adjacentes ou situées à l'intérieur du module de pesage. Une balance de plancher en fosse peut se dilater contre le mur de la fosse même s'il n'y a pas assez d'espace. Si une balance fixée sur des modules de pesage avec contrôle charge utile/poids mort se dilate jusqu'à dépasser la course du plateau supérieur préconisée, le liage aura lieu à l'intérieur des modules de pesage. Dans les deux cas, la balance dynamique se lie contre une structure faux capteur; à mesure que la charge est appliquée, la balance est bloquée contre tout déplacement vertical, ce qui pourrait générer des erreurs de relevés grossières.

Si une balance est solidement reliée à des capteurs de pesage, sa contraction ou sa dilatation peut générer des forces latérales ou des moments indésirables sur les capteurs de pesage. Cela peut se produire si une balance est solidement boulonnée à des capteurs de pesage ou à des modules de pesage mal conçus dont la suspension insuffisante engendre des mouvements latéraux. Pour en savoir plus, lisez le paragraphe Application de force aux capteurs de pesage du Chapitre 5.

Les variations thermiques peuvent entraîner la dilatation et la contraction des tuyaux, et par conséquent des forces axiales sur la balance de la cuve. Ces forces peuvent affecter négativement l'exactitude de la balance si les tuyaux sont connectés verticalement à la cuve (pour en savoir plus, voir également le paragraphe Pose des tuyaux dans le chapitre 5).

Vous pouvez appliquer l'équation suivante pour calculer la variation de la longueur d'un objet en fonction de la variation de température :

$$\Delta L = \alpha \times L \times \Delta T$$

Où :

ΔL = Variation de la longueur en mm

α = Coefficient de dilatation linéique en mm/mm °C ; voir le Tableau 4-2 ci-dessous.

L = Longueur originale en mm

ΔT = Variation de température en °C

Matériau	Coefficient de dilatation linéique (α)	
	en °F	mm/mm °C
Alliages d'aluminium	12,8 x10 ⁻⁶ – 13,2 x10 ⁻⁶	23,0 x10 ⁻⁶ – 23,8 x10 ⁻⁶
Acier inoxydable 304	9,6 x10 ⁻⁶	17,3 x10 ⁻⁶
Acier inoxydable 316	8,9 x10 ⁻⁶	16,0 x10 ⁻⁶
Acier inoxydable 17-4PH	6,0 x10 ⁻⁶	10,8 x10 ⁻⁶
Acier doux	6,5 x10 ⁻⁶	11,7 x10 ⁻⁶
Acier allié 4340	6,3 x10 ⁻⁶	11,3 x10 ⁻⁶

Tableau 4-2, Coefficient de dilatation linéique de matériaux courants

Exemple 1

Un tuyau en acier inoxydable 304 a une longueur de 1 525 mm et sa température varie de 21 °C à 96 °C. Quelle est la variation de la longueur du tuyau ?

D'après le tableau 4-2, $\alpha = 9,6 \times 10^{-6}$ in/in °F [$17,3 \times 10^{-6}$ mm/mm °C]

$$L = 1\,525 \text{ mm}$$

$$\Delta T = 96 - 21 = 75 \text{ °C}$$

$$\Delta L = \alpha \times L \times \Delta T$$

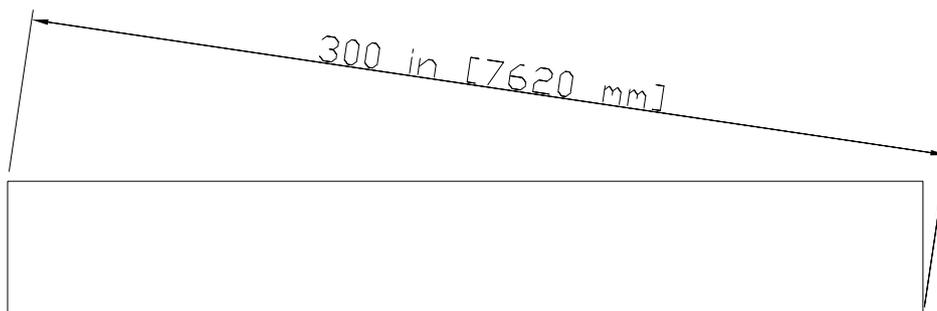
$$\Delta L = 9,6 \times 10^{-6} \times 60 \times 135 \quad [\quad 17,3 \times 10^{-6} \times 1\,525 \times 75 \quad]$$

$$\Delta L = 2,0 \text{ mm}$$

La longueur du tuyau augmente de 2,0 mm.

Exemple 2

Une balance pour convoyeur en acier doux mesure 7 620 mm en diagonale (la distance maximale entre 2 modules de pesage ; voir l'illustration). La balance est montée à l'extérieur et la température extérieure varie de -18 °C à 49 °C. Quelle sera la contraction et la dilatation de la diagonale en prenant 21 °C comme point de référence ?



D'après le tableau 4-2, $\alpha = 6,5 \times 10^{-6} \text{ in/in } ^\circ\text{F}$ [$11,7 \times 10^{-6} \text{ mm/mm } ^\circ\text{C}$]

$L = 7\,620 \text{ mm}$

En ce qui concerne la dilatation seule :

$$\Delta T = 49 \text{ }^\circ\text{C} - 21 \text{ }^\circ\text{C} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta L = \alpha \times L \times \Delta T$$

$$\Delta L = 6,5 \times 10^{-6} \times 300 \times 50 \quad [11,7 \times 10^{-6} \times 7\,620 \times 28]$$

$$\Delta L = 2,5 \text{ mm}$$

La balance va se dilater de 2,5 mm en diagonale lorsque la température augmente de 21 °C à 49 °C.

En ce qui concerne la contraction seule :

$$\Delta T = 21 \text{ }^\circ\text{C} - (-18 \text{ }^\circ\text{C}) = 39 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta L = \alpha \times L \times \Delta T$$

$$\Delta L = 6,5 \times 10^{-6} \times 300 \times 70 \quad [11,7 \times 10^{-6} \times 7\,620 \times 39]$$

$$\Delta L = 3,5 \text{ mm}$$

La balance va se contracter de 3,5 mm en diagonale lorsque la température chute de 21 °C à -18 °C.

Exemple 3

Si l'on tient compte uniquement de la course du plateau supérieur, est-ce le module Flexmount ou Pinmount le plus adapté à la balance de l'exemple 2 ci-dessus ?

Flexmount :

Dans la configuration Flexmount, le module de pesage à axe fixe ne permet aucun mouvement horizontal dans ce coin. La contraction/dilatation en diagonale doit être accompagnée par le module de pesage de l'autre côté de l'axe fixe. Le Flexmount jusqu'à 2,2 t inclus de capacité permet une course de plateau supérieur de $\pm 3 \text{ mm}$. Il permettrait le scénario de dilatation ci-dessus mais pas la contraction ; il ne doit donc pas être retenu. Le Flexmount de 4,4 t convient car il permet une course de plateau supérieur de $\pm 4,6 \text{ mm}$.

Tenon et stabilisateurs :

Les stabilisateurs créent efficacement un angle fixe (tout comme le Flexmount) afin qu'un module de pesage puisse supporter la dilatation/contraction complète. Le Pinmount convient à la balance de l'exemple 2 car il offre une course de plateau supérieur de $\pm 5 \text{ mm}$.

Pinmount sans stabilisateurs :

Sans stabilisateurs, les Pinmounts situés à chaque extrémité de la diagonale peuvent accepter une dilatation/contraction de $\pm 5 \text{ mm}$ chacun. La dilatation/contraction totale possible sur la diagonale s'élève à $\pm 10 \text{ mm}$, soit beaucoup plus que ce que requiert l'exemple 2.

Humidité et corrosion

L'humidité ou les matériaux corrosifs d'un module de pesage peuvent affecter la durée de vie des capteurs de pesage. Les débris, tels que les feuilles et les salissures, accumulés à l'intérieur et autour des modules de pesage peuvent causer des problèmes. Plusieurs mesures permettent de minimiser les risques d'humidité et de corrosion :

- Assurer un drainage adéquat loin des modules de pesage.
- Dégager la neige des modules de pesage car en fondant elle introduira de l'humidité dans le système.
- Ne pas utiliser de cuves équipés de plateaux qui retiennent l'eau, la neige, les feuilles et autres débris qui ajouteront au système un poids sans compensation.
- À l'aide d'un tuyau, nettoyer régulièrement les cuves pour enlever les débris accumulés.
- Maintenir les câbles propres et en bon état. Les câbles ou les gaines de câbles endommagés peuvent laisser entrer de l'eau source de corrosion.
- Protégez les câbles en les insérant dans un conduit ou une enveloppe en PTFE.
- Placez les cuves (et les modules de pesage) loin des matériaux et produits chimiques corrosifs. Les effets combinés de la température, de l'eau et de l'air peuvent corroder les modules de pesage avoisinants. Si les cuves se trouvent près de substances quasi-corrosives, prévoyez des revêtements et des blindages protecteurs. Un débit d'air positif peut prévenir les dégâts causés par la corrosion.
- Conservez les outils, les matériaux et les détritres loin de la cuve et du système de pesage.

Le chapitre 10, Annexe 4, Types de boîtier NEMA/IP décrit en détails les classifications NEMA/IP relatives aux coffrets de protection électrique. Le chapitre 10, Annexe 6 fournit un Tableau des résistances chimiques.

Protection contre les surtensions et la foudre

Il convient d'installer des appareils de protection contre la foudre pour protéger les balances contre les dégâts causés par la foudre. Utilisez des appareils pour éviter que le courant produit par la foudre ne touche la masse à travers le capteur de pesage. Les appareils doivent fournir un autre cheminement à faible résistance vers la terre, à proximité de chaque module de pesage (voir la Figure 4-3).

- Vérifiez l'intégrité des installations de mise à la terre en place.
- Utilisez un système de mise à la terre en un point.

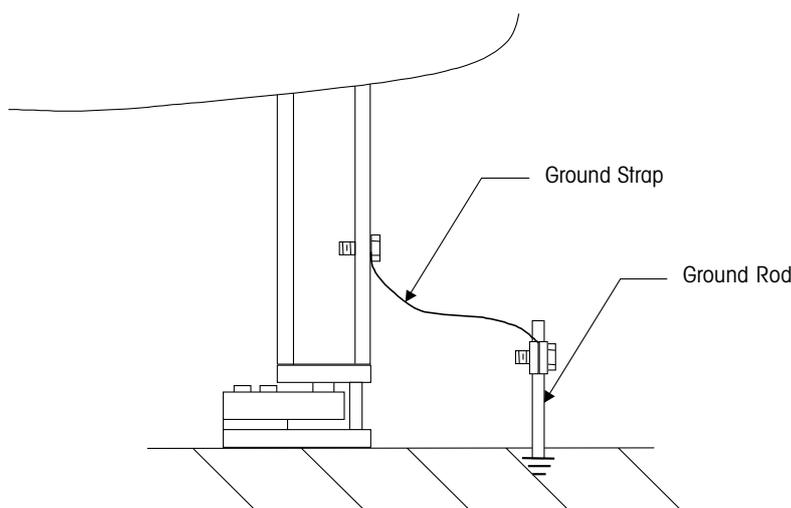


Figure 4-3 : Installation de mise à la terre pour un module de pesage

Les surtensions représentent de soudaines variations de tension ou de courant. Elles peuvent être dues à la foudre ou à d'autres équipements à fortes charges de moteur (chauffage, ventilation et conditionnement d'air, moteurs à vitesse variable, etc.). Un système d'alimentation sans coupure ou un conditionneur d'énergie permet d'éliminer les brusques montées en puissance mineures. Il est recommandé de protéger les modules de pesage contre les surtensions.

Module de pesage

Directives générales concernant l'installation

Application de force aux capteurs de pesage

Les capteurs de pesage à jauges dynamométrique sont suffisamment sensibles pour détecter les très faibles variations du poids. Il faut s'assurer qu'ils ne réagissent qu'au poids à mesurer et pas à d'autres forces. Pour obtenir des relevés précis, vous devez contrôler où et comment le poids est appliqué sur le capteur de pesage. Le capteur doit idéalement être positionné de telle sorte qu'il s'applique verticalement à toute l'étendue de mesure (voir la Figure 5-1).

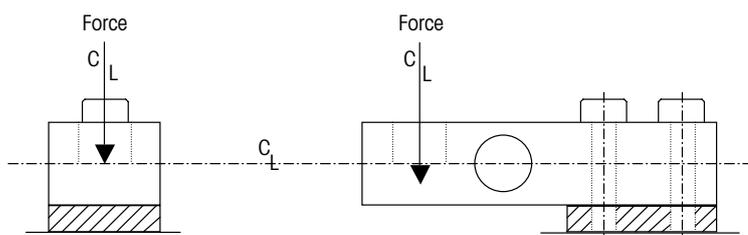


Figure 5-1 : Chargement idéal (la force est intégralement appliquée à la verticale)

Pour y parvenir, la cuve et le support du capteur de pesage doivent être à niveau, parallèles et infiniment rigides. Si une balance de cuve et son support sont conçus et posés avec soin, la balance peut adopter une excellente méthode de chargement. Dans le cas contraire, plusieurs types de forces peuvent en affecter l'exactitude. Les paragraphes suivants décrivent les problèmes de chargement que l'on rencontre fréquemment avec les balances de cuves.

Chargement angulaire

Le chargement angulaire a lieu lorsque la force appliquée à un capteur de pesage n'est pas tout à fait verticale. La force diagonale peut se définir comme la somme des composants verticaux et horizontaux. Sur un module convenablement conçu, le capteur de pesage décèle le poids (force verticale) mais pas la charge latérale (force horizontale).

La Figure 5-2a et la Figure 5-2b illustrent une application du module de pesage, avec le capteur de pesage ancré à des fondations. Dans la Figure 5-2a, le poids de la cuve exerce une force parfaitement verticale. En revanche, dans la Figure 5-2b, l'application de la force est angulaire. Le composant vertical (F) de cette force angulaire est normal et décelé par le capteur de pesage ; Elle est égale à la force appliquée de la Figure 5-2a. Le composant horizontal (charge latérale) = $F \times \text{tangente } \theta$.

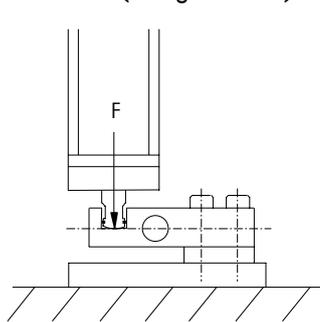


Figure 5-2a : Force verticale

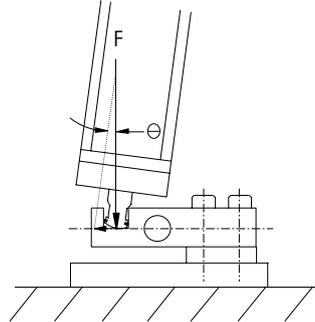


Figure 5-2b : Force angulaire

La Figure 5-3a et la Figure 5-3b montrent comment le chargement angulaire peut affecter un capteur de pesage ancré à la cuve pesée. La Figure 5-3a représente une installation idéale avec une force parfaitement verticale. Dans la Figure 5-3b, la force (F_N) qui convient au et qui est décelée par le capteur de pesage serait inférieure à la force verticale (F) appliquée au capteur de pesage de l'installation idéale. Dans ce cas : $F_N = F \times \text{cosinus } \theta$.

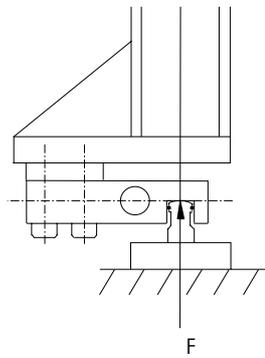


Figure 5-3a : Force verticale

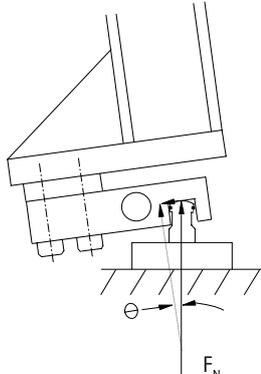


Figure 5-3b : Force angulaire

Charge excentrée

On parle de charge excentrée lorsqu'une force verticale est appliquée à un capteur de pesage à un point situé hors de son axe (voir la Figure 5-4). La dilatation ou contraction thermique et l'emploi d'un matériel de montage inadéquat peut causer ce problème. Le recours à un module de pesage qui compense la dilatation et la contraction thermique permet d'éviter ces problèmes de charge excentrée.

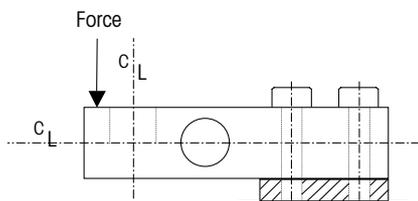


Figure 5-4 : Charge excentrée

Chargement latéral et en bout

Lors d'un chargement latéral et en bout, des forces horizontales sont appliquées sur le côté ou l'extrémité du capteur de pesage (voir la Figure 5-5). Elles peuvent être causées par la dilatation et contraction thermique, un alignement incorrect ou par le mouvement de la cuve lié à la charge dynamique. Les forces latérales et en bout peuvent influencer sur la linéarité et l'hystérèse de la balance. Dans les applications de charge statique, employez un module de pesage qui compense les mouvements thermiques. Un module de pesage avec une suspension par axe dynamométrique à centrage automatique convient davantage aux applications de charge dynamique.

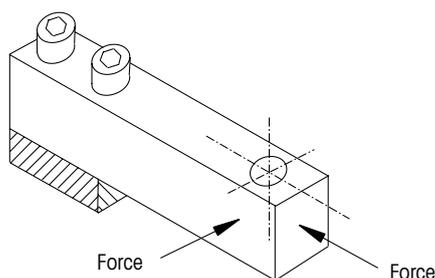


Figure 5-5 : Forces latérales et en bout appliquées à un capteur de pesage

Effort de torsion

L'effort de torsion survient lorsqu'une force latérale tord le capteur de pesage (voir la Figure 5-6). Il est provoqué par une déformation structurelle, une dynamique des systèmes, des mouvements thermiques ou un mauvais alignement du matériel de montage. L'effort de torsion réduit l'exactitude et la reproductibilité du système. Pour éviter ce problème, suivez les consignes adéquates concernant le support structurel et la pose. Recourez également à des systèmes de pesage qui compensent le mouvement de la cuve.

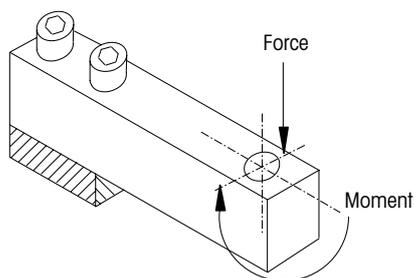


Figure 5-6 : Effort de torsion appliqué à un capteur de pesage

Conception de la cuve et du réservoir

La conception de la cuve peut en affecter son exactitude. Une nouvelle cuve devrait être conçue afin de ne pas se déformer sous le poids de son contenu et ne pas être soumise à des déséquilibres de pression, qu'elle soit pleine ou vide. Si vous convertissez une cuve en balance, vous devrez tenir compte de ces conditions.

Stabilité des balances par compression

Les modules de pesage sont conçus de sorte qu'ils introduisent correctement la charge dans le capteur de pesage tout en évitant des forces indésirables comme indiqué dans le paragraphe précédent. La Figure 5-7 représente une coupe transversale simplifiée vue du plateau supérieur du Centerlign, un module de pesage par compression standard.

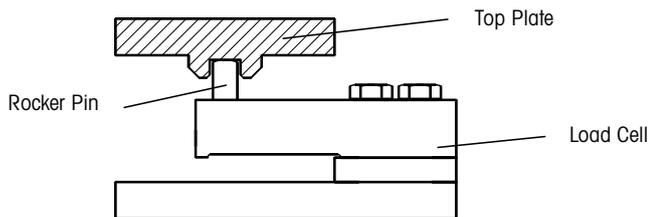


Figure 5-7 : Coupe transversale simplifiée du plateau supérieur du Centerlign

On y distingue le plateau supérieur sur le peson qui permet d'introduire la charge dans le capteur de pesage. La surface supérieure du peson a un rayon sphérique, ce qui implique que le plateau supérieur est soutenu en un seul point, de préférence le centre du plateau supérieur. En outre, les modules de pesage doivent être équipés d'un mécanisme permettant le déplacement horizontal du plateau supérieur en raison de la dilatation et de la contraction thermique. Dans ce cas, le peson en 5-7 inclinaisons déplace le plateau supérieur latéralement loin du centre. Ce phénomène a deux conséquences importantes :

1. Aucun moyen ne permet d'appliquer un moment au plateau supérieur pour l'empêcher de tourner hors du plan horizontal.
2. Le plateau supérieur a naturellement tendance à tourner hors du plan horizontal. Même si le plateau supérieur est placé au centre par le haut, le point de support ci-dessous peut être légèrement excentré en raison de la dilatation/contraction thermique, ce qui entraîne sa rotation par un couple. Ce phénomène s'accroît par les inévitables tolérances de pose et de fabrication.

Tous ces points sont réels sur tous les modules de pesage ; le concepteur des balances par compression doit en tenir compte :

- Un seul module de pesage par compression ne suffit pas pour soutenir une balance. Il en faut au moins trois. Dans la vue en plan, les modules de pesage ne peuvent pas suivre une ligne droite. Trois modules doivent être disposés en triangle et quatre modules former un rectangle, etc.
- La force verticale qui s'exerce au centre de gravité de la balance doit toujours se trouver dans les limites du plan horizontal définies par les points de support des plateaux supérieurs des modules de pesage ; elle ne doit jamais se trouver en-dehors de ces limites. Dans des conditions de pesage normales, il doit toujours exister une force descendante sur tous les modules de pesage. La capacité nominale des modules de pesage ne doit pas être dépassée pour ne pas endommager le capteur de pesage ; le centre de gravité doit idéalement être centré afin de répartir uniformément la charge de tous les modules de pesage.
- Comme dans la figure 5-8, les modules de pesage doivent être insérés entre des fondations solides et une balance robuste afin de maintenir les plateaux inférieur et supérieur horizontaux. Les fondations peuvent être en béton ou en charpente métallique. La structure de la balance peut être une plateforme en acier, une cuve ou une trémie qui apporte de la rigidité aux plateaux supérieurs du module de pesage. Si la cuve possède de longs piétements, ces derniers doivent être solides et contreventés (voir les Figures 5-15a et 5-15b ci-dessous).

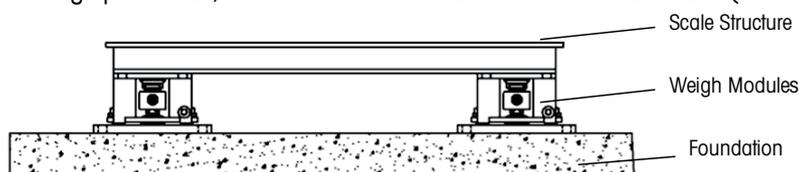


Figure 5-8 : Configuration classique de la balance (2 des 4 modules de pesage sont visibles)

- Les plaques de base ne peuvent pas reposer directement sur des roulettes ou des roues, comme dans la Figure 5-9. Des balances mobiles peuvent être construites mais il convient d'insérer un cadre rigide entre les roues/roulettes et les plaques de base du module de pesage.

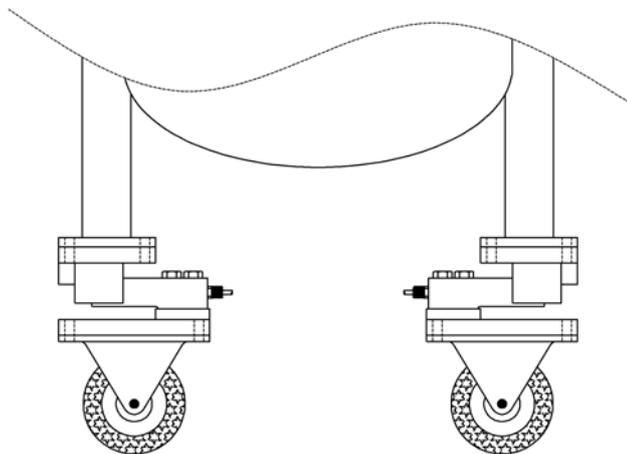


Figure 5-9 : Conception incorrecte de la balance de cuve mobile

- Le raccordement du plateau supérieur du module de pesage à la structure de la balance doit être solide et ne peut pas passer par une mince tige comme dans la Figure 5-10. C'est une conséquence du point 2 ci-dessus. Si le support du dessous est excentré par rapport au plateau supérieur, cela causera la courbure de la tige par un couple. Pour en savoir plus, voir également le chapitre Déformation du support ci-dessous.

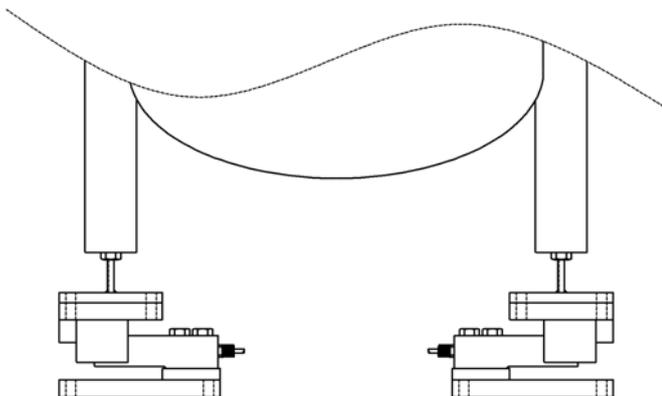


Figure 5-10 : Fixation inadéquate du piètement au plateau supérieur du module de pesage.

Intégrité structurelle

Une cuve, de même que son support, peut se déformer sous le poids de son contenu. Ceci peut avoir de graves conséquences si la cuve a un grand diamètre et si les piètements sont longs et ont tendance à se courber (voir la Figure 5-15a). Les modules de pesage peuvent compenser la déformation mineure de la cuve mais les déformations plus importantes de la cuve (plus de 0,5 degré par rapport au niveau) provoqueront des erreurs de non-linéarité et des pesées inexactes. Le concepteur doit veiller à ce que la déformation de la cuve se trouve dans les limites préconisées. Il est possible de corriger les déformations excessives en renforçant les piètements de la cuve ou en les reliant ensemble (voir la Figure 5-15b).

Conditions des poids test

Si vous prévoyez de calibrer une balance de cuve avec des poids test, vous devrez trouver un moyen de les suspendre à la cuve. Dans la plupart des cas, des anses de fixation réparties uniformément autour de la cuve suffisent. La Figure 5-11 illustre une anse de fixation à laquelle est suspendu un poids test. Utilisez un mécanisme de levage pour soulever/abaisser le poids.

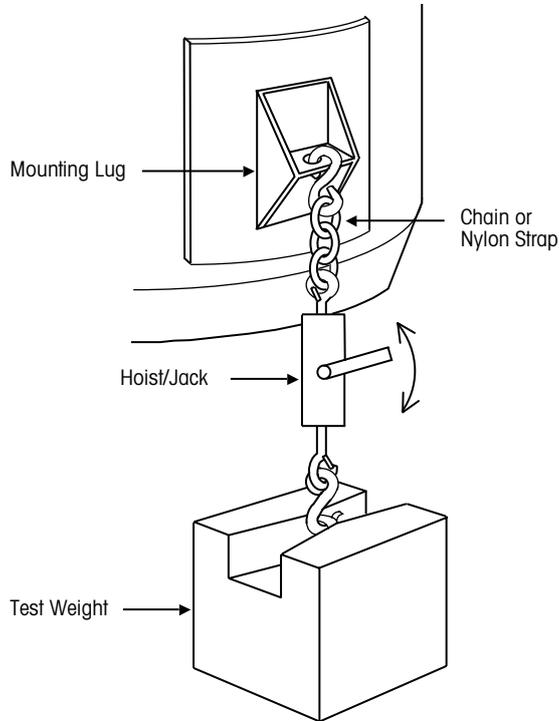


Figure 5-11 : Anses de fixation pour le poids test

Exigences du support structurel

Les consignes suivantes expliquent comment installer correctement les supports de la balance.

Montage du support du plateau

Les plateaux de fixation de chaque module de pesage doivent être soutenus sur toute leur surface lorsqu'ils sont fixés à la cuve et à la fondation. Comblez les écarts éventuels avec des cales en fer ou du coulis époxydique sans retrait. Pour en savoir plus sur le montage et le calage, voir le chapitre 6, Modules de pesage par compression.

Déformation du support

Étant donné que les capteurs de pesage se déforment à hauteur de 0,25 à 0,76 mm environ à la capacité nominale, ils doivent être sensibles à de très légers mouvements. Les déformations de la structure de la balance de cuve peuvent également affecter le poids indiqué par la balance. Une déformation excessive ou non-uniforme se traduira par des forces non-verticales indésirables sur les capteurs de pesage, ce qui réduit l'exactitude et la reproductibilité du système. La conception de la structure du module de pesage doit s'articuler autour des quatre exigences suivantes :

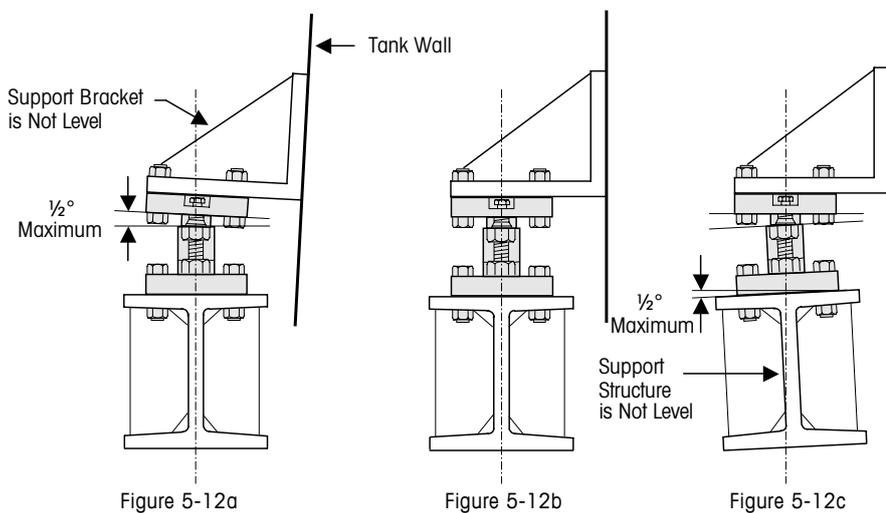
- Tous les modules de pesage doivent se trouver sur le même plan, à ± 3 mm
- Les plateaux supérieur et les plaques de base du module de pesage doivent être à niveau, à $\pm 1/2$ degré après la pose ; prévoyez des cales si nécessaire.
- Les plaques de base et les plateaux supérieurs du module de pesage ne doivent ni se déformer ni se tordre à plus de $\pm 1/2$ degré supplémentaire lorsque la capacité nominale est appliquée à la balance.
- La structure des plaques de base du module de pesage doivent se déformer uniformément.

Remarque :

$\pm 1/2$ degré hors horizontal équivaut à une hausse ou une chute de 2,54 cm pouces tous les 10 cm de cycle. Ainsi, si une plaque de base a une longueur de 20 cm, elle peut monter ou tomber de $(8/4) \times 1/32 = 1/16$ maximum sur sa longueur.

En unités métriques, $\pm 1/2$ degré équivaut à une montée ou chute de 1 mm tous les 125 mm de cycle. Ainsi, si une plaque de base a une longueur de 250 mm, elle peut monter ou tomber de $(250/125) \times 1 = 2$ mm maximum sur sa longueur.

Les trois figures suivantes montrent comment la déformation du support affecte le module de pesage.



- Figure 5-12a : Le support n'est pas de niveau, aussi des forces latérales s'appliquent au capteur de pesage.
- Figure 5-12b : Le support et la structure sont correctement alignés.
- Figure 5-12c : Le support n'est pas de niveau, aussi des forces latérales s'appliquent au capteur de pesage.

La déformation de la structure d'une balance de cuve doit être minimale. Toutes les déformations doivent être uniformes sur tous les points de support (voir la Figure 5-13). Une déformation excessive peut entraîner la liaison des tuyaux d'entrée et de sortie, ce qui crée des erreurs de linéarité. Une déformation non-uniforme peut provoquer des erreurs de reproductibilité et de mise à zéro dues au fluage ; elle peut aussi entraîner le transfert du poids vers les modules plus rigides ; des imprécisions de pesage peuvent survenir si les sorties du capteur de pesage ne concordent pas avec une boîte de dérivation de coupure. Cela peut conduire à une surcharge du capteur de pesage dans les cas extrêmes.

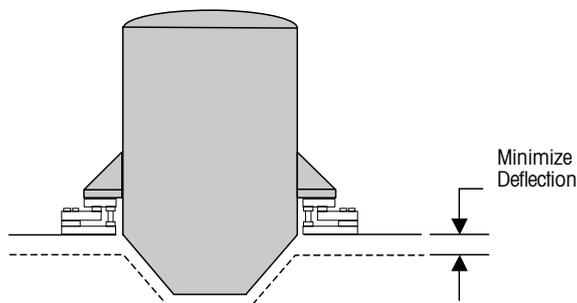
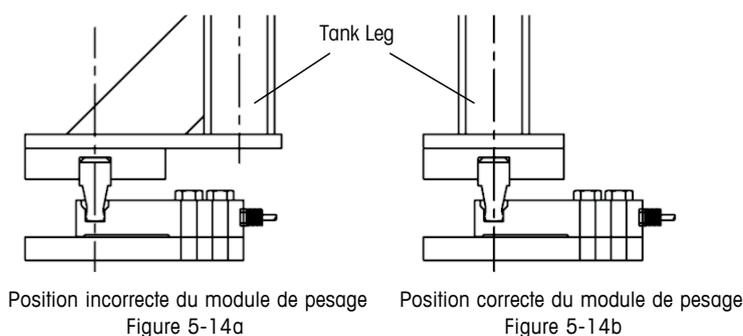


Figure 5-13 : Déformation de la structure du module de pesage

Le module de pesage ne doit pas être placé comme dans la Figure 5-14a afin d'éviter le flambage du piétement de la cuve. La Figure 5-14b illustre le positionnement adéquat. Le module de pesage se place de telle sorte que le point de support du plateau supérieur se trouve sur l'axe du piétement.



Dans certains cas, les piètements de la cuve s'écartent ou gondolent lorsque le poids est ajouté à la cuve (voir la Figure 5-15a). Ces piètements peuvent être renforcés pour les maintenir rigides (voir la Figure 5-15b).

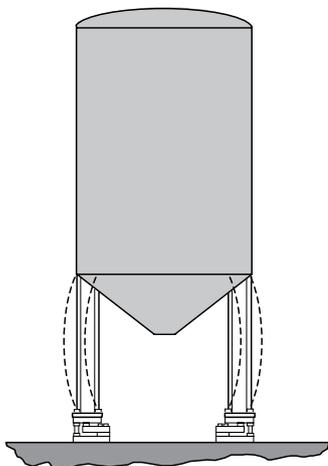


Figure 5-15a :
Déformation des piètements de la cuve

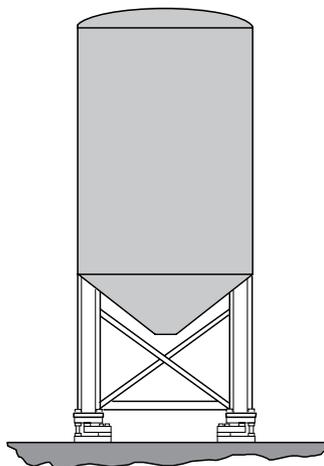


Figure 5-15b :
Piètements de cuve renforcés

Alignement du support de pontage et du module de pesage

L'axe d'application de la charge sur un capteur de pesage doit être aligné avec l'axe du support de pontage du module de pesage. Les figures 5-16a et 5-16b illustrent les configurations de pose idéales pour un module de pesage par compression et par traction.

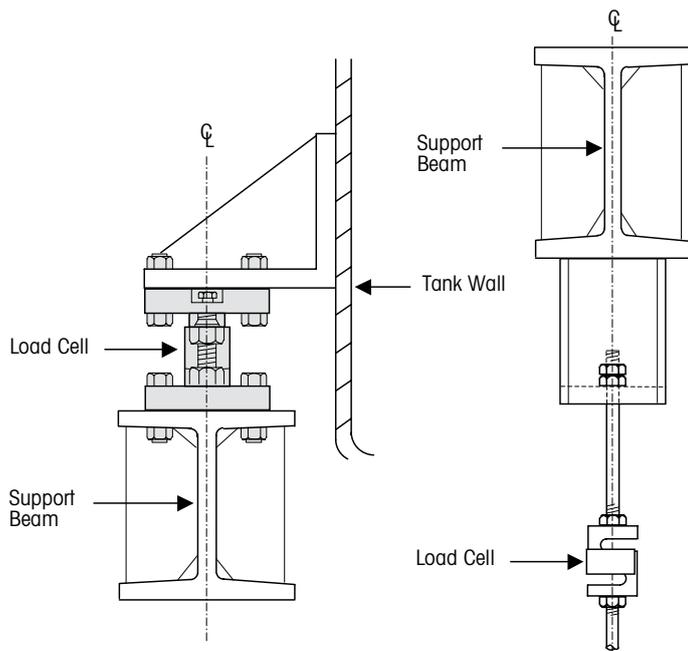


Figure 5-16a :
Module de pesage par compression

Figure 5-16b :
Module de pesage par traction

Ajoutez des raidisseurs d'âme ou des goussets pour empêcher la torsion de la poutre sous la charge (voir la Figure 5-17).

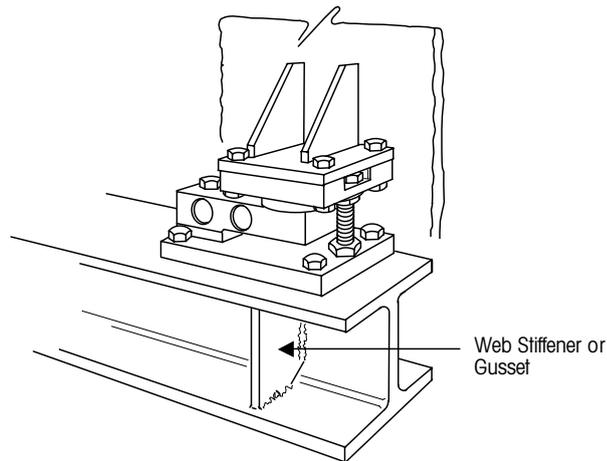


Figure 5-17 : Support de poutrage renforcé du module de pesage

Renforcement des structures

Les structures en métal ont tendance à se courber ou à se déformer à mesure que le poids qu'elles supportent augmente. Une déformation excessive peut affecter l'exactitude d'une balance de cuve. Le plus grand risque de déformation existe lorsqu'un module de pesage est monté au centre de la portée d'un support de poutrage. La Figure 5-18a décrit comment un support de poutrage peut se déformer lorsqu'un module de pesage est fixé au centre de la portée. Si cette disposition est inévitable, les supports de poutrage peuvent être renforcés pour atténuer la déformation. La Figure 5-18b et la Figure 5-18c illustrent des méthodes de renforcement classiques.

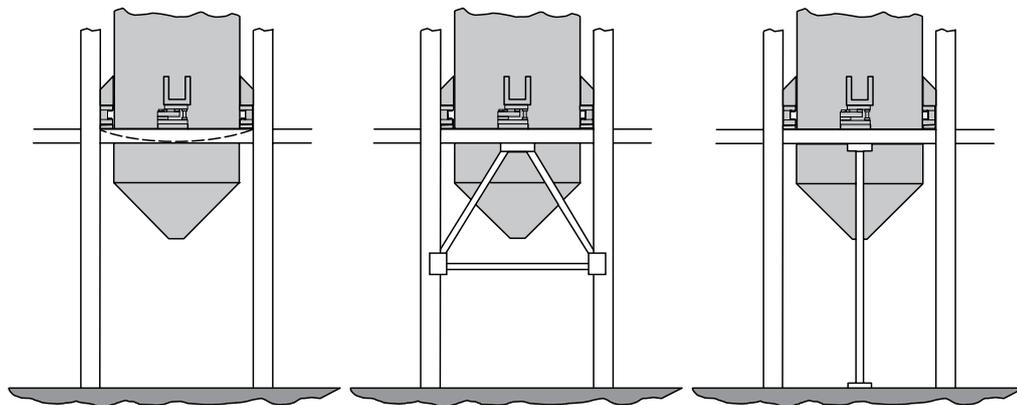


Figure 5-18a

Figure 5-18b

Figure 5-18c

Support structurel

Un des meilleurs moyens de réduire la déformation consiste à fixer les modules de pesage près des colonnes verticales mises à la terre et non au centre des supports de poutrage horizontal. Veillez à soutenir tous les modules de pesage avec des poutres de dimensions identiques pour empêcher une déformation différentielle pouvant provoquer des problèmes de non-reproductibilité ou de mise à zéro. La Figure 5-19a propose une disposition composée de modules de pesage montés près de poutres verticales. La Figure 5-19b illustre des modules de pesage fixés au centre des poutres horizontales, ce qui n'est pas recommandé.

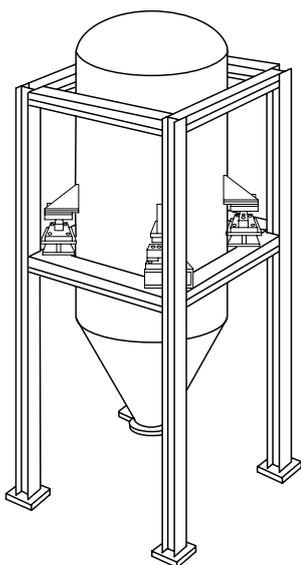


Figure 5-19a :
Recommandé

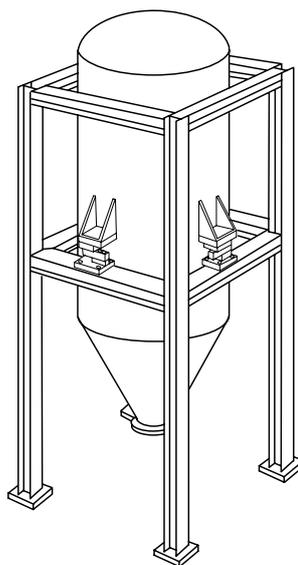


Figure 5-19b :
Non recommandé

La Figure 5-20 et la Figure 5-21 illustrent les détails des méthodes qui servent à fixer des modules de pesage près de poutres verticales mises à la terre.

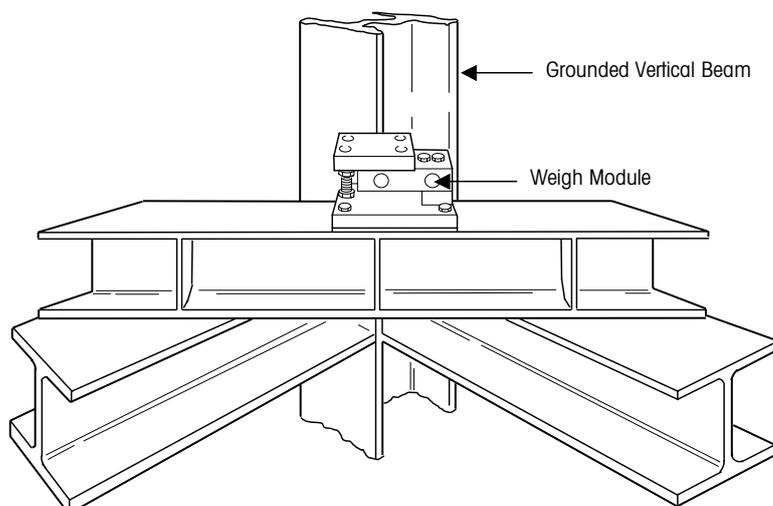


Figure 5-20 : Support structurel

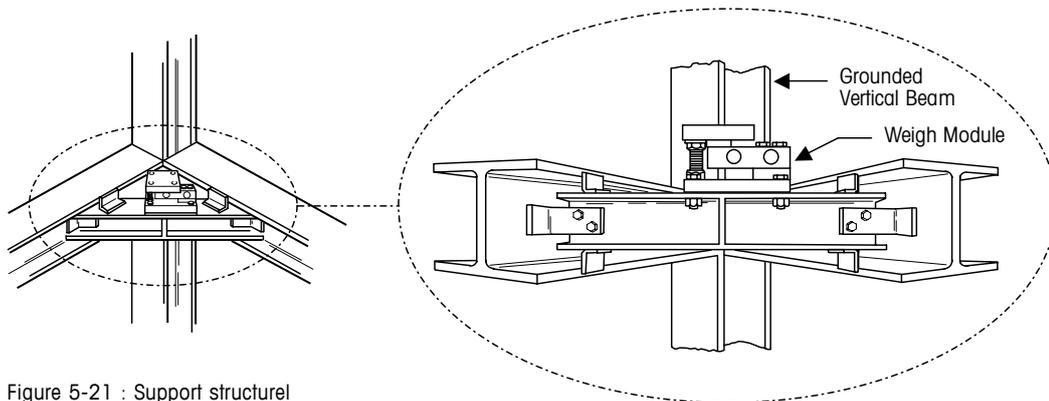


Figure 5-21 : Support structurel

Interaction avec la cuve

Lorsque les balances de cuve sont proches les unes des autres, le poids de l'une d'elles peut modifier la charge détectée par les modules de pesage d'une autre cuve. Il existe un fort potentiel pour ce type d'interaction lorsque les cuves partagent la même fondation. Les schémas suivants décrivent quatre installations de cuves, de la meilleure (Figure 5-22a) à la plus mauvaise (Figure 5-22d).

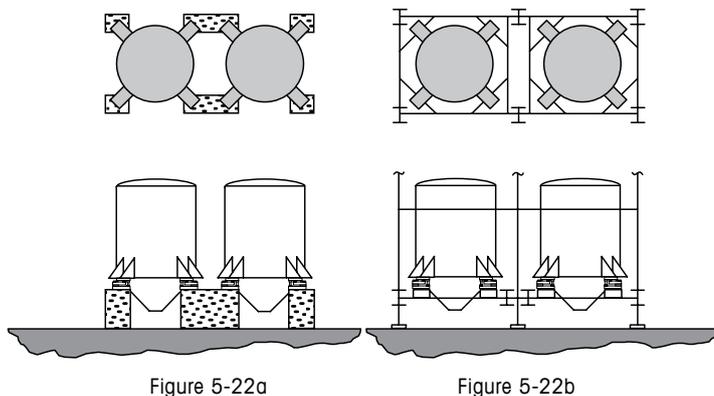


Figure 5-22a

Figure 5-22b

Figure 5-22a : La meilleure solution est de monter les modules de pesage sur des fondations en béton. Comme le béton se déforme très peu, deux cuves peuvent reposer sur la même fondation sans que cela ne crée d'interaction.

Figure 5-22b : La seconde solution adéquate consiste à monter les modules de pesage près des poutres verticales, avec une structure distincte pour chaque cuve. Cette option réduit les déformations et l'interaction des cuves.

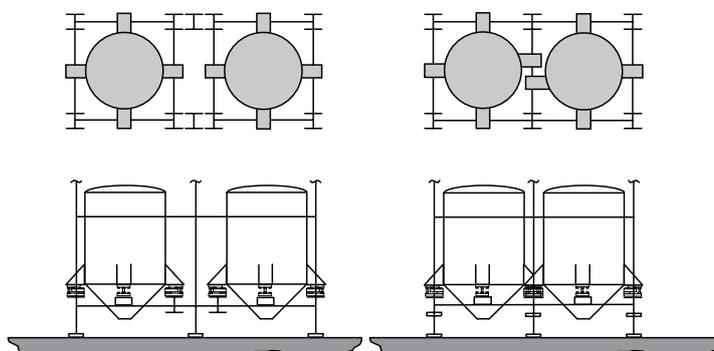


Figure 5-22c

Figure 5-22d

Figure 5-22c : L'autre solution, moins satisfaisante que les deux précédentes, consiste à monter les modules de pesage au centre de la portée d'une poutre horizontale, avec une structure distincte pour chaque cuve. L'interaction des réservoirs s'en trouve limitée, mais pas la déformation des structures.

Figure 5-22d : La solution la moins adaptée consiste à monter les modules de pesage au centre de la portée d'une poutre horizontale, avec les deux cuves reposant sur une structure commune. Cette configuration permet aussi bien la déformation que l'interaction des réservoirs.

Autres méthodes de retenue du réservoir

La plupart des modules de pesage par compression de METTLER TOLEDO sont automatiques et apportent une protection anti-renversement adéquate. Dans les sites d'exploitation soumis à de forts risques sismiques et des vents violents, il faudra intégrer des systèmes de retenue supplémentaires. Pour les applications basées sur un module de pesage par traction suspendu, un système de retenue de sécurité est obligatoire pour éventuellement récupérer les composants suspendus.

Tiges réglables

Les tiges réglables servent à réduire les mouvements horizontaux des cuves pour éviter leur rotation ou leur renversement. Il convient de les placer au centre ou au-dessus du centre de gravité de la cuve remplie. La Figure 5-23 illustre des dispositions conseillées pour les tiges réglables. La tige réglable est tangentielle par rapport à la cuve, avec un écart entre la tige réglable et le support sur la cuve. La tige retient ainsi la cuve tout en permettant une légère dilatation et contraction thermique. Plusieurs tiges réglables de ce type permettront de retenir totalement la cuve. Lorsque les tiges sont fixées en position horizontale, elles ne généreront pas de forces verticales pouvant fausser les relevés de la balance. Les tiges réglables décrites sont desserrées sur une extrémité tandis que l'autre extrémité retient la cuve dans de rares conditions de chargement ; elles ne peuvent pas stabiliser une cuve dynamique qui vibre en raison des effets du matériel rotatif.

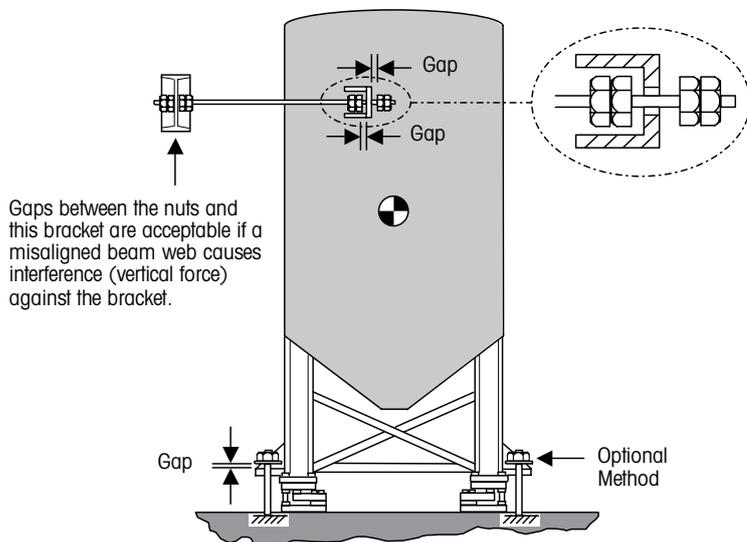


Figure 5-23 : Cuve équipée de tiges réglables

Barres de sécurité

Une cuve suspendue par des modules de pesage par traction intègrent un système de retenue de sécurité secondaire. Les barres de sécurité doivent être assez solides pour soutenir la cuve remplie, en cas de panne du système de suspension primaire. Pour la plupart des applications, il suffit d'installer une barre de sécurité verticale près de chaque module de pesage par traction (voir la Figure 5-24). Insérez chaque barre de sécurité à travers un trou surdimensionné du support afin qu'elle ne fausse pas les relevés. Les tiges réglables ou les butoirs horizontaux permettent de délimiter le périmètre de la cuve pour éviter qu'elle ne se déplace.

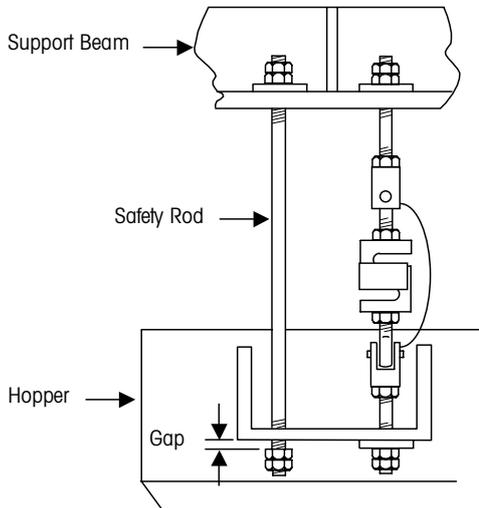


Figure 5-24 : Module de pesage par traction équipé de barre de sécurité

Conception des tuyaux

Une balance de réservoir est repoussée vers le bas quand une charge est appliquée dessus. Cela est dû à la déformation inhérente des capteurs de pesage et de la structure sous la charge ; cette dernière est généralement de loin la plus importante. Chaque fois que les tuyaux sont connectés à une balance de cuve (raccordement direct et permanent), cela produit des forces verticales indésirables. Il existe un risque de liaison mécanique lorsque la balance se déforme pendant son chargement. L'utilisation d'une tuyauterie mal installée ou mal conçue peut entraîner de graves erreurs de pesage en supportant une partie du poids qui devrait être appliqué aux modules de pesage. Les tuyaux doivent être en mesure de réduire les forces indésirables sur la cuve. Cela est d'autant plus important que les exigences d'exactitude se renforcent. Vous trouverez ici des directives générales à suivre pour la conception d'un système de tuyauterie :

- Veillez à ce que la structure de la cuve se déforme le moins possible. Cela réduira l'ampleur de la déformation des tuyaux.
- Réduisez le nombre de tuyaux connectés à la balance de cuve en les raccordant au préalable, par exemple, dans un manifold avec une connexion horizontale unique à la balance.
- Faites courir tous les tuyaux à l'horizontale à partir de la cuve pour les maintenir raides. Les tuyaux peuvent quitter le réservoir verticalement ou à n'importe quel angle par rapport à l'horizontale et courir horizontalement avant d'être supportés.
- Placez le premier support de tuyaux rigide le plus loin possible de la cuve. Cela rendra la tuyauterie plus flexible.
- Utilisez le tuyau possédant le diamètre et le calibre les plus faibles possibles. Cela rendra la tuyauterie plus flexible.
- Utilisez des tuyaux flexibles ou des joints de dilatation posés horizontalement en tant que connexion finale à la balance de cuve.

Pourquoi est-ce important que les tuyaux soient flexibles ? La Figure 5-25a illustre une cuve montée sur des modules de pesage et soutenue par une poutrelle en I. Un tuyau est raccordé à la cuve et fixé à l'aide d'un clamp à une autre structure à une distance L de la cuve. Lorsque la cuve est vide, le tuyau reste à l'horizontale et n'exerce aucune force sur la cuve. Lorsque la cuve est pleine (voir la Figure 5-25b), elle descend sous l'effet de la déformation du capteur de pesage et de la poutrelle en I. La distance de descente du tuyau est équivalente à la déformation de la cuve (Δh). Le tuyau a la même fonction qu'une console guidée et exerce une force ascendante sur la cuve, ce qui affecte les relevés. Plus les tuyaux sont flexibles, plus la force qu'ils exercent sur la cuve est faible.

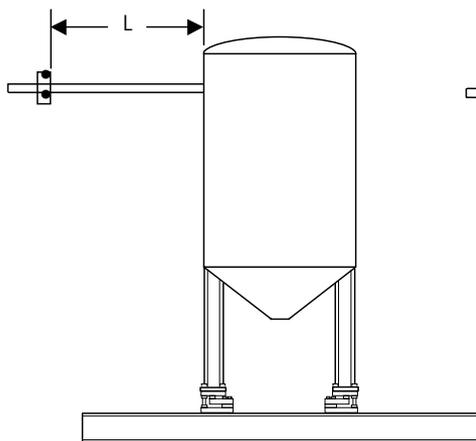


Figure 5-25a : Cuve vide

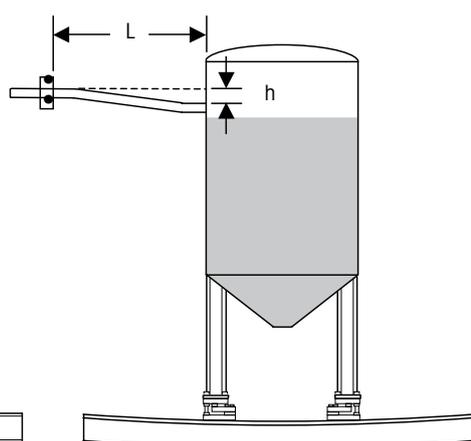


Figure 5-25b : Cuve pleine

Les tuyaux ont un effet important sur l'exactitude des pesées, en particulier lorsque plusieurs tuyaux sont reliés à une cuve de faible capacité. Une conception adéquate des tuyaux permet de réduire les forces indésirables selon une fraction de la charge utile de la cuve. Les forces restantes sont compensables lors de l'étalonnage de la balance en envisageant leur reproductibilité. L'étalonnage basé sur des simulateurs dynamométriques ou CalFree ne tient pas compte des forces générées par les tuyaux raccordés. Si le niveau d'exactitude requis est élevé, l'étalonnage doit s'opérer sur la balance de cuve (avec tous les tuyaux raccordés) à l'aide de l'une des méthodes d'étalonnage qui appliquent un poids à la balance.

Tous les raccordements de tuyaux à une cuve se caractérisent par une force de retenue lorsque la cuve se déforme sous la charge. Comment déterminer le seuil acceptable ? Cela dépend de la capacité du système et de l'exactitude requises. La force verticale admissible F pouvant être exercée sur une balance de cuve par tous les tuyaux raccordés (toute combinaison de tuyaux flexibles, rigides et de joints de dilatations) se calcule avec la formule empirique suivante :

En unités impériales :

$$F \leq 0,1 \times \text{Exactitude du système} \times \text{Capacité du système} \quad (1)$$

Où :

F est exprimée en lb

L'Exactitude du système correspond à un pourcentage de la capacité du système.

La Capacité du système représente la charge utile maximale en lb que la balance est capable de peser.

En unités métriques SI :

$$F \leq 0,1 \times \text{Exactitude du système} \times \text{Capacité du système} \times g \quad (2)$$

Où :

F est exprimé en N

L'Exactitude du système correspond à un pourcentage de la Capacité du système.

La Capacité du système représente la charge utile maximale que la balance est capable de peser.

g est l'accélération causée par la gravité = 9,81 m/s².

Exemple 1 en unités impériales

Si l'exactitude du système doit être de 0,25 % pour une balance de cuve de charge utile de 2 000 lb, tous les tuyaux raccordés peuvent exercer une force verticale F de l'ordre de :

$$F \leq 0,1 \times 0,25 \times 2\,000$$
$$F \leq 50 \text{ lb}$$

Exemple 2 en unités métriques SI

Si l'exactitude du système doit être de 0,05 % pour une balance de cuve de charge utile de 10 000 kg, tous les tuyaux raccordés peuvent exercer une force verticale F de l'ordre de :

$$F \leq 0,1 \times 0,05 \times 10\,000 \times 9,81$$
$$F \leq 490 \text{ lb}$$

Conseils

Tuyaux rigides

L'équation suivante permet de calculer la force verticale exercée par un seul tuyau horizontal relié à une cuve :

$$F_p = \frac{0,59 \times (D^4 - d^4) \times \Delta h \times E}{L^3} \quad (3)$$

Où (en unités impériales) :

F_p = Force verticale exercée par un seul tuyau horizontal en lb

D = Diamètre extérieur du tuyau en pouces

d = Diamètre intérieur du tuyau en pouces

Δh = Déformation de la cuve en pouces lorsque la capacité du système est ajoutée à la cuve.

Voir le paragraphe » Calcul de Δh « ci-dessous.

E = Module d'élasticité de Young en lb/in² qui varie selon le matériau de construction ; voici les valeurs de trois matériaux courants :

- Acier au carbone = 29 000 000 lb/in²
- Acier inoxydable = 28 000 000 lb/in²
- Aluminium = 10 000 000 lb/in²

L = Longueur du tuyau en pouces entre le réservoir et le premier point d'appui.

Où (en unités métriques) :

F_p = Force verticale exercée par un seul tuyau horizontal en N.

D = Diamètre extérieur du tuyau en mm.

d = Diamètre intérieur du tuyau en mm.

Δh = Déformation de la cuve en mm lorsque la capacité du système est ajoutée à la cuve.

Voir le paragraphe » Calcul de Δh « ci-dessous.

E = Module d'élasticité de Young en N/mm² qui varie selon le matériau de construction ; voici les valeurs de trois matériaux courants :

- Acier au carbone = 200 000 N/mm²
- Acier au carbone = 190 000 N/mm²
- Aluminium = 68 950 N/mm²

L = Longueur du tuyau en mm entre le réservoir et le premier point d'appui.

Cette équation présuppose qu'un tuyau à section circulaire est solidement rattaché, libre à l'extrémité du support mais guidé à l'extrémité de la cuve ; c'est une équation généralement prudente. Appliquez-la pour calculer la force exercée par chaque tuyau solidement connecté. Additionnez ensuite les forces exercées par tous les tuyaux (toute combinaison de tuyaux rigides, souples et de joints de dilatation) afin de déterminer la force totale (F) exercée sur la cuve. Veillez à ce que le résultat soit \leq à la valeur limite de F telle que calculée avec l'équation (1) ou (2) ci-dessus.

Tuyaux flexibles/joints de dilatation

L'emploi de tuyaux flexibles ou de joints de dilatation facilite la conception d'un système conforme aux exigences de l'équation (1) ou (2) ci-dessus. C'est le déplacement latéral et non axial du tuyau flexible ou du joint de dilatation qui prévaut ; c'est pourquoi il est recommandé de les poser à l'horizontale. Pour estimer l'effet produit sur une balance de cuve, il faut connaître la constante de rappel latérale du tuyau flexible ou du joint de dilatation (en lb/in ou N/mm).

L'équation suivante permet de calculer la force verticale exercée par un seul tuyau flexible horizontal ou joint de dilatation relié à une cuve :

$$F_c = \text{Constante de rappel latérale} \times \Delta h \quad (4)$$

Où (en unités impériales) :

F_c = Force verticale exercée par un seul tuyau flexible horizontal ou joint de dilatation en lb
La constante de rappel latérale exprimée en lb/in concerne le tuyau flexible ou le joint de dilatation.
 Δh = Déformation de la cuve en pouces lorsque la capacité du système est ajoutée à la cuve.
Voir le paragraphe » Calcul de Δh « ci-dessous.

Où (en unités métriques SI) :

F_c = Force verticale exercée par un seul tuyau flexible horizontal ou joint de dilatation en N
La constante de rappel latérale exprimée en N/mm concerne le tuyau flexible ou le joint de dilatation.
 Δh = Déformation de la cuve en mm lorsque la capacité du système est ajoutée à la cuve.
Voir le paragraphe » Calcul de Δh « ci-dessous.

Appliquez cette équation pour calculer la force exercée par chaque tuyau flexible raccordé ou joint de dilatation. Additionnez ensuite les forces exercées par tous les tuyaux (toute combinaison de tuyaux rigides, souples et de joints de dilatation) afin de déterminer la force totale (F) exercée sur la cuve. Veillez à ce que le résultat soit \leq à la valeur limite de F telle que calculée avec l'équation (1) ou (2) ci-dessus.

Lorsque les tuyaux sont soumis à des variations de pression, il est préférable d'éviter les tuyaux flexibles et les joints de dilatation qui permettent les mouvements axiaux car ils agiraient comme un piston qui pousse/tire la cuve. S'ils sont placés horizontalement, ils transféreront le poids entre les modules de pesage ; à éviter. S'ils sont placés verticalement, les forces exercées sur la cuve auront un impact direct sur le relevé de poids (à éviter!); voir la figure 27 et le texte qui suit pour en savoir plus.

Calcul de Δh

Δh correspond à la déformation totale en pouces [mm] de la cuve lorsque la capacité du système est ajoutée. Elle s'obtient comme suit :

$$\Delta h = \frac{\text{Déformation du capteur de pesage @ R.C.} \times \text{Capacité du système}}{\text{Capacité nominale du capteur de pesage (R.C.)} \times N} + \text{Déformation structurelle} \quad (5)$$

Où (en unités impériales) :

Δh est exprimé en pouces.

La valeur Déformation du capteur de pesage @ R.C. en pouces se trouve dans les fiches techniques de produits. La déformation du module de pesage s'entend généralement comme la déformation du capteur de pesage.

La capacité du système correspond à la charge utile maximale en lb attendue de la balance.

La capacité nominale du capteur de pesage (R.C.) figure dans la fiche technique du module de pesage. Convertissez en lb si besoin est.

N représente le nombre de capteurs de pesage qui soutiennent la balance.

La déformation structurelle est la déformation en pouces de la cuve découlant de la déformation de la structure située sous la cuve.

Où (en unités métriques SI) :

Δh est exprimé en mm.

La déformation du capteur de pesage @ R.C. en mm figure dans les fiches techniques de produits. La déformation du module de pesage s'entend généralement comme la déformation du capteur de pesage.

La Capacité du système représente la charge utile maximale que la balance est capable de peser.

La capacité nominale du capteur de pesage (R.C.) figure dans la fiche technique du module de pesage. Convertissez en kg si besoin est.

N représente le nombre de capteurs de pesage qui soutiennent la balance.

La déformation structurelle est la déformation en mm de la cuve découlant de la déformation de la structure située sous la cuve.

Ce calcul présuppose que le premier support sur les tuyaux est fixe et ne se déplace pas avec la structure de la cuve.

Calculs d'échantillon

Exemple 3 en unités impériales

Prenons l'hypothèse qu'un client recherche une balance de cuve dont l'exactitude système est de 0,1 % et la capacité système de 25 000 lb. Un tuyau rigide sera raccordé horizontalement à la cuve. Vérifiez si le tuyau sélectionné convient. Autres caractéristiques :

$D = 4,00$ pouces (diamètre extérieur du tuyau)

$d = 3,75$ pouces (diamètre intérieur du tuyau)

$\Delta h = 0,09$ pouce (déformation totale de la cuve)

Tuyau en acier au carbone, donc $E = 29 \times 10^6$ lb/in² (module d'élasticité de Young)

$L = 60$ pouces (longueur du tuyau depuis le réservoir jusqu'au premier point d'appui)

Appliquez l'équation (1) pour déterminer la valeur F, la force totale admissible du tuyau lorsque la capacité du système est appliquée à la balance :

$$F \leq 0,1 \times 0,1 \times 25\,000 \text{ lb}$$

$$F \leq 250 \text{ lb}$$

D'où, F ne peut pas être supérieur à 250 lb.

Appliquez l'équation (3) pour calculer la force réellement exercée par le tuyau :

$$F_p = \frac{0,59 \times (256,00 - 197,75) \times 0,09 \times 29\,000\,000}{216\,000} = 415 \text{ lb}$$

Comme la force d'un tuyau de 415 lb est supérieure à 250 lb, une exactitude système de 0,1 % n'est pas atteinte. L'une des solutions consiste à augmenter la longueur du tuyau de 60 à 80 pouces. En recalculant la force du tuyau de 80 pouces, on obtient $F_p = 175$ lb, ce qui est bien inférieur au maximum de 250 lb.

Exemple 4 en unités métriques SI

Prenons l'hypothèse qu'un client recherche une balance de cuve dont l'exactitude système est de 0,05 % et la capacité système de 20 000 kg. Un tuyau rigide sera raccordé horizontalement à la cuve. Vérifiez si le tuyau sélectionné convient. Autres caractéristiques :

$D = 100$ mm (diamètre extérieur du tuyau)

$d = 90$ mm (diamètre intérieur du tuyau)

$\Delta h = 2,25$ mm (déformation totale de la cuve)

$E = 200\,000$ N/mm² (module d'élasticité de Young)

$L = 1\,500$ mm (longueur du tuyau depuis le réservoir jusqu'au premier point d'appui)

Appliquez l'équation (2) pour déterminer la valeur F , la force totale admissible du tuyau lorsque la capacité du système est appliquée à la balance :

$$F \leq 0,1 \times 0,05 \times 20\,000 \times 9,81 \text{ N}$$

$$F \leq 980 \text{ lb}$$

F ne peut pas être supérieur à 980 N.

Appliquez l'équation (3) pour calculer la force réellement exercée par le tuyau :

$$F_p = \frac{0,59 \times (1\,000 \times 10^5 - 6\,561 \times 10^4) \times 2,25 \times 200\,000}{3\,375 \times 10^6} = 2\,705 \text{ N}$$

Comme la force d'un tuyau de 2 705 N est supérieure à 980 N, une exactitude système de 0,05 % n'est pas atteinte. Plusieurs solutions sont possibles, notamment la réduction du diamètre et/ou l'augmentation de la longueur du tuyau. L'ajout d'un joint de dilatation au tuyau constitue une solution plus pratique.

Choisissez un joint de dilatation latéral compatible avec une déformation de cuve Δh de 2,25 mm dans l'exemple ci-dessus ; si un joint de dilatation de 100 mm a une constante de rappel latérale de 45 N/mm, sa valeur F_c sur la cuve se calcule à l'aide de l'équation (4) comme suit :

$$F_c = 45 \times 2,25 = 100 \text{ N.}$$

Cette valeur est acceptable car elle est bien inférieure à 980 N. S'il existe plusieurs raccords de tuyaux, la seule solution revient à utiliser des tuyaux flexibles ou des joints de dilatation.

Pose des tuyaux

Ce chapitre décrit différentes méthodes de pose des tuyaux afin d'éviter les problèmes de performances de la balance.

Ne pas raccorder des tuyaux verticaux à une cuve (voir la Figure 5-26a). Comme la cuve est chargée et a tendance à se déformer de manière descendante, le tuyau l'en empêche dans les limites de sa rigidité et de celle du support. Toute force verticale exercée par le tuyau se soustrait directement de la force des capteurs de pesage, ce qui annule l'exactitude. Les tuyaux verticaux doivent posséder une coupe horizontale comme dans la Figure 5-26b par souci de flexibilité. Généralement, tous les raccords à la cuve (tuyaux flexibles, canalisations, conduits, évènements, etc.) doivent être posés horizontalement, depuis leur premier point d'appui jusqu'à la cuve. La configuration illustrée dans la Figure 5-26a est particulièrement incorrecte pour une cuve soumise à des variations thermiques, par exemple si un liquide chaud est déversé progressivement dans la cuve. Dans cet exemple, la cuve et le tuyau vertical vont se dilater et, en entrant en contact avec le bloc de couplage de tuyau supérieur, ils exerceront une force descendante contre les modules de pesage. Ces forces sont supérieures au poids à déterminer, ce qui annule l'exactitude.

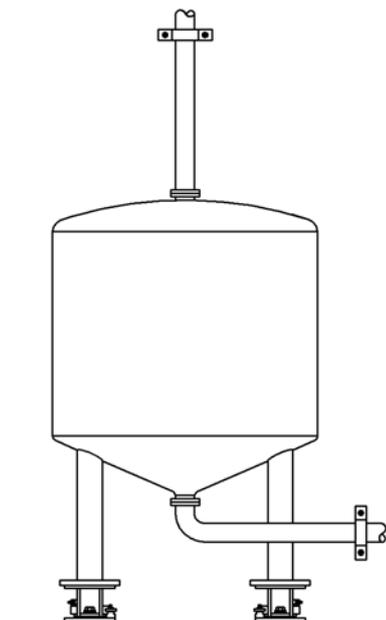


Figure 5-26a :
Conception incorrecte du tuyau vertical pipe

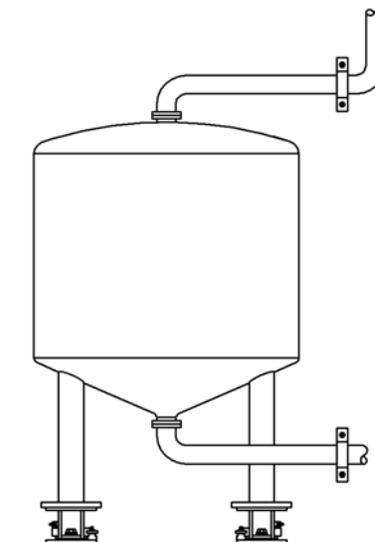


Figure 5-26b :
Conception correcte du tuyau vertical

La Figure 5-27 décrit une solution inadaptée pour raccorder des tuyaux verticaux alors qu'un joint de dilatation a été intégré à un tuyau vertical. Dans ce cas, le joint de dilatation a un impact direct sur les relevés. Pour être efficace, un joint de dilatation (ou un flexible) doit être axialement conforme dans une certaine mesure qui varie selon la capacité et l'exactitude recherchées de la balance. Cette situation exige un ressort parfait. Toute variation de conformité imputable à l'usure normale se répercutera immédiatement sur les relevés de la balance. Cependant, il demeure un problème majeur. En effet, en raison de la conformité axiale, le joint de dilatation agira comme un piston ou vérin hydraulique qui poussera et tirera la cuve en raison des variations de la pression interne. Les variations de pression peuvent être inhérentes au processus ou être accidentelles en raison du remplissage et du déchargement normal, processus au cours desquels doivent avoir lieu les relevés. Pour éviter ces difficultés, les tuyaux verticaux doivent être raccordés conformément à la Figure 5-26b. Il est possible d'ajouter ultérieurement des flexibles ou des joints de dilatation dans les coupes horizontales des tuyaux.

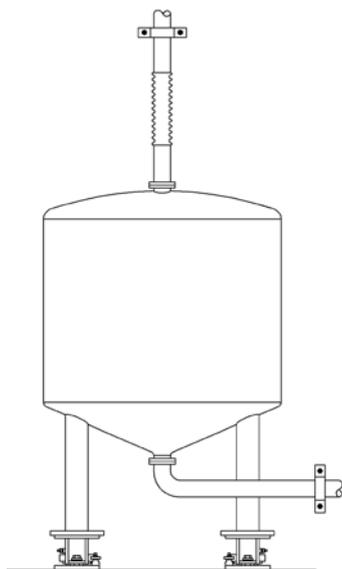


Figure 5-27 : Conception inadaptée du tuyau vertical, en particulier en cas de variations de la pression

Au lieu de raccorder individuellement plusieurs tuyaux à une cuve, il est préférable de les rassembler dans un manifold doté d'une connexion unique vers la cuve (voir la Figure 5-28).

Il est conseillé de réduire le nombre de tuyaux et leur rigidité en minimisant le diamètre des tuyaux et l'épaisseur des parois.

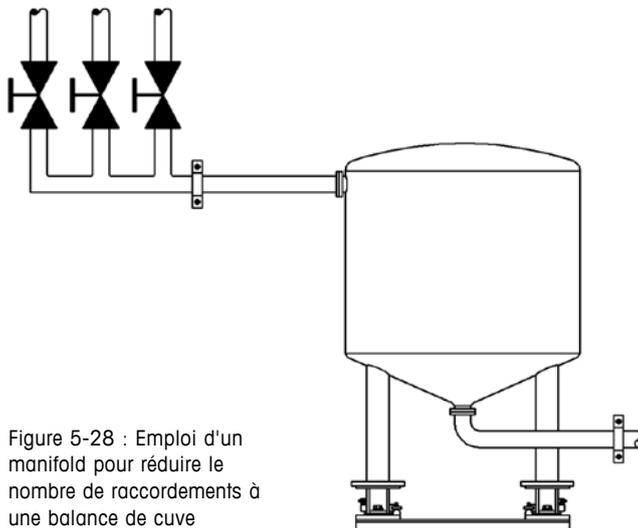


Figure 5-28 : Emploi d'un manifold pour réduire le nombre de raccords à une balance de cuve

Plus la distance entre la cuve et le premier bloc de couplage est grande, plus les connexions des tuyaux seront flexibles (voir la Figure 5-29a).

Utilisez un couple de flexible ou un joint de dilatation latéral pour réduire les forces indésirables découlant de la déformation de la cuve (Figure 5-29b), comme expliqué précédemment. C'est souvent le seul moyen de respecter les exigences détaillées dans le chapitre précédent, notamment si plusieurs tuyaux sont raccordés à la cuve.

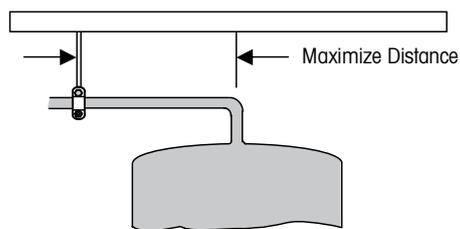


Figure 5-29a :
Distance entre la cuve et le support du tuyau

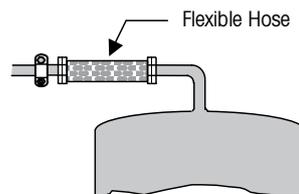


Figure 5-29b :
Tuyaux avec une partie du flexible

Un angle de 90° formé dans la trajectoire du tuyau ajoutera plus de flexibilité (voir la Figure 5-30).

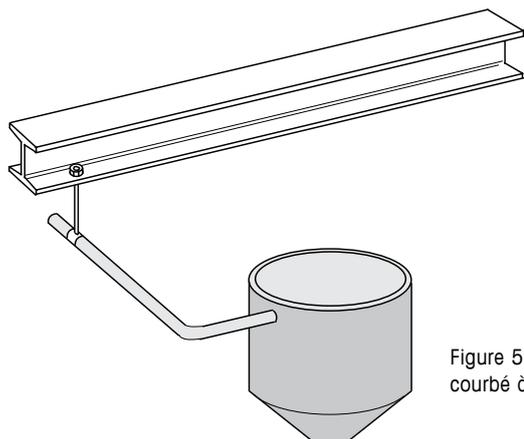


Figure 5-30 : horizontal courbé à 90 degrés

Lorsqu'un tuyau de refoulement est utilisé par des cuves adjacentes (voir la Figure 5-31a), le poids du matériau refoulé depuis une cuve peut exercer une force descendante sur l'autre cuve. Veillez à ce que les tuyaux de refoulement de chaque cuve soient soutenus indépendamment pour ne pas interagir avec l'autre cuve (voir la Figure 5-31b).

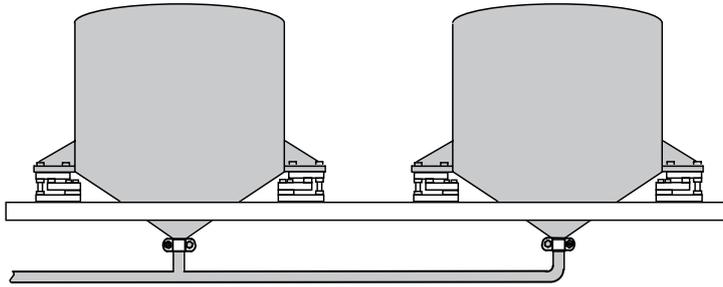


Figure 5-31a : Cuves avec un seul tuyau de refoulement

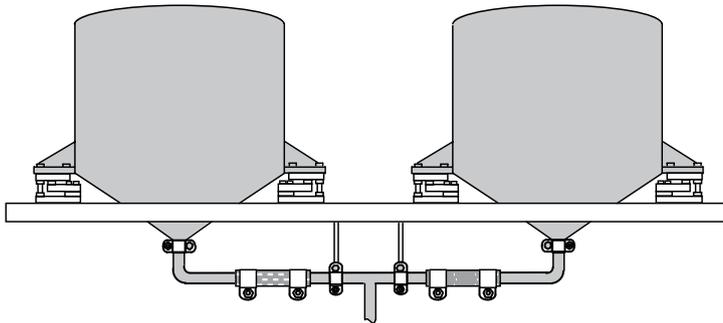


Figure 5-31b : Installation recommandée avec un tuyau de refoulement unique

Ne pas relier les tuyaux à une mezzanine, un étage supérieur ou toute autre structure qui se déforme indépendamment de la cuve (voir la Figure 5-32a). Si possible, fixez les tuyaux sur la structure de la cuve de sorte que les tuyaux se déplacent avec la cuve (voir la Figure 5-32b).

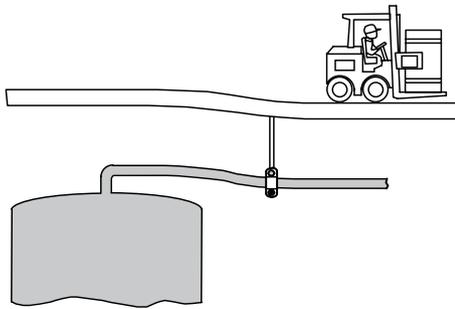


Figure 5-32a : Tuyaux soutenus par un étage supérieur

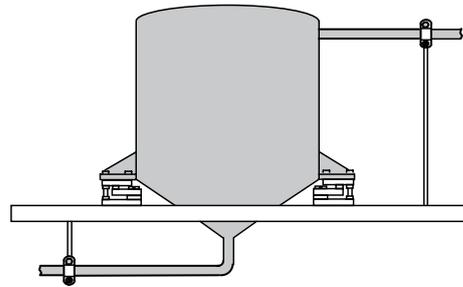


Figure 5-32b : Tuyaux reliés à la structure d'une cuve

Si possible, éviter complètement les connexions rigides entre la tuyauterie et les réservoirs. Noter l'espace libre entre la cuve et les tuyaux d'entrée/sortie dans la Figure 5-33. Un soufflet flexible est utilisé pour sceller chaque connexion.

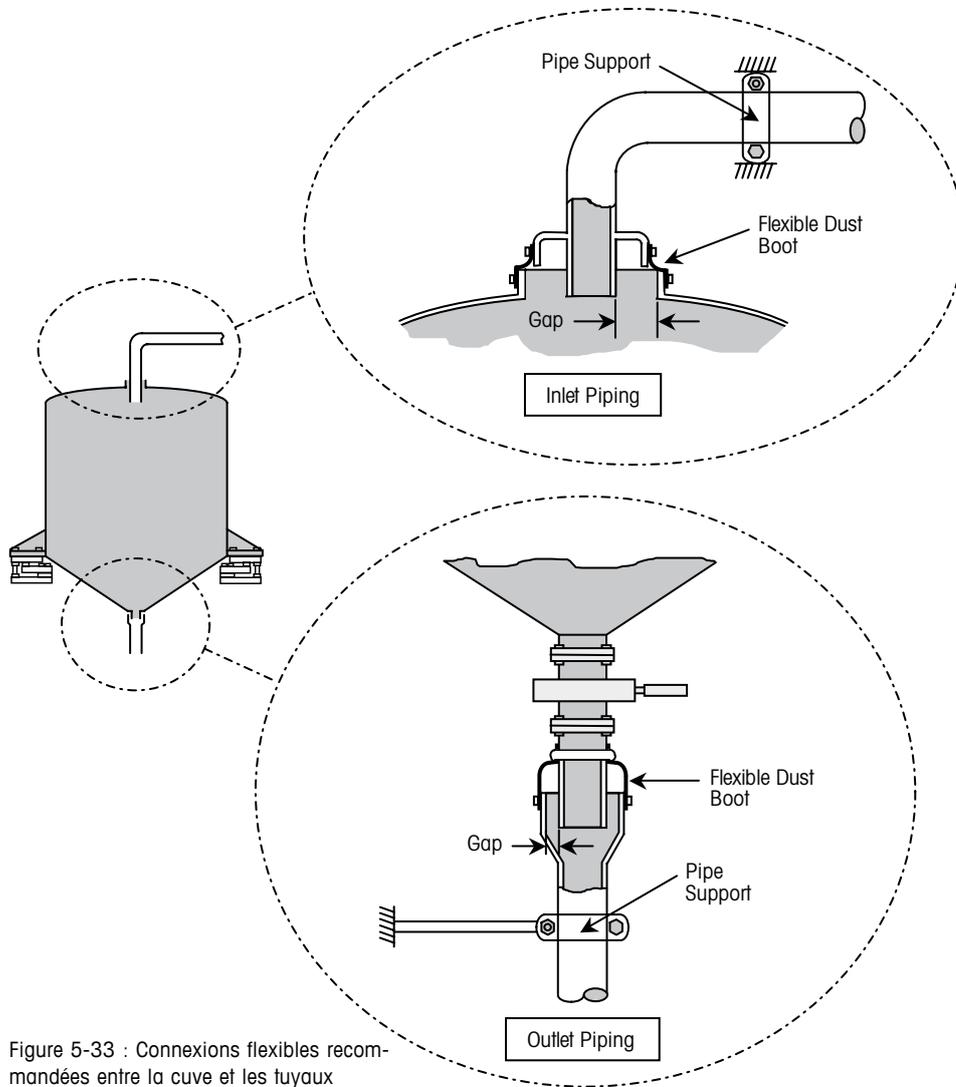


Figure 5-33 : Connexions flexibles recommandées entre la cuve et les tuyaux

Câblage électrique

Un module de pesage peut nécessiter une boîte de dérivation et deux types de câbles électriques :

- Une boîte de dérivation est nécessaire sur les systèmes comprenant plusieurs capteurs de pesage.
- Câble permettant de raccorder le capteur de pesage au terminal (un système avec un seul capteur de pesage) ou à une boîte de dérivation (un système de plusieurs capteurs de pesage). Les capteurs de pesage analogiques intègrent généralement ce type de câble.
- Un câble domotique pour raccorder la boîte de dérivation à un indicateur (un système avec plusieurs capteurs de pesage).

Câbles de capteur de pesage

Sur les systèmes composés de plusieurs capteurs de pesage, chaque capteur est connecté à une boîte de dérivation à l'aide d'un câble. Les signaux sont regroupés en un seul signal qui peut être transmis à l'indicateur. Le mode analogique est le plus courant. Certains fournisseurs de balances offrent des systèmes numériques patrimoniaux et non-patrimoniaux. Lorsque vous utilisez un système numérique, consultez le manuel technique du fournisseur pour effectuer le câblage adéquat à la boîte de dérivation.

Systèmes analogiques

Les systèmes de pesage utilisent une boîte de dérivation analogique et exigent un indicateur compatible. Une boîte de dérivation analogique peut regrouper jusqu'à quatre capteurs de pesage. Pour les modules de pesage de plus de quatre capteurs de pesage, il faudra rassembler plusieurs boîtes de dérivation. La Figure 5-34 représente des exemples de configurations pour des systèmes de quatre et six capteurs de pesage. Le nombre maximum de capteurs de pesage d'un système dépend de l'alimentation de l'indicateur et de la résistance du pont du capteur.

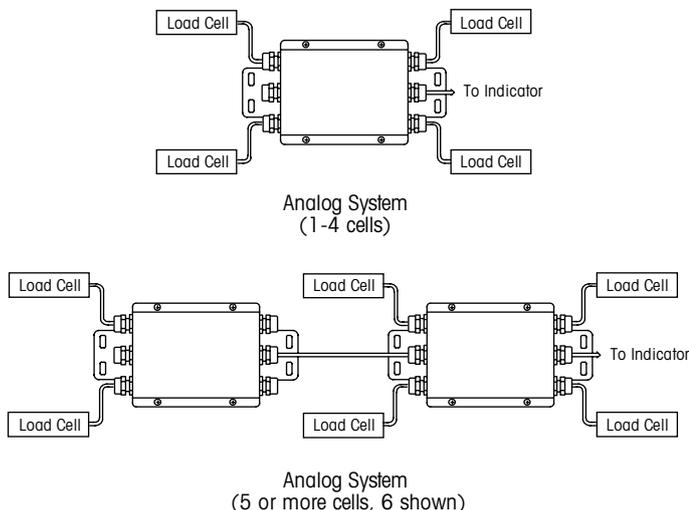


Figure 5-34 : Dispositions d'une boîte de dérivation analogique

Dans les environnements sensibles, il convient de protéger les câbles des capteurs de pesage à l'aide d'un conduit. METTLER TOLEDO propose une grande boîte de dérivation analogique équipée de raccords de conduit de 1/2 pouce (voir la Figure 5-35). La boîte est assez grande pour y ranger toute longueur de câble inutilisée.

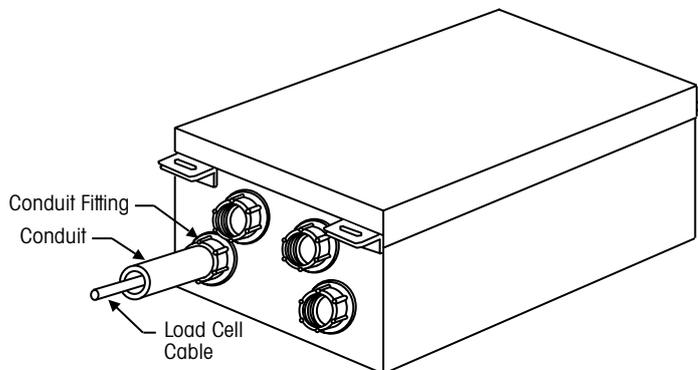


Figure 5-35 : Grande boîte de dérivation analogique équipée de raccords de conduit

Longueurs du câble de capteur de pesage

Chaque capteur de pesage est généralement fourni avec un câble de longueur standard. Ne pas rallonger ni raccourcir les câbles de capteurs de pesage sur le site. **La modification de la longueur d'un câble de capteur de pesage affecte la qualité du signal de sortie du capteur de pesage.** Si le câble est trop long, il suffit de l'enrouler et de le ranger à l'intérieur ou à côté de la boîte de dérivation. Vous pouvez commander des boîtes de dérivation suffisamment grandes pour contenir les câbles enroulés. Ne pas fixer l'excès de câble à une portion sous tension du système de pesage. Il est possible de commander des câbles de longueur spéciale.

Câbles de colonne domotique

Un câble de colonne domotique transmet la somme des signaux des capteurs de pesage de la boîte de dérivation à l'indicateur. Pour garantir des relevés précis, la balance doit pouvoir distinguer les signaux électriques qui varient d'un millionième de volt. Les faibles quantités de bruit à l'intérieur des câbles peuvent fausser les relevés. Le bruit provient généralement de sources de radiations électromagnétiques et de radiofréquences produites par les cordons d'alimentations, les lignes électriques, les moteurs et les téléphones portables.

Pour réduire les interférences radio et électromagnétiques, ajoutez une bague en ferrite sur le câble au niveau de l'indicateur. Elle doit être placée à l'intérieur d'un boîtier rigide ou le plus près possible du connecteur sur un boîtier encastré. Entourez quatre fois la bague en ferrite avec les conducteurs du câble de colonne domotique et le câble de garde (voir la Figure 5-36). Maintenez la barre en ferrite aussi proche possible du point d'entrée du câble dans le boîtier.

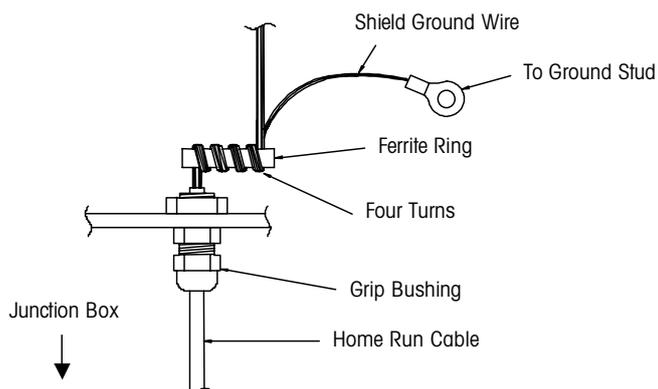


Figure 5-36 : Appareil avec une bague en ferrite

Les consignes suivantes portant sur l'installation permettront d'éviter les interférences électromagnétiques :

- Posez les câbles à au moins 30 cm des lignes électriques.
- Isolez et mettez à la terre les câbles pour éviter les bruits indésirables.

Les câbles subissent souvent des détériorations mécaniques ou causées par l'eau et des produits chimiques. Pour les protéger, insérez-les dans des conduits flexibles. Il existe des revêtements en PTFE pour protéger les câbles dans les environnements sensibles. Si un agitateur-mélangeur est relié à la cuve, prévoyez suffisamment de mou pour les câbles électriques pour empêcher les interférences des charges charge utile/poids mort.

Longueurs du câble de colonne domotique

La longueur maximale d'un câble de colonne domotique dépend de la taille du conducteur et du type d'indicateur utilisé. Vous pouvez augmenter la longueur maximale en utilisant des câbles à conducteurs plus larges.

Remarque : le calibre 16 [1,5 mm²] est supérieur au calibre 24 [0,25 mm²]. Si un câble dépasse la longueur recommandée, cela provoquera une chute de tension pouvant nuire aux relevés.

Le Tableau 5-1 indique les longueurs maximales recommandées des câbles pour des capteurs de pesage de 350 ohms de résistance d'entrée connectés à un indicateur METTLER TOLEDO classique de 15 VCC de tension d'excitation. La longueur maximale de câble repose sur la résistance totale de la balance (TSR), qui s'obtient en divisant la résistance d'entrée (en ohms) de capteur de pesage par le nombre de capteurs de pesage. Pour déterminer le nombre maximal de capteurs de pesage que peut alimenter un indicateur, consultez le manuel de l'indicateur. Les indicateurs qui conviennent à une utilisation dans les zones dangereuses fournissent une tension d'excitation bien inférieure, de l'ordre de 5 VCC maximum. Reportez-vous au manuel de l'indicateur pour savoir si la tension réduite limite la longueur du câble de colonne domotique.

Nombre de capteurs de pesage	TSR (ohms)	Calibre 24 [0,25 mm ²]	Calibre 20 [0,5 mm ²]	Calibre 16 [1,5 mm ²]
1	350	240 m	600 m	1 200 m
3-4	117-87	60 m	180 m	300 m
6-8	58-44	30 m	90 m	150 m
10	35	21 m	58 m	105 m

Tableau 5-1 : Longueurs maximales recommandées pour le câble de colonne domotique (pour les systèmes équipés de capteurs de pesage de 350 ohms et de 15 VCC de tension d'excitation)

Il est conseillé d'utiliser un câble à double blindage pour protéger le signal des interférences électromagnétiques et radioélectriques. La Figure 5-37 illustre une coupe de ce type de câble de colonne domotique.

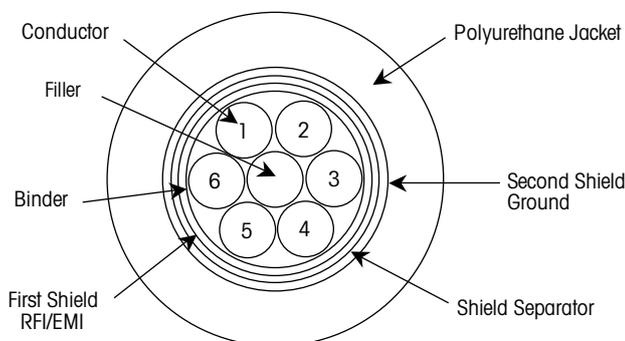
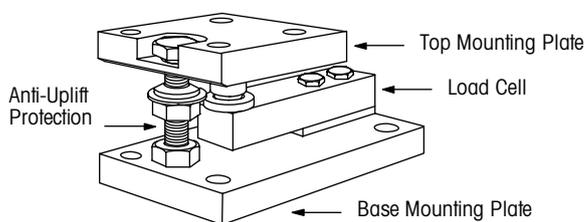


Figure 5-37 : Coupe d'un câble de colonne domotique à double blindage

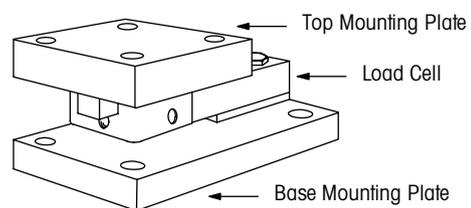
Modules de pesage par compression

Introduction

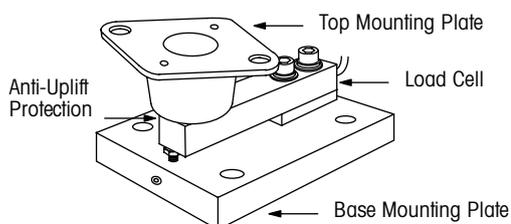
Ce chapitre fournit des informations générales pour bien sélectionner et installer les modules de pesage par compression. Chaque application impose des exigences particulières et requiert un travail de planification par un ingénieur constructeur qualifié. Lors de l'installation des modules de pesage, consultez le manuel d'installation et d'entretien propre aux modèles donnés. Des exemples de modules de pesage par compression de METTLER TOLEDO sont fournis ci-après.



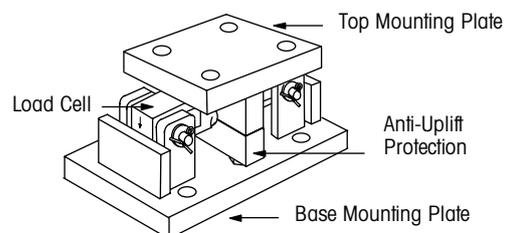
FLEXMOUNT Weigh Module
(Sliding Suspension)



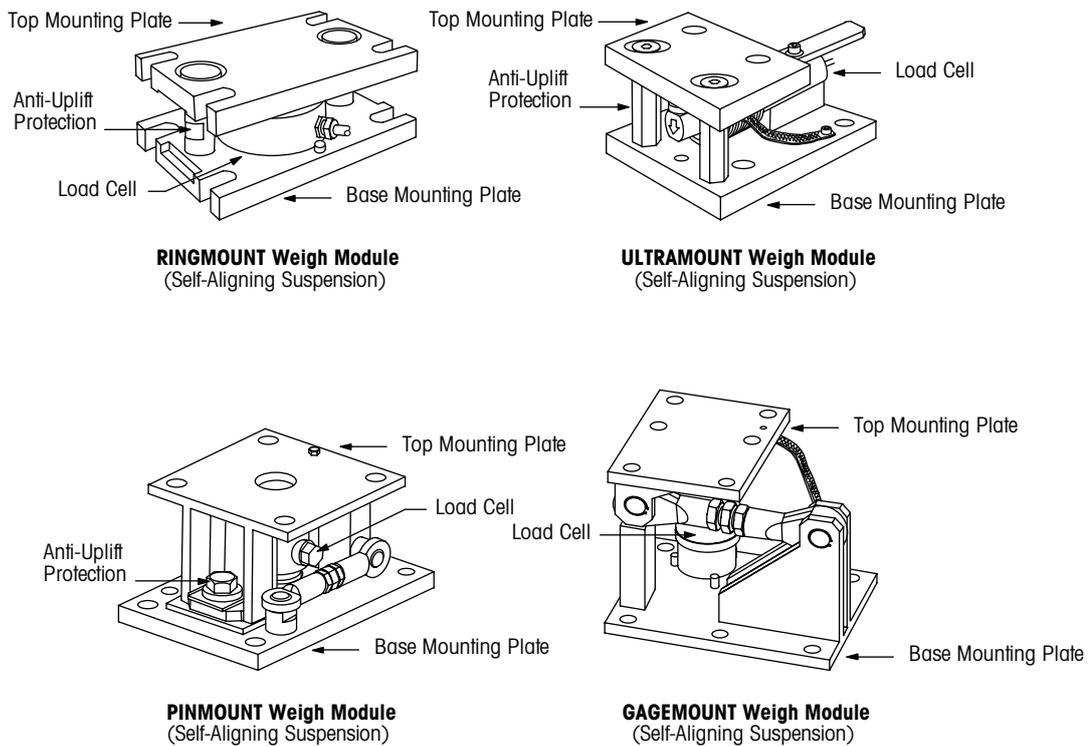
CENTERLIGN Weigh Module
(Self-Aligning Suspension)



VLM2 Weigh Module
(Rigid Suspension)



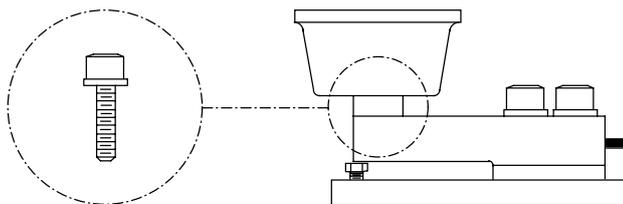
VLM3 Weigh Module
(Sliding Suspension)



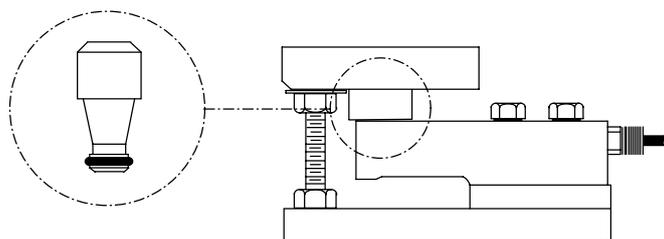
Charge statique ou charge dynamique

Lors de la sélection de modules de pesage, il faut tenir compte de la façon dont la charge sera appliquée aux capteurs de pesage. La plupart des applications impliquant des cuves, des trémies et des réservoirs sont soumises à une charge statique. En ce qui concerne la charge statique, la force de cisaillement transmise aux capteurs de pesage est faible, voire nulle. Les applications telles que les convoyeurs, les rateliers à tuyaux, les transformations de balances mécaniques et les balances équipées de puissants mélangeurs sont soumises à une charge dynamique. Pour ce qui est de la charge dynamique, la façon dont les produits sont placés sur la balance ou traités génère des efforts de cisaillement horizontaux pour les capteurs de pesage.

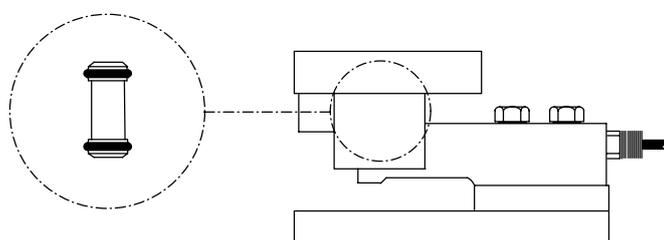
La suspension d'un module de pesage commande le mode de transmission de la charge entre la cuve ou le pont-bascule et le capteur de pesage. Lors de la sélection de modules de pesage, il faut veiller à ce que la suspension convienne au type de charge utilisé. METTLER TOLEDO propose des modules de pesage dotés des suspensions suivantes :



Suspension rigide : Assemblage boulonné entre le récepteur de charge et le capteur de pesage.



Suspension coulissante : Assemblage non boulonné comprenant un axe dynamométrique avec un plateau plat placé contre le récepteur de charge et une extrémité courbée placée contre le capteur de pesage (par ex. Flex-mount). Le modèle VLM3 possède une suspension coulissante sur laquelle le capteur de pesage peut glisser sur des coulisser latéralement sur des axes horizontaux durcis.



Suspension autocentreuse : Assemblage non boulonné comprenant un peson courbé aux deux extrémités en contact avec des surfaces plates ou une association de bague et bille. Ce type de suspension fournit les meilleurs résultats de pesage pour une grande variété d'applications. Les modules de pesage reposant sur un capteur de pesage à peson sont autocentreurs (par ex. Gagemount et Pinmount).

Quel type de suspension de module de pesage devez-vous utiliser ? Le Tableau 6-1 fournit des consignes importantes pour choisir l'application adéquate.

Type de suspension	Paramètres d'application
Rigide	Charge statique ou dynamique sans contraction/dilatation thermique, connexions de tuyaux ou fortes charges de cisaillement horizontales.
Coulissante	Charge statique avec contraction/dilatation thermique et connexions de tuyaux flexibles.
Autocentreuse (à centrage automatique)	Charge statique ou dynamique avec forces de cisaillement horizontales, contraction/dilatation thermique et connexions de tuyaux flexibles. À utiliser quand les résultats de pesage doivent être optimaux.

Tableau 6-1 : Suspensions de module de pesage

Exemples d'applications pour les modules de pesage autocentreurs

Suspensions autocentreuses avec des stabilisateurs

Les modules de pesage autocentreurs offrent les meilleurs résultats de pesage pour une grande variété d'applications. Certains modules de pesage basés sur des suspensions autocentreuses peuvent être équipés de stabilisateurs pour éviter le déplacement horizontal unidirectionnel. Le stabilisateur se compose de paliers à embout réglables qui raccordent le plateau supérieur (récepteur de charge) au plateau de base (voir la Figure 6-1).

Remarque : L'option de stabilisateur n'est pas censée fournir une force horizontale supplémentaire.

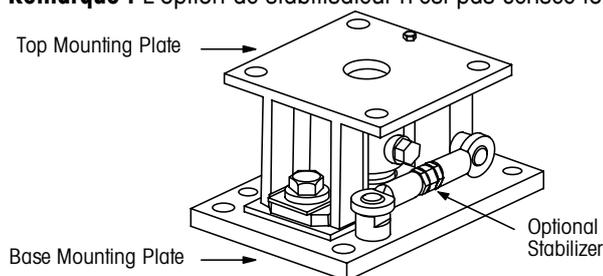


Figure 6-1 : Module de pesage auto-centreur avec un stabilisateur

Les stabilisateurs peuvent être utilisés dans trois cas :

1. Pour stabiliser une balance dynamique lorsque la pesée doit avoir lieu pendant le fonctionnement d'un grand mélangeur.
2. Pour stabiliser une balance lorsque le temps de stabilisation est critique, par exemple une balance de convoyeur à grande vitesse.
3. Pour stabiliser une balance dynamique pour protéger les tuyaux solidement raccordés contre l'usure et les défaillances.

Il est conseillé d'utiliser des stabilisateurs pour les applications suivantes.

- **Cuve avec un mélangeur à fort cisaillement :** Un mélangeur à fort cisaillement possède un stator extérieur tenu par les tiges extérieures tandis que l'axe central entraîne un rotor concentrique. Ces appareils dispersent, émulsionnent, homogénéisent, désintègrent et dissolvent les liquides ou les solides en liquides. Les matériaux peuvent être ajoutés en grandes quantités, ce qui crée un effet pulsatoire à mesure qu'ils sont entraînés dans le stator. Ces mélangeurs sont généralement entraînés à grande vitesse et peuvent créer des niveaux élevés de vibration et de pulsation. S'ils sont en service pendant la prise de mesure, il est recommandé d'utiliser des stabilisateurs (voir la Figure 6-2).
- **Balance de cuve avec un mélangeur et des tuyaux rigides :** Lorsqu'une cuve est équipée d'un puissant mélangeur et de tuyaux rigides, l'oscillation constante de la cuve peut provoquer des criques de fatigue dans les canalisations. Que le mélangeur fonctionne ou non pendant la pesée, les stabilisateurs permettent de maintenir la cuve en équilibre et empêcher la détérioration des tuyaux. Les tuyaux rigides sont déconseillés car ils nuisent considérablement aux résultats du pesage (voir la Figure 6-3).
- **Mélangeur discontinu horizontal :** Cet appareil intègre un moteur qui entraîne un arbre agitateur horizontal qui peut être une vis ou être équipé de palettes. L'arbre agitateur tourne dans une cuve horizontale. Il sert à mélanger ou coller les ingrédients secs pour créer des pâtes ou des bouillies. Ses applications sont le mélange d'aliments pour animaux, le pelliculage des graines et le mélange du béton. Les moteurs électriques de 150 kW (200 hp) maximum sont employés. Il faut s'attendre à de fortes vibrations en raison de la nature des opérations. S'ils sont en service pendant la prise de mesure, il est recommandé d'utiliser des stabilisateurs (voir la Figure 6-4).
- **Balance de convoyeur à grande vitesse :** Les balances de convoyeur à vitesse et capacité élevées sont rares. Si la durée de stabilisation est critique pour ce type d'application, il est conseillé d'utiliser des stabilisateurs pour maintenir la balance en équilibre (voir la Figure 6-5).
- **Balance pour pesage routier dynamique :** Une balance de pesage routier dynamique (WIM) pèse chaque essieu du véhicule en marche lente sur la balance. Elle additionne les valeurs pour obtenir le poids total. Ce type d'application exige une balance en fosse plus large que le véhicule et assez longue pour contenir les essieux simples ou tandem. Comme le temps de stabilisation est critique, les stabilisateurs devraient maintenir la balance en équilibre (voir la Figure 6-6).

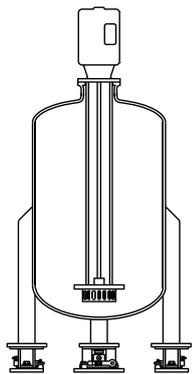


Figure 6-2 : Balance de cuve avec un mélangeur à fort cisaillement

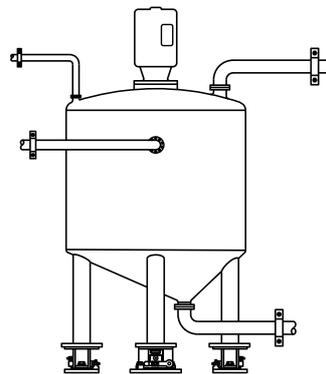


Figure 6-3 : Balance de cuve avec un mélangeur et des tuyaux rigides

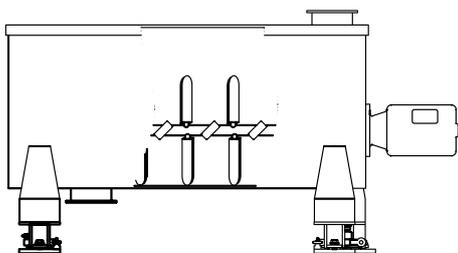


Figure 6-4 : Mélangeur discontinu horizontal

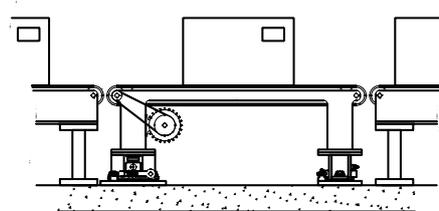


Figure 6-5 : Balance de convoyeur à grande vitesse

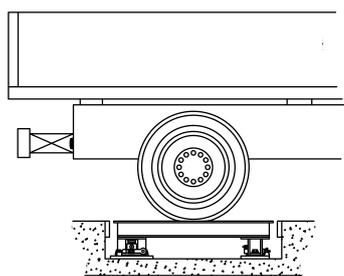


Figure 6-6 : Balance de véhicule pour le pesage routier dynamique

Modules de pesage autocentreurs sans stabilisateurs

Les stabilisateurs ne sont pas requis pour les applications suivantes :

- **Balance de cuve, statique** : Une balance de cuve statique, horizontale ou verticale, ne possède pas de mélangeurs et ne provoque pas de réactions chimiques qui entraîneraient le déplacement horizontal de la cuve. La seule opération de remplissage et de vidange n'exige pas l'emploi de stabilisateurs. Une balance de cuve statique n'exige pas de stabilisateurs (voir la Figure 6-7).
- **Balance de cuve, avec agitation mécanique** : Certaines cuves ont un mélangeur de faible puissance dont la puissance nominale est de 1,5 kW (2 hp) maximum. Une petite turbine marine de 150 mm maximum de diamètre mélange le liquide. Avec un logiciel de filtrage adéquat sur l'indicateur, cette application n'exige pas de stabilisateurs, même si le mélange a lieu pendant le pesage (voir la Figure 6-8).
- **Balance de cuve avec un mélangeur, pesage statique** : Ce type de balance est parfois soumis à des forces dynamiques, mais pas pendant les pesées. Comme le mélangeur ne nuit pas aux résultats de pesage, les stabilisateurs ne sont pas nécessaires (voir la Figure 6-9).
- **Balance doseuse** : Certaines balances doseuses intègrent des vibrateurs pour faciliter leur vidange. À l'ouverture et à la fermeture, les portes peuvent causer des puissances de choc supplémentaires. Tant que les forces ne surviennent pas pendant la pesée, une balance doseuse n'exige pas de stabilisateurs (voir la Figure 6-10).
- **Balance de convoyeur, faible vitesse** : Dans les applications basées sur des balances de convoyeur à faible vitesse (généralement à capacité élevée), le temps de stabilisation n'est traditionnellement pas critique. Au lieu d'utiliser des stabilisateurs, il est préférable de laisser la balance absorber les chocs et se rétablir après des chocs horizontaux (voir la Figure 6-11).
- **Bascule** : Tant que la bascule n'est pas soumise à des forces dynamiques et que le temps de stabilisation n'est pas problématique, les stabilisateurs ne sont pas obligatoires. Même si la bascule subit occasionnellement des chocs (par exemple pendant son chargement par un chariot-élévateur), il vaut mieux la laisser absorber les chocs et se rétablir d'elle-même après l'impact (voir la Figure 6-12).
- **Bascule, conduite** : Si une bascule est utilisée pour peser des véhicules à moteur comme des chariots-élévateurs, l'arrêt du véhicule peut entraîner des forces horizontales importantes. Le temps de stabilisation n'est pas critique dans ces applications. La configuration normale consiste à laisser la balance flotter librement (sans stabilisateurs) à l'aide de heurtoirs externes pour limiter les mouvements horizontaux. L'écart entre les heurtoirs doit être minime afin que la bascule touche les heurtoirs externes avant d'entrer en contact avec les heurtoirs du module de pesage (voir la Figure 6-13). **Remarque** : Bien que ce type de balance dynamique n'exige pas de stabilisateurs, il est conseillé d'utiliser des butoirs ou des contrôles externes.
- **Balance de bobines, butoir externe** : La bobine s'enroule de façon inclinée vers la balance, se heurte à un butoir externe et revient dans une encoche en V dans la plate-forme pour la pesée. Après la pesée, le butoir se soulève et la bobine s'éjecte de l'encoche pour se dérouler de la balance. Le temps de stabilisation n'est généralement pas important. Au lieu d'utiliser des stabilisateurs, il est préférable de laisser la balance absorber les chocs et se rétablir après des chocs horizontaux (voir la Figure 6-14).
- **Balance de bobines, arrêt intégré** : Avec ce type de balance, la bobine s'enroule de façon inclinée vers la balance puis est arrêté. Il est stabilisé par un butoir monté sur la balance dynamique. Après la pesée, le butoir se rétracte et la bobine se déroule de la balance. Le temps de stabilisation n'est généralement pas important. Lorsque la bobine heurte le butoir, plusieurs forces horizontales en découlent. Au lieu d'utiliser des stabilisateurs, il est préférable de laisser la balance flotter librement jusqu'à ce qu'elle touche les heurtoirs externes. L'avant du butoir rétractable doit être couplé à un matériau conforme (à ressort). L'écart entre les heurtoirs doit être minime afin que la bascule touche les heurtoirs externes avant d'entrer en contact avec les heurtoirs du module de pesage (voir la Figure 6-15). **Remarque** : Bien que ce type de balance dynamique n'exige pas de stabilisateurs, il est conseillé d'utiliser des butoirs ou des contrôles externes.

Remarque : Un mélangeur est parfois monté sur un élément de structure ou un socle posé sur le plancher, indépendamment de la balance (voir la Figure 6-16). Il convient de se rappeler que la force de poussée de l'impulseur peut rendre la balance beaucoup plus légère ou lourde qu'elle ne l'est, selon le sens de rotation. Il est important que le pesage n'ait pas lieu lorsque le mélangeur est en service.

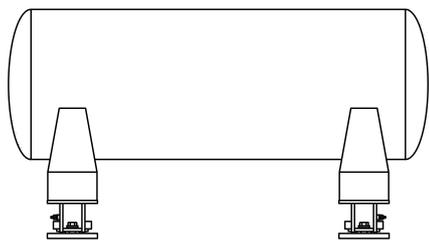


Figure 6-7 : Balance de cuve, statique

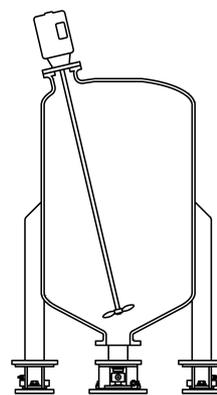


Figure 6-8 : Balance de cuve, avec agitation mécanique

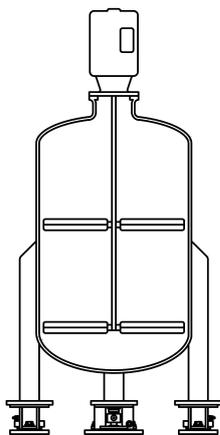


Figure 6-9 : Balance de cuve avec un mélangeur, Pesage statique

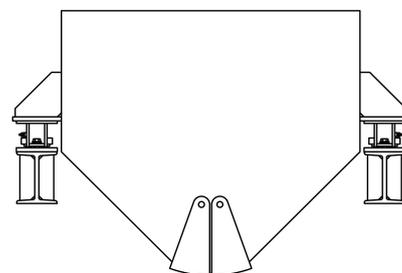


Figure 6-10 : Balance doseuse

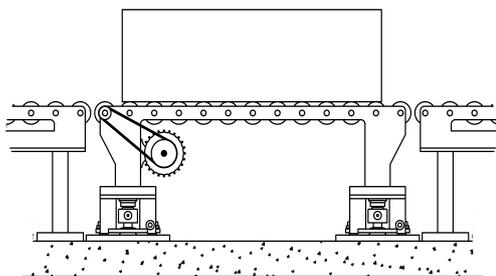


Figure 6-11 : Balance de convoyeur, faible vitesse

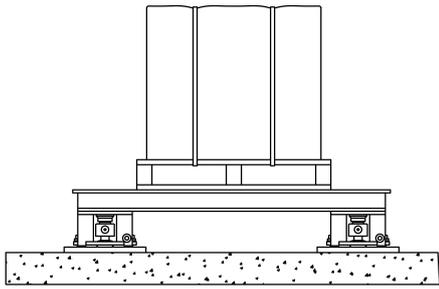


Figure 6-12 : Bascule

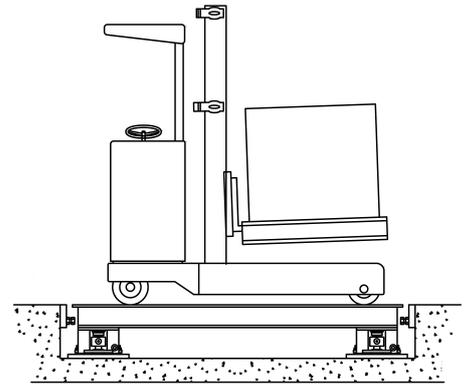


Figure 6-13 : Bascule, conduite

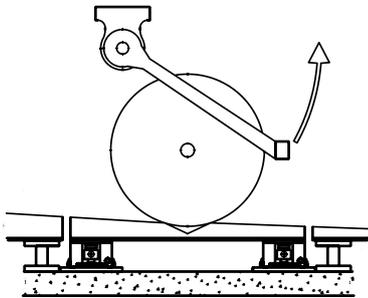


Figure 6-14 : Balance de bobines, butoir externe

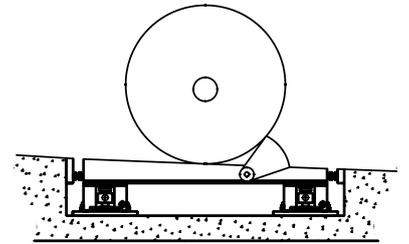


Figure 6-13 : Bascule, conduite

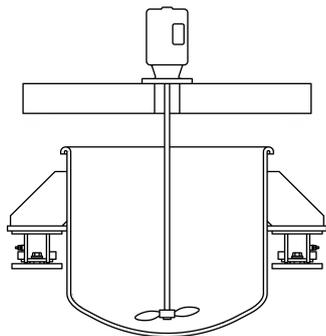


Figure 6-16 : Montage indépendant du mélangeur

Calibrage des modules de pesage, distribution uniforme de la charge

Pour concevoir une balance de cuve qui effectuera un pesage précis de son contenu, sans dégâts pendant son fonctionnement, vous devez recourir à des modules de pesage possédant la capacité de capteur de pesage adéquate. Ce chapitre porte sur les balances sur lesquelles la répartition de la charge est quasi-uniforme sur tous les modules de pesage ; cela est courant sur les cuves, les trémies et les cuves de réacteurs symétriques, avec positionnement symétrique des modules de pesage. Dans ce cas, le dimensionnement des modules de pesage de la balance s'articule autour de trois facteurs principaux : (1) le poids de la cuve à vide, (2) le poids du contenu de la balance pleine et (3) le nombre des modules de pesage. Le nombre des modules de pesage sera égal au nombre de piètements ou de supports de la balance.

Le calcul tient généralement compte d'un facteur de sécurité standard de 1,25 pour compenser la répartition de charge inégale et l'insuffisance de poids. Certaines installations doivent satisfaire à des conditions environnementales particulières qui exigent des facteurs de sécurité supplémentaires (voir le Chapitre 4, Facteurs environnementaux du module de pesage).

Calcul des dimensions du module de pesage

Imaginez qu'il faut ajouter des modules de pesage à une cuve capable de contenir 10 000 kg de liquides. La cuve seule pèse 5 000 kg et repose sur quatre piètements. Seul le facteur de sécurité standard serait requis pour cette installation. Pour déterminer la taille des modules de pesage requis, calculez le poids total de la cuve et de son contenu, ajoutez le facteur de sécurité, puis divisez par le nombre de modules de pesage.

Unités impériales		Unités métriques	
20 000 lb	Poids de liquides	10 000 kg	
+ 10 000 lb	Poids de la cuve à vide	+ 5 000 kg	
30 000 lb	Poids total	15 000 kg	
× 1,25	Facteur de sécurité	× 1,25	
37 500 lb	Poids ajusté	18 750 kg	
÷ 4	Nombre de modules de pesage	÷ 4	
9 375 lb	Poids par module de pesage	4 688 kg	

Comme chaque module de pesage devra traiter jusqu'à 9 375 lb [4 688 kg], il convient d'utiliser des modules de pesage de 10 000 lb [5 000 kg] de capacité chacun. Reportez-vous au chapitre suivant pour une description des balances à répartition de charge inégale.

Lors de la sélection de la capacité du capteur de pesage, tenez également compte de son utilisation anormale ou abusive de la balance. Voici quelques exemples :

- Les balances de plancher en fosse à faible capacité sont souvent endommagées par les chariots-élévateurs à fourche ou les véhicules qui les traversent.
- Dans les aéroports, comme les balances des guichets d'enregistrement de bagages n'effectuent pas de pesées supérieures à 45 kg, les employés marchent souvent sur ces balances.
- Les balances de table sont connues pour être endommagées par les personnes changeant les ampoules.
- Si une vanne de remplissage reste ouverte sur une balance de cuve, elle peut se remplir au-delà de la capacité prévue.

Il est possible de sélectionner des capteurs de pesage qui ne seront en aucun cas endommagés, mais la précision est un bon compromis. Dans ces cas, envisagez d'intégrer des garde-corps, des limiteurs de charge, des panneaux d'avertissement, la formation des employés, etc.

Calibrage des modules de pesage, répartition irrégulière de la charge

Pour concevoir une balance qui effectuera des pesages précis, sans subir de dégâts pendant son fonctionnement, vous devez recourir à des modules de pesage possédant la capacité de capteur de pesage adéquate. Ce chapitre porte sur les balances dont la répartition de charge est très variable, telles que les bascules, les balances à bobine et à convoyeur où les charges concentrées peuvent être excentrées ou peuvent traverser la balance. Par exemple, lorsqu'un chariot-élévateur chargé roule sur une bascule, toute la charge peut être emportée par les roues avant, en appliquant temporairement toute la charge sur deux modules de pesage seulement. Dans ces cas, le calibrage des modules de pesage repose sur quatre facteurs principaux : (1) le poids à vide du pont-basculé sur lequel le matériel est placé, (2) le poids maximal du matériel ou de l'objet à peser, (3) le nombre de modules de pesage et le (4) type de chargement. Le chargement le plus courant est le chargement en bout d'une bascule. La répartition irrégulière de la charge peut apparaître avec les balances non symétriques et/ou le positionnement du module de pesage, l'équipement à montage excentré sur des balances de cuve ou des convoyeurs, pour n'en citer qu'une partie.

Pour mieux comprendre la différence entre le chargement total en bout et la charge répartie, imaginez une balance de convoyeur avec un module de pesage à chacun des 4 angles. Le chargement en bout a lieu lorsqu'un petit objet dense se déplace sur un convoyeur assez long. Au départ, le poids total de l'objet est concentré sur les deux modules de pesage à l'entrée de la balance. Lorsque l'objet s'approche du centre du convoyeur, son poids est réparti uniformément entre les quatre modules de pesage. La charge répartie concerne les objets de grande taille qui se déplacent sur une balance de convoyeur compacte. Dès que tout le poids de l'objet se trouve sur la balance, une partie de la charge est transférée vers les modules de pesage à la sortie de la balance. Si le chargement en bout est requis, vous devez calibrer les modules de pesage afin que deux d'entre eux puissent soutenir toute la charge.

Un facteur de sécurité standard de 1,25 est compris dans le calcul pour anticiper les événements inattendus, la sous-estimation des poids, etc. Certaines installations peuvent faire l'objet d'exigences environnementales particulières qui requièrent des facteurs de sécurité supplémentaires ; reportez-vous au chapitre 4, Facteurs environnementaux du module de pesage.

Calcul des dimensions du module de pesage

Imaginez que vous souhaitez calibrer les modules de pesage d'une balance de bobines dont la plateforme carrée peut peser une bobine d'acier de 1 500 kg. La balance de bobines pèse à elle seule 1 000 kg et doit être soutenue par quatre modules de pesage. Comme la bobine s'enroule dans la balance à l'une de ses extrémités, le système doit être calibré pour le chargement en bout basé sur deux modules de pesage. Dans ce cas, calculez le poids total à appliquer aux 2 modules de pesage (le poids de la bobine + la moitié du poids mort de la balance), tenez compte des facteurs de sécurité puis divisez par deux le nombre de modules de pesage qui partagent cette charge.

Unités impériales		Unités métriques	
3 000 lb	Poids de la bobine	1 500 kg	
+ 1 000 lb	Poids de la balance à vide ÷ 2	+ 500 kg	
4 000 lb	Poids total	2 000 kg	
× 1,25	Facteur de sécurité	× 1,25	
5 000 lb	Poids ajusté	2 500 kg	
÷ 2	Nombre de modules de pesage	÷ 2	
2 500 lb	Poids par module de pesage	1 250 kg	

Employez quatre modules de pesage auto-centreurs de 2 500lb [1 250 kg] pour cette application. Si cette capacité est indisponible, utilisez la taille supérieure disponible.

Lorsque la répartition irrégulière de la charge est due à une balance non-symétrique, un placement non symétrique du module de pesage, un équipement à montage excentré, etc., il faut effectuer des calculs individuels pour veiller à ne jamais dépasser la capacité nominale du module de pesage.

Lutte contre le soulèvement

Des forces de nature involontaire, liées au vent ou à des événements sismiques peuvent être assez fortes pour renverser certaines cuves. Si un tel risque existe, utilisez des modules de pesage intégrant des dispositifs anti-soulèvement. À défaut, il convient d'effectuer des contrôles externes pour résister aux moments de renversement.

Sélection du matériau

Les capteurs de pesage et les autres composants du module de pesage peuvent être en acier de carbone ou en acier inoxydable. Les modules de pesage exposés à l'humidité ou à un environnement corrosif sont généralement en acier inoxydable. Lors de la sélection des modules de pesage, il faut tenir compte de l'environnement d'utilisation et du type de matériaux que le site traitera. Voir le chapitre 10, annexe 6, Tableau des résistances chimiques, qui contient les données de résistance chimique pour faciliter la sélection des matériaux.

Orientation du module de pesage

Avant d'installer les modules de pesage, pensez à leur disposition sur la cuve. Espacez les modules de pesage afin qu'ils puissent soutenir des poids plus ou moins égaux et vérifiez que les modules de pesage sont bien orientés les uns par rapport aux autres. L'orientation du module de pesage dépend de sa conception. L'orientation peut également être affectée par les options telles que les stabilisateurs utilisés avec des modules de pesage auto-centreurs. Pour effectuer une bonne orientation des modules, reportez-vous au Manuel d'installation et de service correspondant aux modules de pesage en cours d'installation.

La Figure 6-17 illustre des systèmes classiques composé de trois ou quatre modules de pesage.

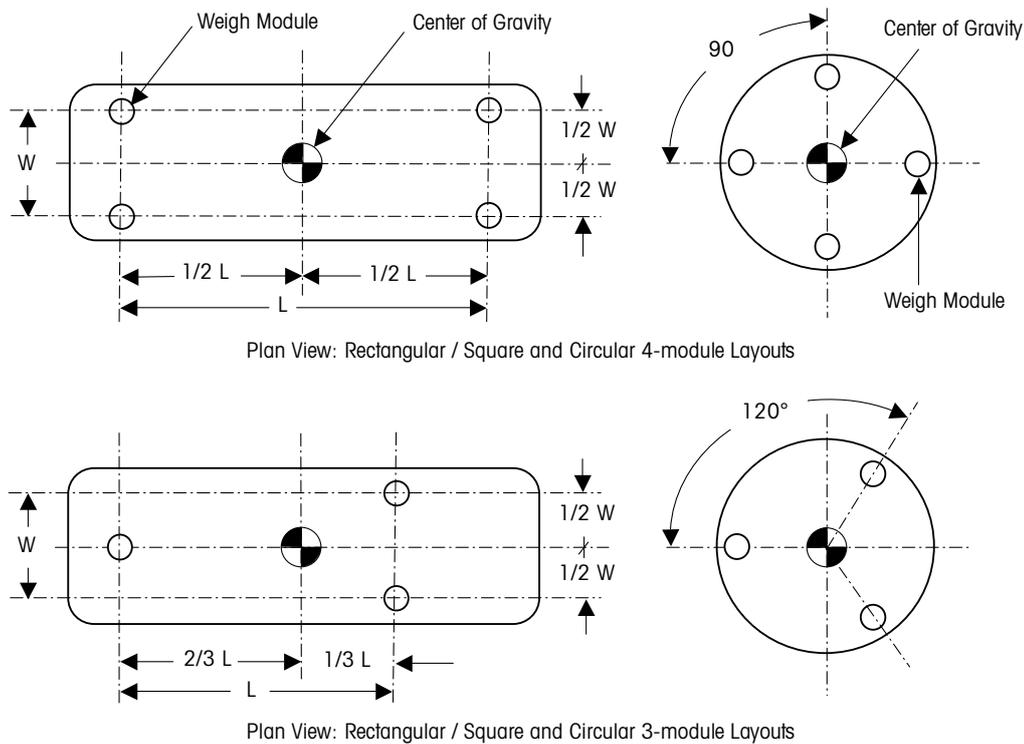


Figure 6-17 : Configurations courantes de systèmes à trois ou quatre modules de pesage

Systèmes de détection du niveau

Si un système de détection de niveau relativement imprécis suffit, avec une précision de 0,5 % à 2 % de la capacité du système, vous pouvez réaliser des économies en choisissant un système qui allie modules de pesage » réels « et » faux capteurs ». Ce type de système est souvent utilisé dans les applications comme le stockage en vrac dans des cuves ou des silos pour lesquelles une indication grossière du contenu est suffisante. Chaque module de pesage » réel « utilise un capteur de pesage opérationnel tandis qu'un module de pesage » faux capteur « utilise un capteur factice ou intègre simplement un support hors tension soudé possédant la même géométrie de montage que les modules de pesage.

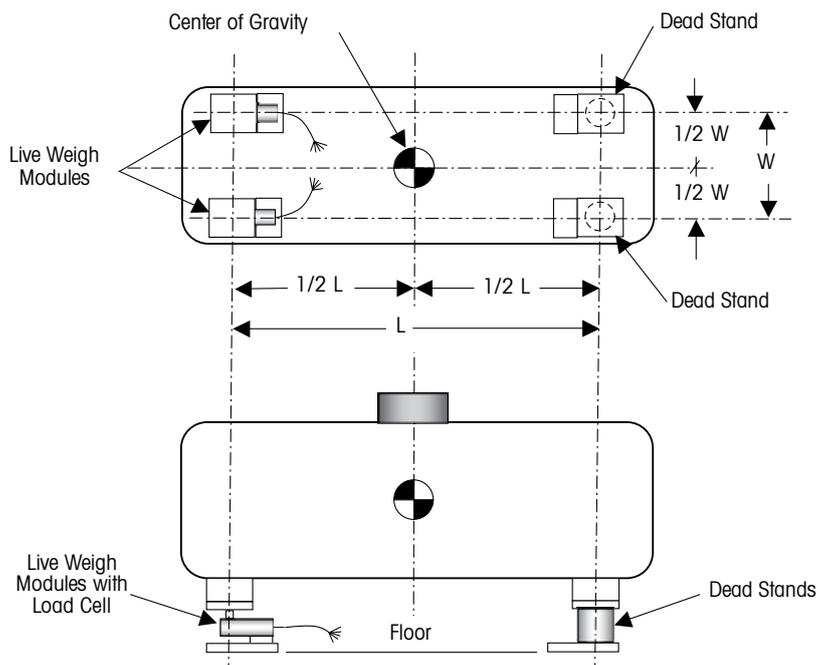
Bien qu'un faux capteur soudé soit moins onéreux, un module de pesage doté d'un capteur factice offre la possibilité d'ajouter ultérieurement un capteur opérationnel à charge utile si l'exactitude du système l'exige. Si vous recourez à un faux capteur soudé, vérifiez que sa capacité de charge soit supérieure ou égale à celle du module de pesage » réel «.

Les systèmes de détection de niveau conviennent surtout aux balances de cuve pour liquides ou gaz. Ils sont moins adaptés au pesage de solides autostabilisateurs car le déplacement horizontal du centre de gravité provoque des imprécisions. Mettler-Toledo déconseille l'emploi de systèmes de détection de niveau avec des poudres ou des granulés autostabilisateurs ; ils ne s'utilisent pas avec des balances de pesage de charges concentrées comme les charges dont le positionnement n'est pas reproductible. La cuve ou le silo doit également être symétrique par rapport à un axe vertical le long duquel le centre de gravité (C.G.) augmente/diminue à mesure que la cuve ou le silo se remplit/se vide. Ainsi une part cohérente de la charge est appliquée à chaque point d'appui, réel ou faux capteur. Une répartition cohérente de la charge est essentielle pour un bon fonctionnement du système de détection de niveau.

Il est conseillé d'utiliser des systèmes de détection de niveau sur des cuves exigeant trois ou quatre points d'appui seulement. Une cuve de trois points d'appui utilise un module réel et deux modules ou supports faux capteur. Une cuve de quatre points d'appui utilise deux modules réels et deux modules ou supports faux capteur.

La Figure 6-18 illustre le positionnement idéal des modules de pesage réels pour un système de détection de niveau carré ou rectangulaire à quatre modules. Dans ce cas, on suppose que les modules de pesage réels transportent 50 % de la charge appliquée. L'étalonnage peut s'opérer par simulation électronique ou avec CalFree. Les modules de pesage réels ne doivent pas être placés en diagonale.

Il n'est pas nécessaire de placer les points d'appui afin qu'ils supportent tous la même charge. Si ce n'est pas le cas, il faut réaliser un étalonnage avec des poids.



Plan & Elevation View: Four-module Level Detection System (two live and two dead modules)

Figure 6-18 : Disposition d'un système de détection de niveau à quatre modules

Lors du calibrage des modules de pesage réels, appliquez la procédure décrite dans le chapitre « Calibrage des modules de pesage, répartition uniforme de la charge » ci-dessus en utilisant le nombre total de points d'appui au lieu du nombre de modules de pesage.

Installation

Pour consulter les consignes d'installation précises, reportez-vous au Manuel d'installation et de service du module de pesage. La procédure adéquate dépend des exigences particulières de l'application. Tout d'abord, il faut tenir compte des fondations où la balance de cuve sera placée. Il s'agit souvent d'un sol en béton ou d'une structure en acier. Quel que soit votre choix, vous devrez vous assurer que la fondation soit assez solide pour résister au poids de la balance pleine. Les données de la plaque de base (la pression qu'un module de pesage exerce sur une fondation) sont généralement fournies dans le manuel d'installation et de service du module de pesage.

REMARQUE : la conception de la cuve et de la structure doit permettre un entretien aisé des capteurs de pesage. Dans de nombreux types de modules de pesage, le retrait d'un capteur de pesage exige le soulèvement du plateau. Lorsqu'une cuve possède de nombreux tuyaux, le soulèvement du plateau peut se traduire par des dépenses et des immobilisations supplémentaires. La pose de plaques d'écartement (disponibles chez METTLER TOLEDO) entre les modules de pesage et la cuve permet l'entretien des capteurs de pesage en retirant des charges du module de pesage.

Procédure générale

Protégez les capteurs de pesage pendant l'installation. Veillez à ce que les modules de pesage se trouvent en mode d'installation.

1. Placez un module de pesage chaque piètement ou anse de fixation de la cuve puis abaissez lentement la cuve sur les modules de pesage.
2. Veillez à ce que chaque point d'appui de la cuve est bien soutenu par le plateau d'un module de pesage et que tous les plateaux sont à la même hauteur à $\pm 1/2$ degré (voir la remarque à la fin de ce chapitre). Ajoutez au besoin des cales jusqu'à ce que chaque point d'appui soit soutenu et que les plateaux soient à la même hauteur.
3. Si des forces de soulèvement sont possibles, veillez à ce que la méthode d'ancrage des plateaux supérieurs et des plaques de base permette le transport de la charge. En cas de soudage, cela concerne la longueur de soudure et la taille ; en cas de boulonnage, cela concerne la taille et la résistance des boulons ou des boulons en J ; si vous utilisez des ancrages extensibles ou des tampons époxy, veillez à ce qu'ils conviennent et qu'ils soient fixés conformément aux recommandations du fabricant.

Remarques concernant le calage :

Plateaux

- Utilisez des cales pleine taille (de mêmes dimensions que le plateau) pour répartir à nouveau le poids ou éliminer l'instabilité aux angles de la cuve.
- Utilisez des cales partielles ou des kits de cales en acier inoxydable pour combler les écarts entre le plateau et le piètement/anse de fixation de la cuve. Soutenez en particulier le centre du plateau où se concentrent les forces d'appui (sur le Gagemount de 20-100t, le capteur de pesage soutient un point qui n'est pas le milieu du plateau). Dans ce cas, ajoutez des cales directement au-dessus de l'axe vertical du capteur de pesage).

Plaques de base

- Comblez les gros écarts entre la plaque de base et la fondation en béton avec du coulis de ciment injectable (par exemple du Hilti HIT HY 150) lors de la fixation des boulons d'ancrage.

Boulonnez ou soudez le plateau de chaque module de pesage au piètement ou à l'anse de fixation, conformément aux instructions . Le plateau VLM2 ne peut pas être soudé.



ATTENTION

NE PAS PASSER LE COURANT DE SOUDAGE DANS LES CAPTEURS DE PESAGE ! METTRE TOUJOURS LE POSTE DE SOUDAGE A LA TERRE LE PLUS PRÈS POSSIBLE DU LIEU DE TRAVAIL. NE JAMAIS SOUDER A PLUS DE 1,2 MÈTRE SUR TOUT CAPTEUR DE PESAGE SANS RETIRER CE DERNIER AU PRÉALABLE.

4. Abaissez la cuve sur la fondation (dalle de béton ou appui de poutrage). Sur la fondation, marquez la position des trous de fixation de la plaque de base (voir la Figure 6-19).

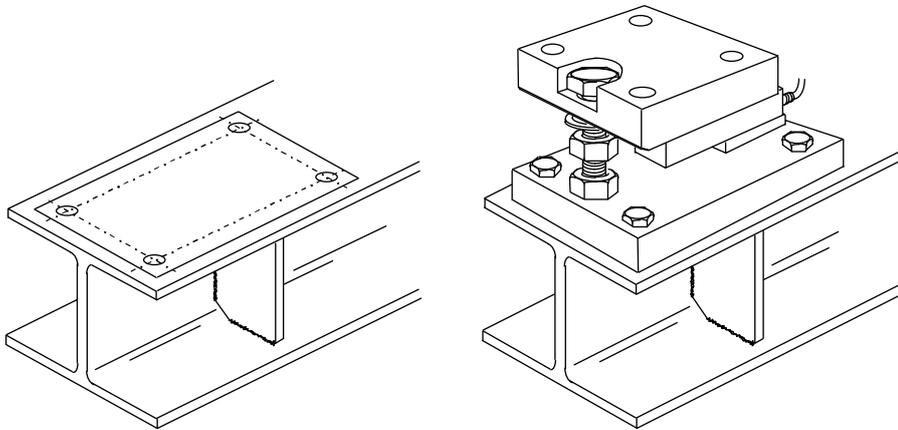
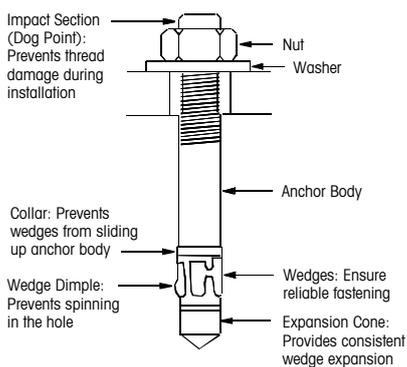


Figure 6-19 : Emplacement des trous de boulon dans l'ossature métallique

5. Retirez la cuve en la soulevant puis percez les trous d'ancrage dans la fondation.
6. Fixez les plaques de base du module de pesage à la fondation en suivant les consignes fournies ci-dessous pour le type de fondation en place. Mettez les plaques de base à niveau à $\pm 1/2$ degré (voir la remarque à la fin de ce chapitre). Toutes les plaques de base doivent être au même plan à ± 3 mm.

Pour un sol en béton plat :

Abaissez à nouveau la cuve sur la fondation afin que les trous de fixation de la plaque de base soient alignés avec les trous percés dans le béton. Introduisez une clavette dans chaque trou de fixation de la plaque de base (voir la Figure 6-20). Suivez les instructions du fabricant du boulon d'ancrage en ce qui concerne la taille, la profondeur de perçage des trous et les couples adéquats.



Détails du boulon d'ancrage extensible

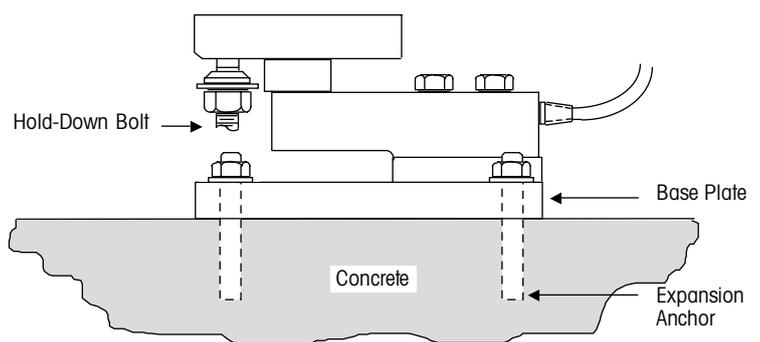


Figure 6-20 : Plaque de base boulonnée à un sol en béton plat

Pour un sol en béton inégal :

Les boulons de fixation de la plaque de base peuvent aussi être utilisés pendant l'installation pour soutenir et mettre à niveau les plaques de base. Fixez des tampons époxy filetés dans les boulons en J en béton ou coulés existants dans la fondation lorsque le béton est coulé. Placez les écrous et rondelles de réglage sous les plaques de base pour ajuster le niveau. Minimisez l'espace entre chaque plaque de base et le sol en béton et remplissez-le avec du coulis de ciment sans retrait dès que toutes les plaques de base sont à la même hauteur à $\pm 1/2$ degré et sur le même plan à ± 3 mm (voir la Figure 6-21).

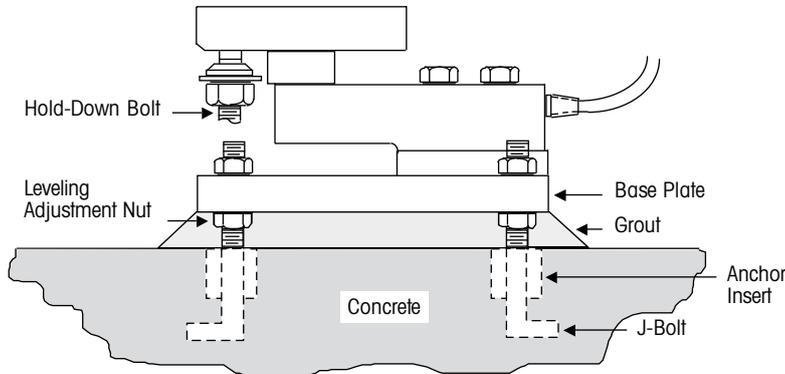


Figure 6-21 : Plaque de base boulonnée à un sol en béton inégal

Remarque : si vous utilisez des tampons de boulons en J, vous devrez les placer avec précision dans le béton avant de le couler ; utilisez par exemple un modèle en bois pour les localiser et les maintenir en place pendant que le béton est coulé.

Pour une fondation à poutres :

Utilisez des boulons traversants, des rondelles et des écrous pour ancrer la plaque de base à l'aile de la poutre (voir la Figure 6-22). Utilisez des raidisseurs d'âme pour empêcher le pivotement de la poutre. Si des cales sont nécessaires, mettez à niveau les plaques de base ou maintenez-les dans le même plan et ajoutez la cale sous toute la plaque de base. Soudez les plaques de base à la poutre conformément au Manuel d'installation et de service.

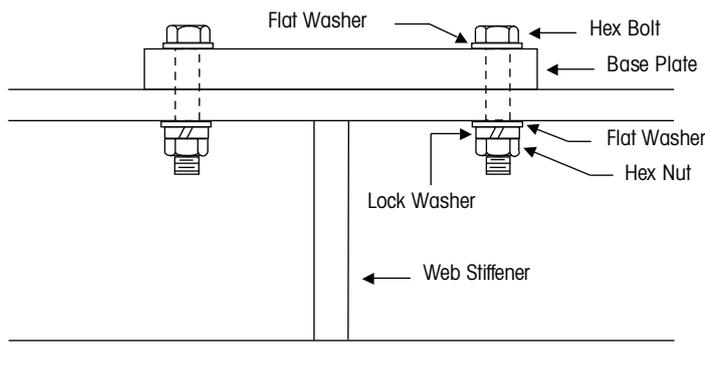


Figure 6-22 : Plaque de base boulonnée à un support de poutrage

7. Après avoir stabilisé tous les plateaux et les plaques de base, abaissez lentement le plateau et la structure de pesage sur les capteurs de pesage.

- Pour les modules de pesage équipés de boulons d'ablocage, veillez à ce qu'ils soient ajustés et qu'il y a suffisamment d'espace entre les boulons et le trou de retenue.
- Sur les modules de pesage Centerlign, remplacez l'outil de réglage avec un peson (avec des joints toriques). Veillez à ce qu'il y a suffisamment d'espace entre les boulons des heurtoirs et les capteurs de pesage.
- Introduisez le capteur de pesage s'il avait été retiré pour la pose.
- Placez le module de pesage en mode de pesage conformément au Manuel d'installation et de service.
- Vérifiez que la charge est bien répartie sur tous les modules de pesage en ajustant les cales.

- Montez la boîte de dérivation là où les câbles du capteur de pesage se terminent dans la boîte. Choisissez un lieu où ils seront protégés des projections et des lavages à grande eau. Ne pas monter la boîte de dérivation sur la balance car les câbles devraient relier la fondation morte et la balance dynamique et l'exactitude peut en être affectée. Ne pas monter la boîte de dérivation sur une surface chaude, par exemple sur le côté de la cuve où se trouve une chemise de réchauffage.

Remarque : Chaque capteur de pesage est fourni avec un câble de longueur standard. Ne pas rallonger ni raccourcir les câbles de capteurs de pesage sur le site ! La modification de la longueur d'un câble de capteur de pesage affecte la qualité du signal de sortie du capteur de pesage. Si le câble est trop long, il suffit de l'enrouler et de le ranger à l'intérieur ou à côté de la boîte de dérivation. Il est possible de commander des câbles de longueur spéciale.

- Raccordez les câbles de capteur de pesage à la boîte de dérivation et terminez les fils en suivant le code couleur fourni avec les instructions du capteur de pesage et de la boîte de dérivation.
- Raccordez le câble de colonne domotique de l'indicateur de la balance à la boîte de dérivation.
- Vérifiez que tous les raccordements directs et permanents (comme les tuyaux) sont flexibles et bien ancrés à la fois à la balance et au point de raccordement mort.
- Calibrez la balance.

Remarque :

Le plateau et la plaque de base doivent être à niveau à $\pm 1/2$ degré du plan horizontal. Cela équivaut à une hausse ou une baisse de 1/32 pouce toutes les 4 pouces de longueur. Ainsi, si une plaque de base a une longueur de 8 pouces, elle peut monter ou tomber de $(8/4) \times 1/32 = 1/16$ maximum sur sa longueur.

En unités métriques, $\pm 1/2$ degré équivaut à une montée ou chute de 1 mm tous les 125 mm de cycle. Ainsi, si une plaque de base a une longueur de 250 mm, elle peut monter ou tomber de $(250/125) \times 1 = 2$ mm maximum sur sa longueur.

Modules de pesage par traction

Introduction

Ce chapitre fournit des informations générales pour bien installer les modules de pesage par traction. Chaque application impose des exigences particulières et requiert un travail de planification par un ingénieur constructeur qualifié. Lors de l'installation des modules de pesage, consultez le manuel d'installation et d'entretien propre aux modèles donnés.

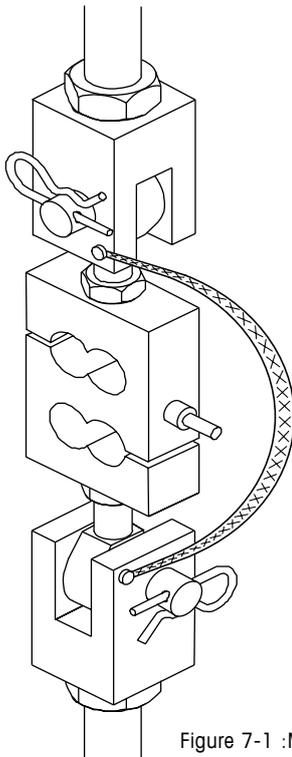


Figure 7-1 : Module de pesage par traction

Calibrage des modules de pesage

Pour concevoir une balance doseuse qui effectuera un pesage précis de son contenu, sans dégâts pendant son fonctionnement, vous devez recourir à des modules de pesage possédant la capacité de capteur de pesage adéquate. Le dimensionnement des modules de pesage de la balance doseuse s'articule autour de trois facteurs principaux : (1) le poids de la balance doseuse à vide, (2) le poids du contenu de la balance pleine et (3) le nombre des modules de pesage. Le nombre des modules de pesage équivaudra au nombre de supports de la balance.

Le calcul tient généralement compte d'un facteur de sécurité standard de 1,25 pour compenser la répartition de charge inégale et l'insuffisance de poids. Certaines installations peuvent faire l'objet d'exigences environnementales particulières qui requièrent des facteurs de sécurité supplémentaires (voir le chapitre 4, Généralités concernant le module de pesage).

Calcul des dimensions du module de pesage

Imaginez qu'il faut ajouter des modules de pesage à une balance doseuse capable de contenir 10 000 kg de grains. La balance pèse à elle seule 2 500 kg et est soutenue par quatre tiges filetées. Seul le facteur de sécurité standard serait requis pour cette installation. Pour déterminer la taille des modules de pesage requis, calculez le poids total de la balance doseuse et de son contenu, ajoutez les facteurs de sécurité, puis divisez par le nombre de modules de pesage.

Unités impériales		Unités métriques	
20 000 lb	Poids des grains	10 000 kg	
+ 5 000 lb	Poids de la balance à vide	+ 2 500 kg	
<hr/>		<hr/>	
25 000 lb	Poids total	12 500 kg	
× 1,25	Facteur de sécurité	× 1,25	
<hr/>		<hr/>	
31 250 lb	Poids ajusté	15 625 kg	
÷ 4	Ombre de modules de pesage	÷ 4	
<hr/>		<hr/>	
7 813 lb	Poids par module de pesage	3 906 kg	

Comme chaque module de pesage devra traiter jusqu'à 7 813 lb [3 906 kg], il convient d'utiliser des modules de pesage par traction de 10 000 lb [5 000 kg] de capacité chacun. Ce chapitre présuppose une répartition assez uniforme de la charge, ce qui est généralement le cas des applications par traction ; si la répartition de charge est inégale, reportez-vous au paragraphe Calibrage des modules de pesage, Répartition inégale de la charge dans le chapitre 6, Modules de pesage par compression.



AVERTISSEMENT

INSTALLER TOUJOURS UN SYSTÈME DE SÉCURITÉ (CHAÎNES, TIGES, ETC.) POUR EMPÊCHER LA CHUTE DE LA CUVE/TRÉMIE SUSPENDUE EN CAS DE LIEN DE TENSION OU DE PANNE D'UN COMPOSANT DU MODULE DE PESAGE.

Installation

Pour consulter les consignes d'installation précises, reportez-vous au Manuel d'installation et de service du module de pesage. Pour conserver la précision de pesage du système, vérifiez que l'ossature métallique ne se déformera pas sous la charge de service totale.

Procédure générale

1. Placez les modules de pesage par traction autour de la cuve afin qu'ils soutiennent chacun une part égale du poids de la cuve (voir la Figure 7-2). Vérifiez que les supports plafonniers de la structure et ceux de la balance sont bien alignés ; mieux, effectuez des réglages de précision pendant l'installation.

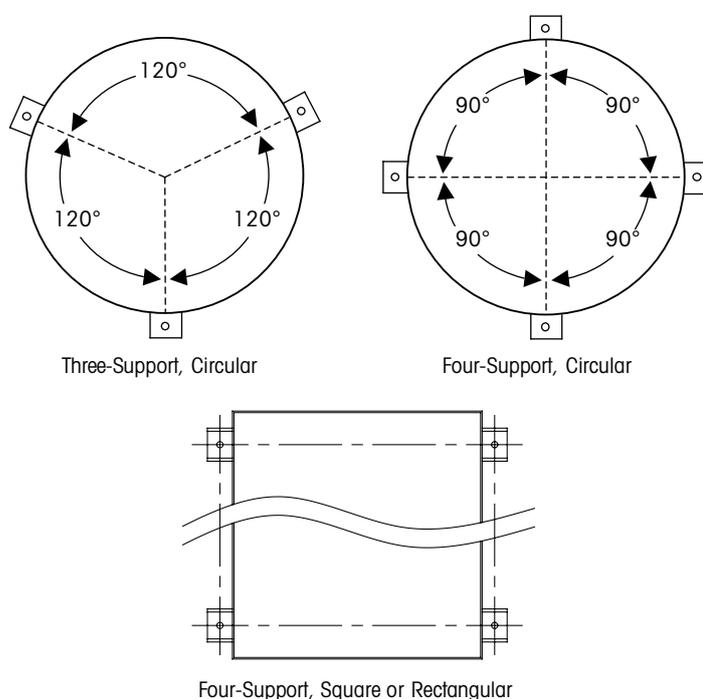


Figure 7-2 : Vue de dessus des dispositions recommandées du module de pesage

2. Les modules de pesage par traction de Mettler-Toledo intègrent des capteurs de pesage à poutre en S. Tous les capteurs de pesage à poutre en S doivent être orientés correctement. Les deux orientations possibles sont illustrées dans les Figures 7-3a et 7-3b ; les couvercles ont été retirés ici pour révéler les poutres horizontales. Leur extrémité supérieure est fixe. Lors de l'application de la charge à l'extrémité inférieure, les poutres se déforment, ce qui entraîne la descente du côté sous tension et de l'extrémité inférieure. Il est important que le câble sorte du côté faux capteur du capteur de pesage comme illustré dans la Figure 7-3b ; à défaut, le câble est une liaison charge utile/poids mort et des imprécisions peuvent apparaître, surtout avec les faibles capacités. Au besoin, réorientez un capteur de pesage à poutre en S en le tournant horizontalement à 180 degrés.

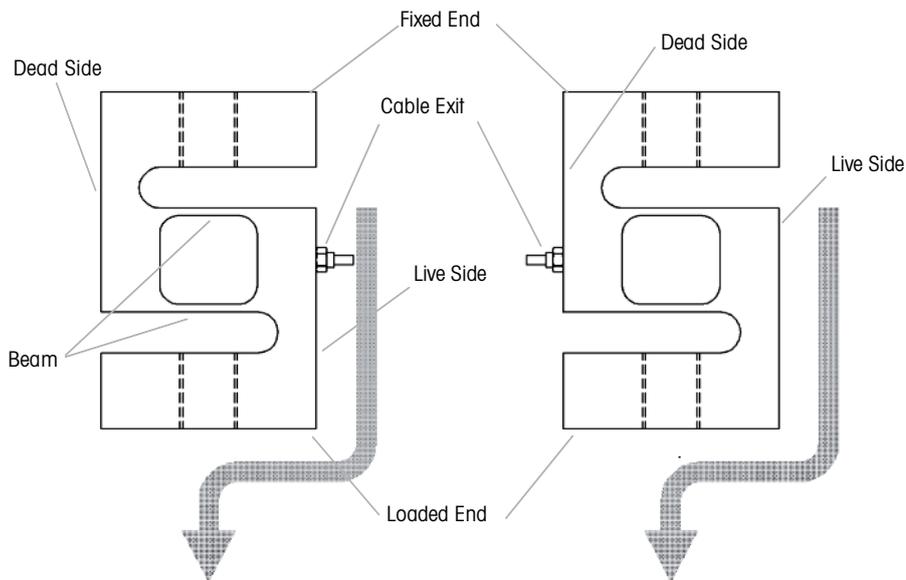


Figure 7-3a : Orientation incorrecte de la poutre en S

Figure 7-3b : Orientation correcte de la poutre en S

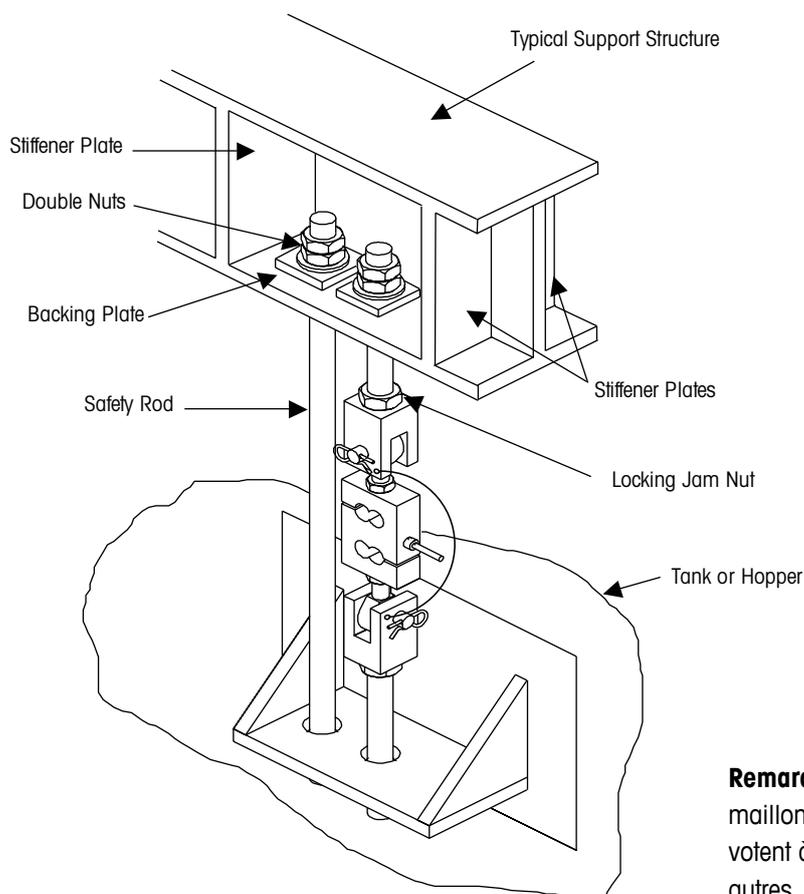
- Utilisez une tige filetée de la taille et de la résistance adéquates pour bien soutenir la balance doseuse. Connectez le maillon d'attache de chaque module de pesage à la tige filetée avec un contre-écrou. Vissez la tige filetée jusqu'à ce que toutes les tiges du maillon d'attache sont engagées. Serrez le contre-écrou contre le maillon d'attache pour empêcher la tige filetée de tourner.



AVERTISSEMENT

INSTALLER TOUJOURS UN SYSTÈME DE SÉCURITÉ (CHAÎNES, TIGES, ETC.) POUR EMPÊCHER LA CHÛTE DE LA CUVE/TRÉMIE SUSPENDUE EN CAS DE LIEN DE TENSION OU DE PANNE D'UN COMPOSANT DU MODULE DE PESAGE.

- Introduisez la tige filetée dans un trou du support supérieur ; veillez à ce que le capteur de pesage soit bien orienté comme indiqué au point 2. ci-dessus. Insérez une plaque d'appui et une rondelle sur l'extrémité de la tige filetée. Puis insérez un double écrou sur la tige filetée contre la plaque d'appui. Fixez l'autre extrémité du module de pesage de la même façon (voir la Figure 7-4). Les modules de pesage peuvent être tournés verticalement à n'importe quel angle qui convient à l'installation.



Remarque : Vérifiez que les supports du maillon d'attache supérieur et inférieur pivotent à 90 degrés les uns par rapport aux autres. Ceci réduit le balancement.

Figure 7-4 : Installation type du module de pesage par traction

5. Installez une sécurité à côté de chaque module de pesage (une barre de sécurité est illustrée ici). Maintenez l'espace entre le support inférieur et la rondelle sur la barre de sécurité (voir la Figure 7-5).

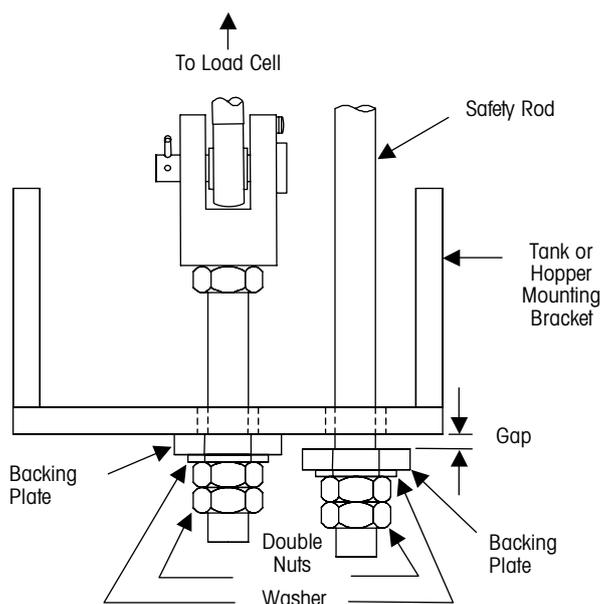


Figure 7-5 : Ensemble du module de pesage fixé au support inférieur

6. Une fois tous les modules de pesage installés, veillez à ce que chacun d'eux soit suspendu verticalement (aplomb). Réglez la longueur des barres pour atteindre une bonne répartition de la charge.
7. Pointez les plaques d'appui. Goujonnez les écrous aux deux extrémités des tiges filetées pour les empêcher de tourner. Vérifiez à nouveau l'étanchéité de tous les contre-écrous qui fixent les tiges filetées aux maillons d'attache.
8. Si la cuve suspendue effectue des mouvements horizontaux, installez des tiges réglables ou des boulons de butoirs pour limiter les mouvements horizontaux. Les Figures 7-6 et 7-7 illustrent des dispositions courantes. Elles veillent à limiter les mouvements grossiers de la balance mais ne sont pas conçus pour stabiliser les balances vibratoires. Les Figures 7-8, 7-9 et 7-10 illustrent des installations classiques du module de pesage par traction.
9. Montez la boîte de dérivation là où les câbles du capteur de pesage se terminent dans la boîte. Choisissez un lieu où ils seront protégés des projections et des lavages à grande eau. Ne pas monter la boîte de dérivation sur la balance car les câbles devraient relier la fondation faux capteur et la balance dynamique et l'exactitude peut en être affectée. Ne pas monter la boîte de dérivation sur une surface chaude, par exemple sur le côté de la cuve où se trouve une chemise de réchauffage.

Remarque : Chaque capteur de pesage est fourni avec un câble de longueur standard. Ne pas rallonger ni raccourcir les câbles de capteurs de pesage sur le site ! La modification de la longueur d'un câble de capteur de pesage affecte la sortie et la compensation thermique du capteur de pesage. Si le câble est trop long, il suffit de l'enrouler et de le ranger à l'intérieur ou à côté de la boîte de dérivation.

10. Raccordez les câbles de capteur de pesage à la boîte de dérivation et terminez les fils en suivant le code couleur fourni avec les instructions du capteur de pesage et de la boîte de dérivation.
11. Connectez la boîte de dérivation à l'indicateur de la balance avec un câble adéquat.
12. Vérifiez que tous les raccordements directs et permanents sont flexibles et bien ancrés à la fois à la balance et au point de raccordement mort.
13. Calibrez la balance.

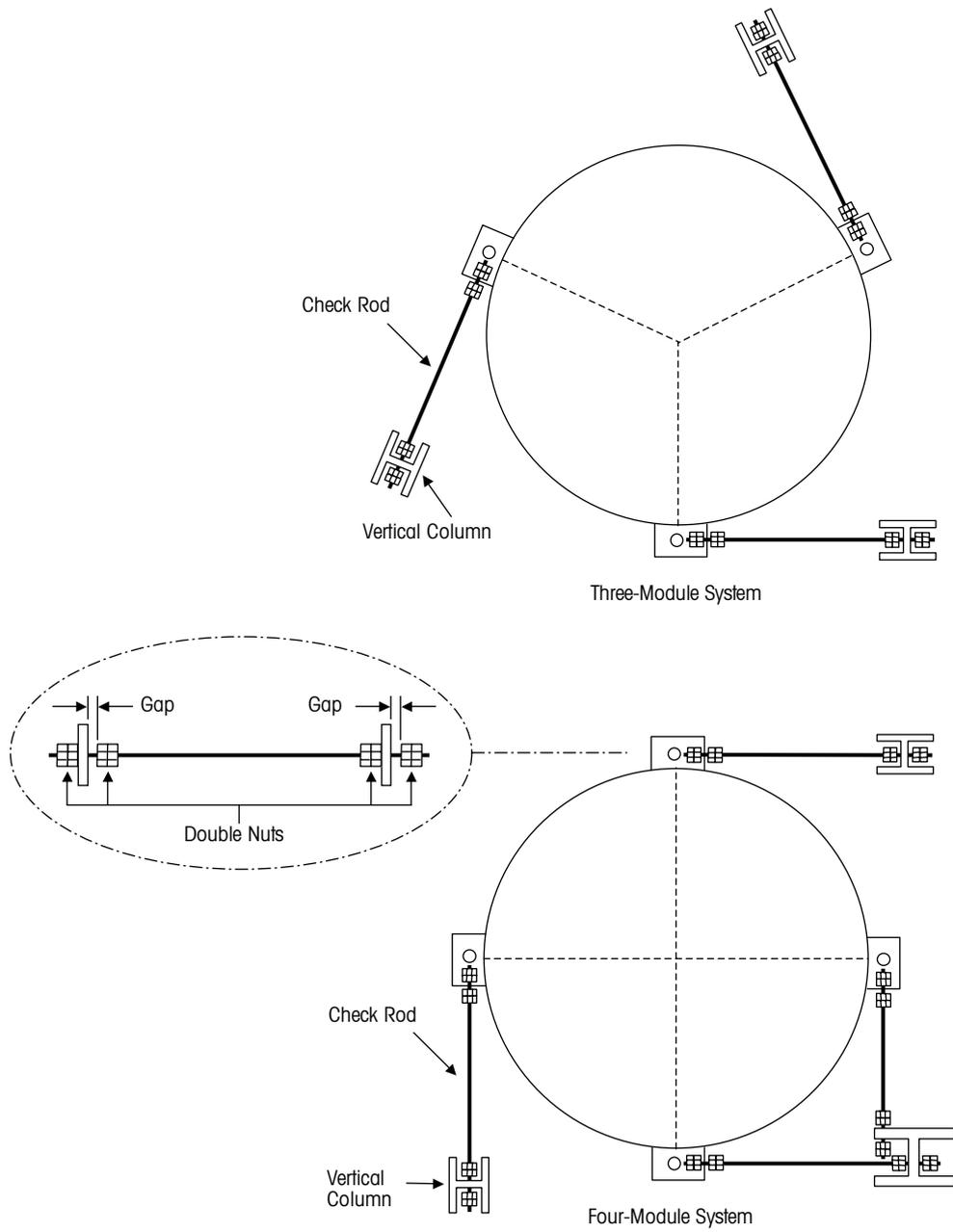


Figure 7-6 : Vue de dessus des tiges réglables pour les systèmes de trois et quatre modules de pesage

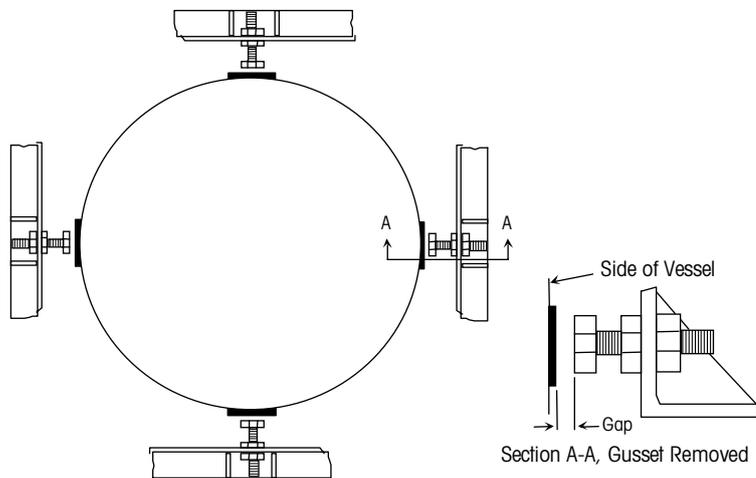


Figure 7-7 : Vue de dessus du système alternatif de boulons de butoir

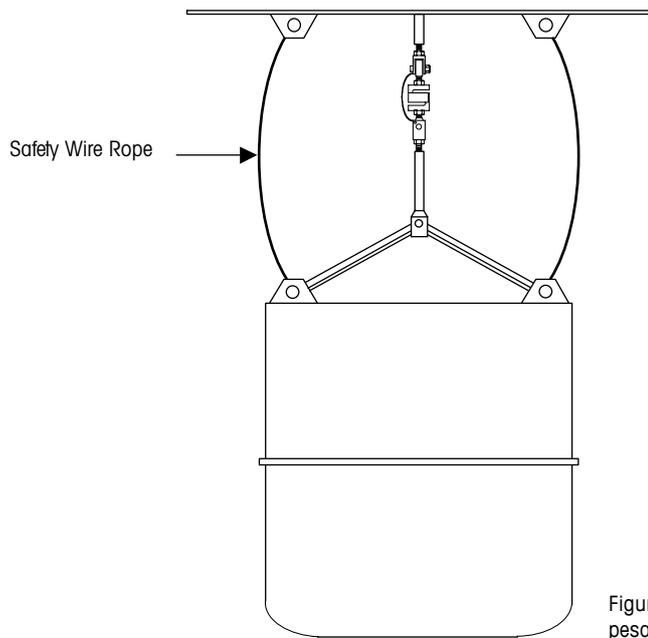


Figure 7-8 : Exemple d'installation du module de pesage par traction

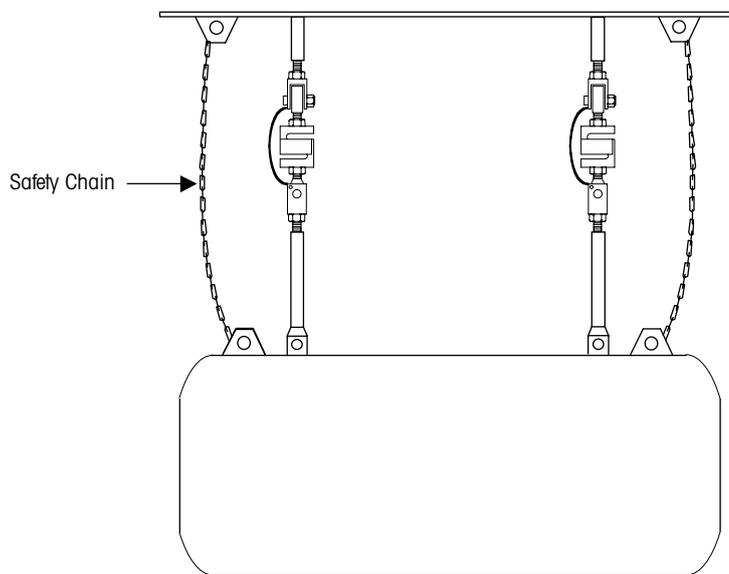


Figure 7-9 : Exemple d'installation du module de pesage par traction

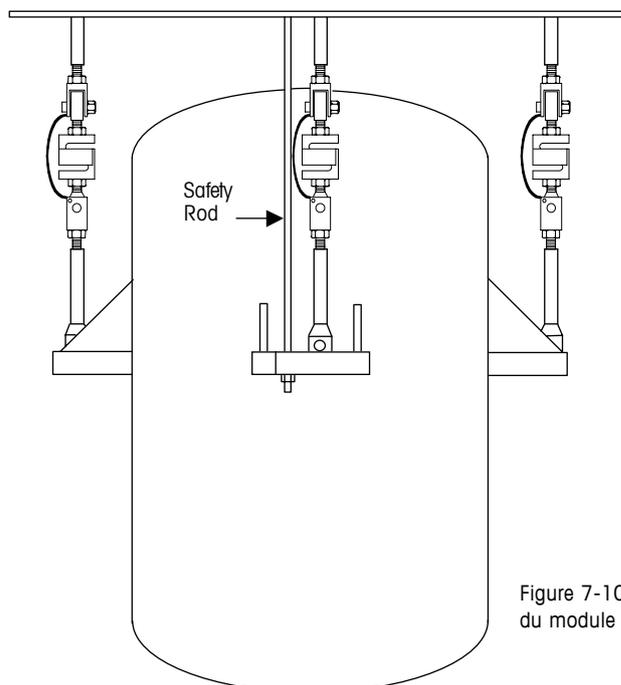


Figure 7-10 : Exemple d'installation du module de pesage par traction

Étalonnage du module de pesage

Après son installation, un module de pesage doit être calibré afin que les relevés figurant sur l'indicateur reflètent précisément la valeur du poids placé sur la balance. METTLER TOLEDO recommande l'étalonnage des balances avec des poids test équivalant à la capacité totale de la balance. Des instructions précises sur l'étalonnage se trouvent dans le manuel technique de l'indicateur numérique qui sera utilisé avec les modules de pesage.

La conception ou la taille d'une balance de cuve peut rendre impossible la suspension de poids test équivalant à la capacité totale de la balance. Pour ces applications, il existe plusieurs options d'étalonnage supplémentaires : étalonnage avec des poids test et substitution entre matières, étalonnage avec transfert de matières et étalonnage électronique.



AVERTISSEMENT

AUTORISER UNIQUEMENT LE PERSONNEL QUALIFIÉ À ENTRETENIR CET APPAREIL. FAIRE PREUVE DE PRUDENCE PENDANT LES CONTRÔLES, TESTS ET RÉGLAGES QUI SONT EFFECTUÉS SOUS TENSION. LE NON-RESPECT DE CES PRÉCAUTIONS PEUT ENTRAÎNER DES BLESSURES.

Calibrage avec des poids test

Le moyen le plus précis et le plus fiable consiste à calibrer une balance avec des poids test. Pour cette procédure de calibrage la balance de cuve doit être équipée d'anses de fixation permettant de suspendre des poids test (voir la Figure 5-7).

1. Commencez par relever le poids avec la cuve vide. Ajustez l'indicateur afin qu'il indique zéro lorsque la cuve est vide.
2. Vérifiez le bon fonctionnement de chaque capteur de pesage. Suspendez un poids test près d'un module de pesage et relevez le poids. Déplacez le poids test vers un second module de pesage puis relevez le poids. Répétez cette opération pour chaque module de pesage afin de vous assurer que tous les capteurs de pesage indiquent le même poids.
3. Vérifiez la reproductibilité pour vous assurer qu'il n'y a pas de problèmes de liaison mécanique ou de support.
4. Ajoutez des poids test à la balance, en relevant le poids pour chaque nouveau poids ajouté à la capacité totale de la balance. Vous devez au minimum relever le poids à un quart de la capacité, à la moitié de la capacité, aux trois-quarts et à la pleine capacité.
5. Si la balance de cuve doit peser son contenu à mesure qu'elle est déchargée, vous devriez également relever le poids après avoir enlevé les poids test.
6. À l'aide des relevés, tracez un graphique des performances de la balance, de 0 à la pleine capacité (et de la pleine capacité à zéro si ces relevés ont été pris).

Étalonnage avec des poids test et substitution entre matières

Avec les grandes balances de cuve, il est physiquement impossible de suspendre des poids test équivalant à la capacité totale de la cuve. Dans ces cas, vous devez utiliser une combinaison de poids test et une matière (comme de l'eau) pour étalonner la balance.

1. Après avoir pris un relevé à zéro, vous pouvez suspendre 225 kg de poids test puis prenez un relevé.
2. Puis retirez les poids test et ajoutez de l'eau à la cuve jusqu'à ce que le relevé soit le même que celui obtenu avec les poids test.
3. Toujours avec l'eau dans la cuve, suspendez les mêmes poids test et prenez un autre relevé.
4. Continuez à remplacer l'eau par les poids test puis prenez des relevés jusqu'à atteindre la capacité totale de la cuve.
5. Après avoir pris les relevés de zéro à la capacité totale, tracez un graphique des performances de la balance.

Étalonnage avec transfert de matières

Lorsque les poids test ne sont pas utilisables, vous pouvez étalonner une balance avec un transfert de matières. Au lieu de suspendre des poids test, pesez la matière (comme de l'eau) sur une autre balance et transférez-la vers la balance de cuve en cours d'étalonnage. Vous pouvez effectuer cette opération avec un transfert unique ou par étapes jusqu'à atteindre la capacité totale de la cuve. Cette méthode ne fournit qu'une indication grossière des performances de la balance. Elle dépend de l'exactitude de la balance existante et de l'intégrité du processus de transfert. Même dans les meilleures conditions, vous ne saurez pas si les erreurs permises sont systématiques ou compensatoires.

Étalonnage électronique

Simulateur du capteur de pesage

Il est possible d'étalonner une balance de cuve avec un simulateur de capteur de pesage. Reliez le simulateur de capteur de pesage directement à l'indicateur numérique du câble de colonne domotique sortant de la boîte de dérivation. Le simulateur envoie un signal équivalant au signal que devraient générer les capteurs de pesage. L'étalonnage électronique se distingue par sa rapidité et sa simplicité. Toutefois, il ne concerne que les pièces électroniques. Partant du principe que la cuve et toutes les connexions mécaniques fonctionnent correctement, l'étalonnage électronique ne vérifie pas les performances de la balance.

1. Le simulateur réglé sur zéro, ajustez l'indicateur sur zéro.
2. Réglez le simulateur sur la sortie totale (un signal équivalant au signal que doit générer les capteurs de pesage à leur capacité nominale).
3. Ajustez l'indicateur pour afficher la capacité totale de tous les capteurs de pesage du système.
4. Connectez l'entrée du capteur de pesage à l'indicateur.
5. Réglez l'indicateur pour lire le zéro au poids à vide de la cuve.

Étalonnage électronique avec CalFREE

Le programme CalFREE™ représente un autre moyen d'étalonner une balance sans poids test. Cette fonction patrimoniale de METTLER TOLEDO est intégrée dans la dernière gamme d'indicateurs industriels METTLER TOLEDO. Elle convient aux systèmes basés sur des capteurs de pesage analogiques de 2 mV/V ou 3 mV/V en valeur nominale.

Le programme CalFREE calcule la sortie de la balance en millivolts pour étalonner la balance par voie électronique. Dans la plupart des balances analogiques, cette valeur est de 2 ou 3 millivolts de sortie par volt d'excitation en valeur nominale à la capacité nominale. En raison des tolérances de fabrication, la sortie ou la sensibilité d'un capteur de pesage peut légèrement varier par rapport à ces valeurs nominales. Le programme CalFREE utilise le total des moyennes de sensibilité des capteurs de pesage pour déterminer la sortie système attendue à la capacité nominale. Le certificat d'étalonnage de chaque capteur de pesage indique la sensibilité du capteur de pesage à la capacité nominale.

Un certificat d'étalonnage papier est fourni avec chaque capteur de pesage. Une copie électronique des certificats électroniques peut être téléchargée depuis le site Internet :

<http://calfree-cert.mt.com>

Pour retrouver le certificat d'étalonnage d'une balance, munissez-vous du numéro de série de chaque capteur de pesage de la balance. Les certificats d'étalonnage sont enregistrés au format PDF en fonction du numéro de série. Par exemple, le fichier du capteur de pesage de numéro de série 601 1154-6LH est 6011154-6LH.pdf.

Comme avec le simulateur de capteur de pesage, la procédure basée sur le CalFREE n'étalonne la balance que par voie électronique. Il ne compense pas les influences mécaniques comme les fixations des tuyaux, le mouvement des supports, les vibrations, etc.

Indicateurs et applications

Indicateurs

L'objectif d'un indicateur de balance est de recevoir le signal transmis par les capteurs de pesage et de l'afficher en tant que relevé de poids. Dans les applications de pesage industriel, les indicateurs doivent fournir rapidement des relevés reproductibles qui demeurent stables à résolution élevée. Le facteur clé de sélection de l'indicateur est son aptitude à communiquer avec le matériel de contrôle utilisé pour l'application donnée.

Communications

Les fonctions de communication que doit posséder un indicateur dépendent de l'usage prévu des mesures fournies par l'échelle. Pour les processus très simples, l'indicateur peut utiliser des valeurs de consigne pour indiquer à l'opérateur quand il convient de remplir ou de vider manuellement la cuve. Pour les processus automatiques, les valeurs de consigne peuvent commander des vannes ou des doseurs. Dans les systèmes plus complexes, l'indicateur devra peut-être interagir avec un automate programmable industriel (PLC) qui exécute une opération complète.

L'interaction entre les autres équipements et l'indicateur dépend des entrées et sorties de communication de ce dernier. Les entrées et sorties sont décrites ci-après :

Entrée/sortie discrète

Les entrées discrètes sont des connexions servant à déclencher une commande ou une action dans l'indicateur d'une balance. Les commandes courantes sont Clear (Effacer), Tare (Tarer), Print (Imprimer), Zero (Mettre à zéro), basculer entre les unités de poids, entre les balances et désactiver l'affichage du poids.

Les sorties discrètes sont des connexions servant à activer ou désactiver le relais des informations de l'indicateur. Elles ne transmettent pas les poids réels. Les sorties discrètes peuvent être utilisées pour les points de consigne ou les informations d'état de la balance comme le mode balance en mouvement, zéro, surcapacité et poids net/brut. Comme ce sont des connexions directes reliant l'indicateur et le périphérique de sortie, ces sorties sont très rapides.

Sortie analogique

La sortie analogique est le signal variable du courant en milliampères ou de la tension en CC qui représente une valeur de poids. Cette dernière peut être exploitée par un PLC situé jusqu'à 15m de l'indicateur. Les données de poids sont converties plusieurs fois pendant leur transmission depuis les capteurs de pesage jusqu'au PLC, avec une perte de signal représentant une proportion de son exactitude à chaque conversion.

Sortie de communication série

Les ports de communication série permettent d'envoyer les données de poids depuis la balance jusqu'à un écran distant, des vannes de remplissage, un ordinateur, un PLC, une imprimante ou un autre matériel. Ces sorties peuvent transmettre des données relatives à l'état et la capacité de la balance, le pas, l'état de la valeur de consigne, l'unité de poids et le mode de pesage net/brut. Les sorties série peuvent transmettre plus d'informations que les sorties discrètes mais leur taux d'actualisation est plus faible. Les câbles peuvent être posés sur de longues distances mais la connexion à un PLC exige un logiciel/matériel supplémentaire.

Ces sorties peuvent communiquer en mode sur demande, continu ou hôte. Le mode sur demande envoie les données de poids à une imprimante ou un autre appareil mais uniquement lorsque l'utilisateur en fait la demande. Le mode continu transmet sans cesse les données de poids à un écran distant ou un autre appareil. Le mode hôte assure une communication bidirectionnelle entre la balance et un ordinateur hôte.

Interface PLC directe

Une interface PLC directe permet la transmission des informations suivantes :

- Données de poids : brut, tare, net, fréquence.
- Données d'état : mouvement, mode net, points de consigne, intégrité des données.
- Commandes : tarer, effacer, imprimer, mettre à zéro, charger la valeur de consigne, charger la tare, contrôler les messages affichés.
- Données à virgule flottante : format spécial avec des données et des commandes supplémentaires.

Cela exige un circuit imprimé spécial pour communiquer avec le PLC spécifique du fabricant. Les options suivantes sont disponibles pour les indicateurs METTLER TOLEDO IND130, IND560, IND780 et PANTHER :

- Allen-Bradley™ RIO : ce circuit imprimé permet à un indicateur de fonctionner comme un dispositif à entrée/sortie Allen-Bradley distant. Il permet le transfert discret des données entre l'indicateur et le PLC et bloque le transfert des données entre le PLC et d'autres appareils.
- Profibus™ DP : avec ce circuit, l'indicateur communique avec un PLC Siemens ou Texas Instruments. Les données discrètes peuvent entrer ou sortir en gros volumes.
- Modbus TCP : ce circuit permet à un indicateur de communiquer avec un réseau Modbus TCP. Avec ce circuit, les communications en mode discret bidirectionnel sont possibles.
- ControlNet : ce circuit permet à un indicateur de communiquer avec un PLC ControlNet par une connexion directe avec un réseau ControlNet. Avec ce circuit, les communications en mode discret bidirectionnel sont possibles.
- Ethernet/IP : avec ce circuit, l'indicateur peut communiquer avec un PLC Ethernet/IP par une connexion directe avec le réseau Ethernet/IP à un débit de 10 ou 100 MBPS. Avec ce circuit, les communications en mode discret bidirectionnel sont possibles.
- DeviceNet : DeviceNet est un réseau RS-485 basé sur une puce CAN. Il a été créé pour les dispositifs au niveau bit et octet.

Exactitude de pesage

Pesage dynamique

Les vibrations ou les mouvements survenant sur une balance peuvent nuire à l'exactitude des relevés de poids. Pour les applications de pesage dynamique qui se caractérisent par le mouvement constant de la charge de la balance, les indicateurs doivent être en mesure de prendre des relevés afin de calculer un poids moyen.

Filtrage

Le bruit ambiant correspond aux vibrations causées par les machines proches, des structures instables ou le vent et les courants d'air. Au lieu de calculer un poids moyen, les indicateurs peuvent filtrer ce bruit. L'indicateur possédant une vaste gamme de niveaux de filtrage offre le meilleur compromis entre réduction du bruit et vitesse d'actualisation.

Applications

La Figure représente un module de pesage type sur lequel l'indicateur est connecté au PLC d'un client.

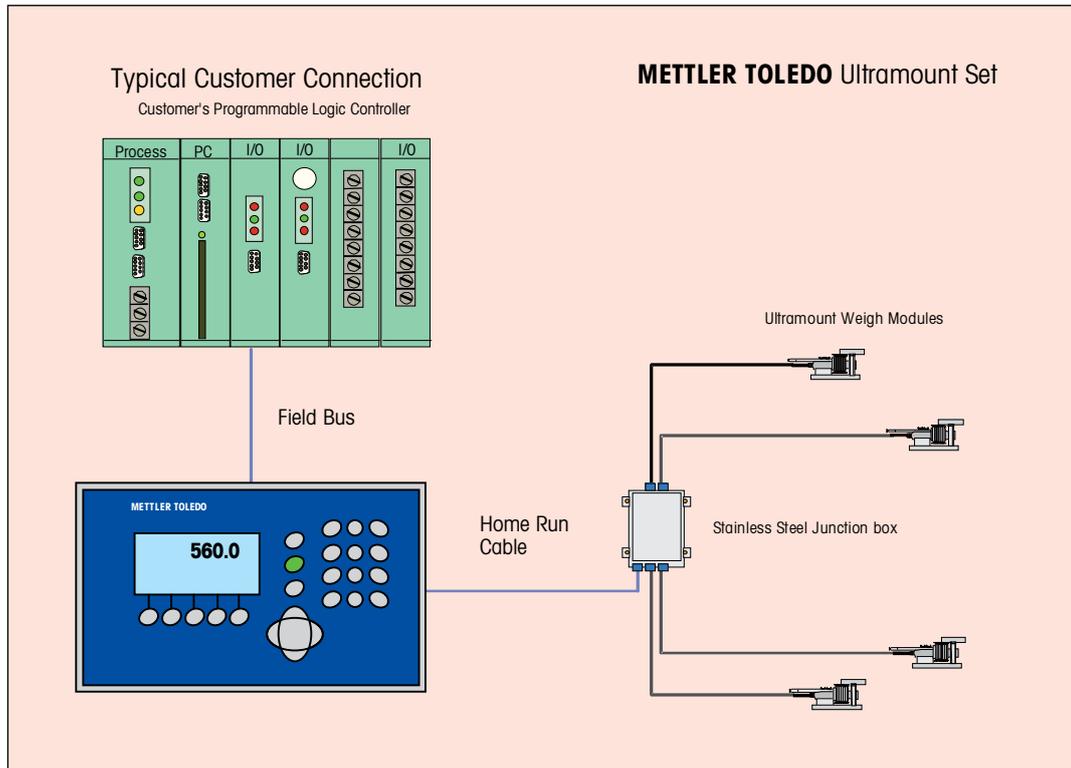


Figure 9-1 : Module de pesage type

La Figure 9-2 représente un module de pesage adapté à un environnement dangereux. Le module de pesage se trouve dans une zone dangereuse délimitée. Il est connecté à un indicateur et un PLC dans une zone de sécurité.

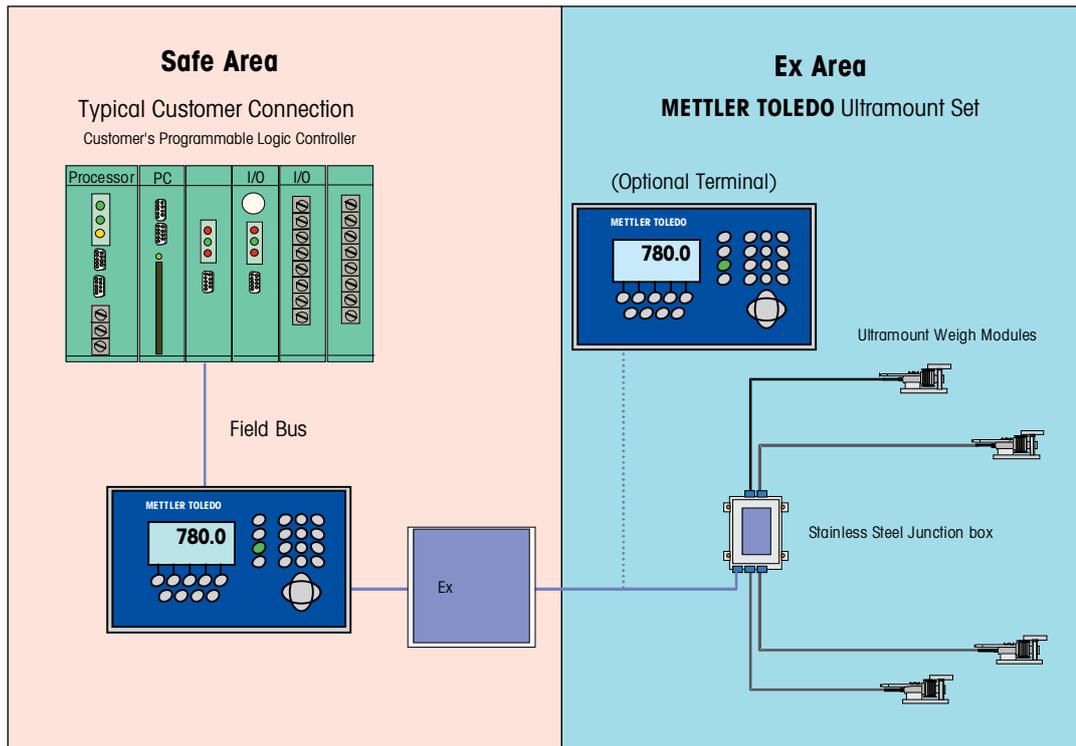


Figure 9-2 : Module de pesage dans un environnement dangereux

La Figure 9-3 propose des exemples de modules de pesage.

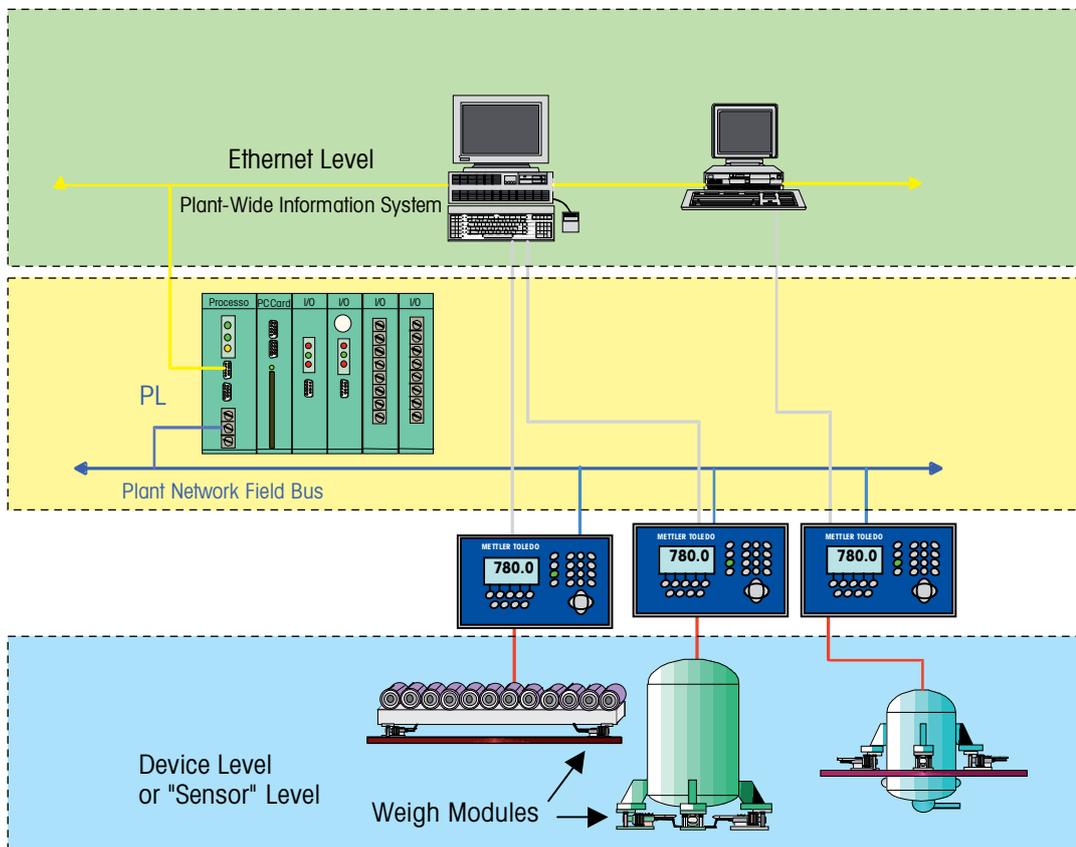


Figure 9-3 : Vue d'ensemble des modules de pesage

Annexes

Annexe 1 : Formulaire de revue de conception

Lors de la planification d'un module de pesage, complétez le formulaire de revue de conception pour énumérer les caractéristiques du système à prendre en compte.

METTLER TOLEDO Formulaire de revue de conception du module de pesage

Précisez l'unité de mesure utilisée ci-dessous

1. Type : Cuve _____ Trémie _____ Réservoir _____ Silo _____ Autre _____			
2. Dimensions : Longueur _____ Largeur _____ Hauteur _____ (carré ou rectangulaire) Diamètre _____ Hauteur (cuve verticale) _____ Longueur (cuve horizontale) _____ (cylindrique)			
3. Nombre de supports (piètements / saillies / tiges de suspension): _____			
4. Distance entre les supports : _____			
5. Dimensions des piètements / tiges : Longueur _____ Largeur (dia.) _____ Hauteur _____			
6. Capacité brute :		7. Poids à vide :	
8. Capacité nominale du capteur de pesage : _____			
9. Résolution requise du système (pas) : _____			
10. Environnement sismique ? Oui _____ Non _____			
12. Est-ce que le système est installé à l'extérieur ? Oui _____ Non _____			
14. Y a-t-il une enveloppe autour de la cuve ou du réservoir ? Oui _____ Non _____			
15. Est-ce que l'enveloppe contiendra : Réfrigérant _____ Type _____ Source de chaleur _____ Type _____			
16. Est-ce que l'enveloppe continue de circuler ? Oui _____ Non _____			
17. Y a-t-il un agitateur ? Oui _____ Non _____		18. Taille du moteur _____	
18. Est-ce que l'agitateur devra être en service pendant la prise des mesures ? Oui _____ Non _____			
19. Quelle est la température ambiante de la zone d'exploitation ? Min. _____ Max. _____			
20. Avec une cuve de réacteur, quelles sont les températures internes ? Min. _____ Max. _____			
21. Nombre des terminaisons de tuyaux (entrées/sorties) du réservoir qui sont : Rigides _____ Flexibles _____			
22. Combien sont : Horizontales par rapport au réservoir _____ Verticales par rapport au réservoir _____			
23. Y a-t-il une aération sur le réservoir ? Oui _____ Non _____			
24. Est-ce que la zone d'exploitation est dangereuse/classée ? Oui _____ Non _____			
25. Si oui, veuillez précise : Classe _____ Division _____ Groupe _____ ou Zone _____			
26. Température d'auto-inflammation du produit à peser : _____			
26a. Capteurs de pesage à monter selon une configuration : Compression _____ Traction _____			
27. Capteurs de pesage à monter sur : Un sol en béton _____ De l'acier de construction _____ Une mezzanine _____ Autre _____			
28. Longueur du câble requis entre le réservoir et l'indicateur (câble de colonne domotique) : _____			
29. Conditions de la cuve, le réservoir ou la trémie pour suspendre des poids d'étalonnage ? Oui _____ Non _____			
Préparé par _____		Date _____	
Approuvé par _____		Date _____	

Annexe 2 : Calcul des forces de réaction

Les conséquences du vent et des séismes sur la cuve se définissent en termes de forces de réaction (descendante, ascendante et cisaillement). Pour les exemples d'applications utilisés dans cette annexe, nous supposons que le cisaillement horizontal total équivaut à la force équivalente appliquée au centre de gravité (c.g.) de la cuve. Le vent et les forces sismiques sont décrites dans le chapitre 4.



ATTENTION

LES CALCULS SUIVANTS SONT FOURNIS À TITRE INDICATIF UNIQUEMENT. ILS NE SE SUBSTITUENT PAS À UNE ANALYSE DE L'INGÉNIEURIE DES STRUCTURES DE L'APPLICATION RÉALISÉ PAR UN INGÉNIEUR QUALIFIÉ AU FAIT DES CODES D'URBANISME LOCAUX.

Les forces de réaction verticales sont calculées à l'aide de la statique, à savoir l'analyse des corps au repos (équilibre). Les facteurs suivants permettent le calcul des forces de réaction pour la balance de cuve illustrée dans la Figure 10-1 :

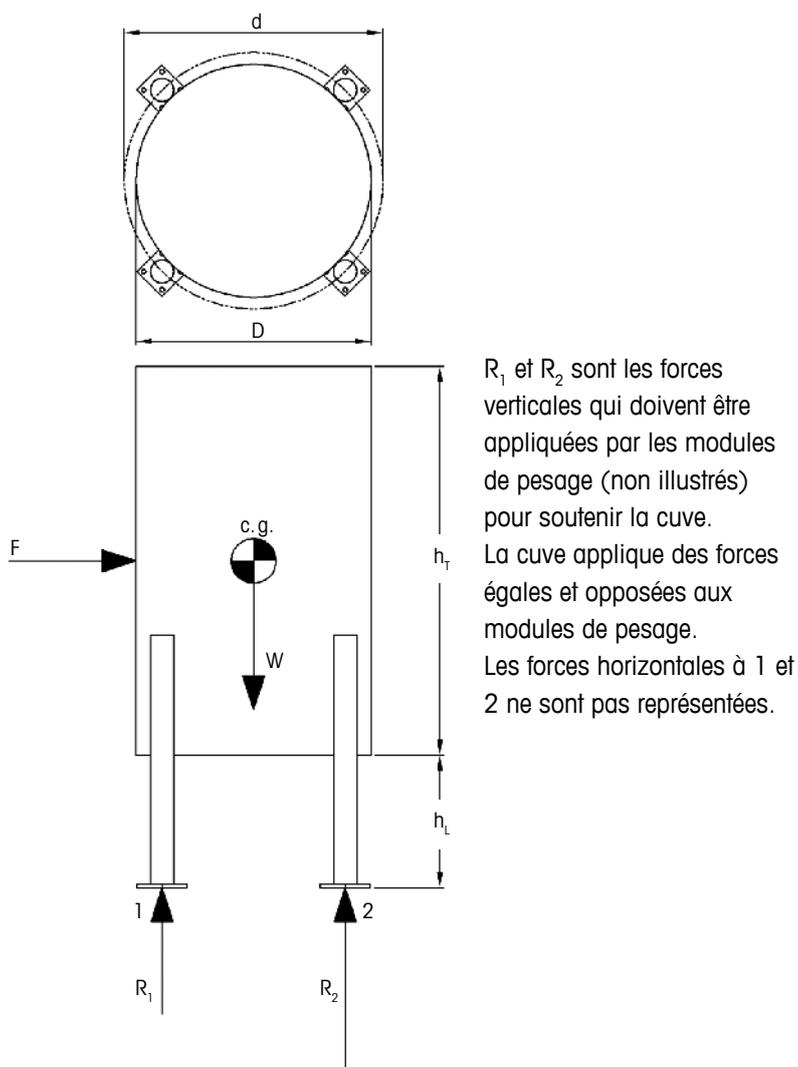
- h_T = Hauteur de la cuve en m.
- h_L = Hauteur des piètements de la cuve en m
- d = Diamètre en m du cercle tracé entre les points où les modules de pesage soutiennent la balance de cuve.
- D = Diamètre de la cuve en m
- W = Poids de la cuve et de son contenu à tout moment en kgf
- W_{Empty} = Poids de la cuve à vide en kgf
- W_{Full} = Poids de la cuve pleine (cuve et contenu) en kgf
- $R_{1,2}$ = Forces de réaction verticales sur les modules de pesage en kgf
- F = Force horizontale causée par le vent et un séisme (appliquée au c.g. de la cuve) en kgf

Remarque concernant les unités métriques de mesure. Comme les capteurs et les modules de pesage s'expriment en unités de masse, il est préférable de calculer les forces de réaction en kgf sur les modules de pesage.

1 kgf = 9,81 N

Cuve circulaire avec quatre modules de pesage

L'exemple suivant explique comment la statique sert à calculer les forces de réaction d'une cuve cylindrique verticale composée de quatre modules de pesage, comme illustré dans la Figure 10-1).



R_1 et R_2 sont les forces verticales qui doivent être appliquées par les modules de pesage (non illustrés) pour soutenir la cuve. La cuve applique des forces égales et opposées aux modules de pesage. Les forces horizontales à 1 et 2 ne sont pas représentées.

Figure 10-1 : Diagramme de corps libre en équilibre, cuve cylindrique verticale dotée de quatre modules de pesage

Comme illustré dans la Figure 10-1 ci-dessus, la valeur F réduira le poids sur les modules de pesage du côté 1 tandis que le poids augmentera du côté 2. Deux choses sont à vérifier : les modules de pesage du côté 1 ne sont pas trop chargés lors du soulèvement et que les modules du côté 2 ne sont pas surchargés.

Si la cuve est en équilibre, la somme des moments du côté 2 sera égale à zéro ($\sum M_2 = 0$), d'où

$$W \times (d/2) \times \sin 45^\circ = (h_L + 0,5 \times h_T) \times F + 2 \times R_1 \times d \times \sin 45^\circ$$

Pour obtenir R_1

$$R_1 = W/4 - 0,71 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d \quad (1)$$

La somme des forces sur l'axe Y (vertical) sera égale à zéro ($\sum F_Y = 0$), d'où

$$2 \times R_1 + 2 \times R_2 = W, \text{ ou}$$

$$R_2 = W/2 - R_1$$

Remplacez par R_1 dans l'équation (1) ci-dessus et obtenez R_2 :

$$R_2 = W/4 + 0,71 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d \quad (2)$$

Dans les situations normales, sans action de F, $R_1 = R_2 = W/4$. En cas d'action de F, l'équation (1) indique que R_1 diminue dans les proportions du facteur

$$0,71 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d$$

tandis que l'équation (2) indique que R_2 augmente dans les mêmes proportions.

La seule différence entre les équations (1) et (2) est le signe entre les deux termes du côté droit ; ainsi, la force horizontale F a pour effet de transférer le poids $0,71 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d$ depuis chacun des modules du côté 1 vers chacun des modules du côté 2. Jusqu'au point de soulèvement, la somme de $2R_1 + 2R_2$ sera toujours égale à W, au point théoriquement. Une force purement horizontale déplace le poids entre les modules de pesage mais elle n'a aucune influence sur le relevé de la balance (voir également Performances de la balance dans le chapitre 4, Considérations environnementales du module de pesage). Après le soulèvement et l'engagement d'un dispositif anti-soulèvement, d'autres forces verticales peuvent apparaître et cela n'est plus valide.

D'après l'équation (1), R_1 sera nul lorsque

$$0,71 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d = W/4$$

donc pour obtenir F,

$$F = 0,35 \times W \times d / (h_L + 0,5 \times h_T) \quad (3)$$

La cuve sera sur le point de soulever les modules de pesage du côté 1 lorsque F atteindra cette valeur.

Pour une valeur F donnée, R_1 sera au minimum lorsque la cuve sera vide ($W = W_{\text{Empty}}$), donc d'après l'équation (1)

$$R_{1\text{Min}} = (W_{\text{Empty}})/4 - 0,71 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d \quad (4)$$

et cela représente le plus grand risque de force de soulèvement appliquée aux modules de pesage du côté 1 ; voir la remarque à la fin. Appliquez l'équation (4) pour calculer $R_{1\text{Min}}$; si le résultat est positif, il reste une force descendante sur les modules de pesage ; s'il est négatif, une force de soulèvement s'appliquera aux modules de pesage du côté 1 et ne devra pas dépasser la « Force de soulèvement maximale » nominale des modules de pesage. si elle la dépasse, vous devez utiliser un module de pesage avec une « Force de soulèvement maximale » nominale plus grande ou installez un système de contrôle externe.

Pour une valeur F donnée, R_2 sera au minimum lorsque la cuve sera pleine ($W = W_{\text{Full}}$), donc d'après l'équation (2)

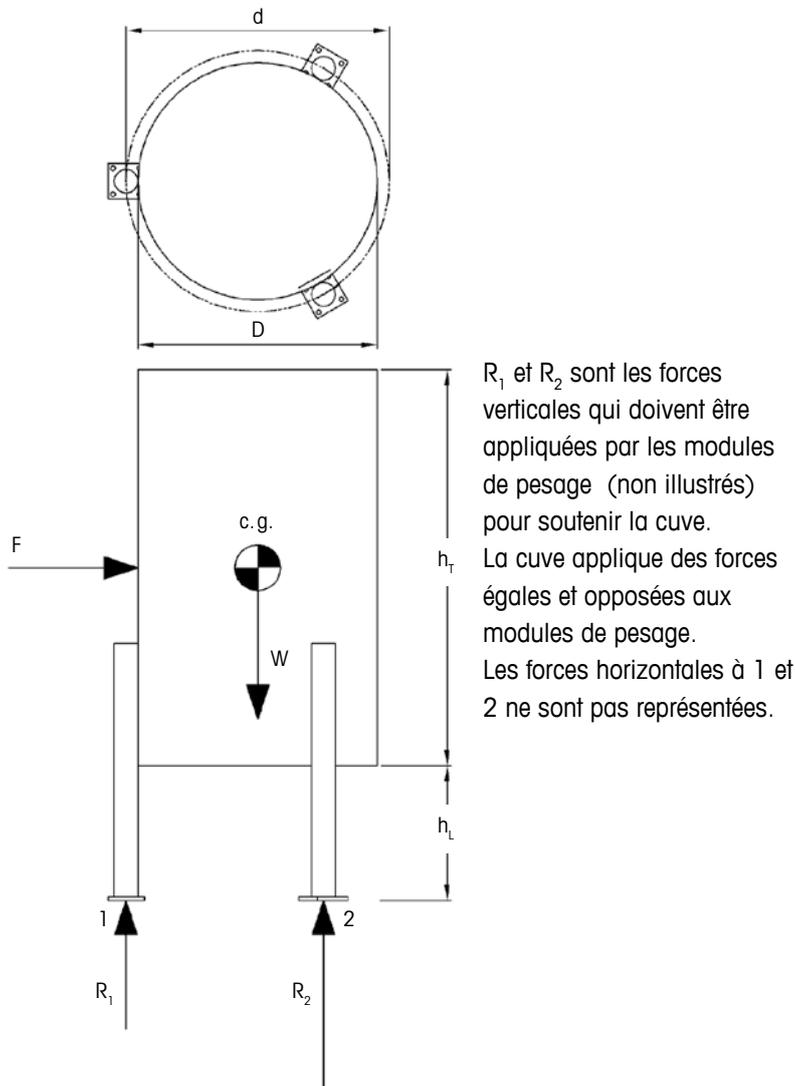
$$R_{2\text{Max}} = (W_{\text{Full}})/4 + 0,71 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d \quad (5)$$

et cela représente le plus grand risque de surcharge appliquée aux modules de pesage du côté 2 ; voir la remarque à la fin. Appliquez l'équation (5) pour calculer $R_{2\text{Max}}$ qui ne doit pas dépasser la « Capacité nominale » des modules de pesage. En cas de dépassement, les capteurs de pesage risquent d'être endommagés par la surcharge ; résolvez ce problème en choisissant des modules de pesage de « Capacité nominale » supérieure.

Remarque : en cas de sollicitation provenant du vent ou d'un séisme, il est courant de supposer que la force peut s'exercer dans tous les sens. Il faut également rechercher effet d'une force horizontale s'exerçant à 45 degrés dans le sens de F (voir la Figure 10-1).

Cuve circulaire avec trois modules de pesage

L'exemple suivant explique comment la statique sert à calculer les forces de réaction d'une cuve cylindrique verticale composée de trois modules de pesage et installée à l'extérieur.



R_1 et R_2 sont les forces verticales qui doivent être appliquées par les modules de pesage (non illustrés) pour soutenir la cuve. La cuve applique des forces égales et opposées aux modules de pesage. Les forces horizontales à 1 et 2 ne sont pas représentées.

Figure 10-2 : Diagramme de corps libre en équilibre, cuve cylindrique verticale de trois modules de pesage

Comme illustré dans la Figure 10-2 ci-dessus, la valeur F réduira le poids sur le module de pesage du côté 1 tandis que le poids augmentera du côté 2. Deux choses sont à vérifier : le module de pesage du côté 1 n'est pas trop chargé lors du soulèvement et n'est pas surchargé lorsque le vent tourne à 180 degrés.

Si la cuve est en équilibre, la somme des moments du côté 2 sera égale à zéro ($\sum M_2 = 0$), d'où

$$W \times (d/2) \times \sin 30^\circ = (h_L + 0,5 \times h_T) \times F + R_1 \times d \times (1 + \sin 30^\circ)/2$$

Pour obtenir R_1

$$R_1 = W/3 - 1,33 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d \quad (6)$$

La somme des forces sur l'axe Y (vertical) sera égale à zéro ($\sum F_Y = 0$), d'où

$$R_1 + 2 \times R_2 = W, \text{ ou}$$

$$R_2 = W/2 - R_1/2$$

Remplacez par R_1 dans l'équation (6) ci-dessus et obtenez R_2 :

$$R_2 = W/3 + 0,67 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d \quad (7)$$

Dans les situations normales, sans action de F, $R_1 = R_2 = W/3$. En cas d'action de F, l'équation (6) indique que R_1 diminue dans les proportions du facteur

$$1,33 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d$$

et d'après l'équation (7) R_2 augmente de $0,67 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d$. Les deux modules de pesage du côté 2 partagent le poids transféré depuis R_1 .

Jusqu'au point de soulèvement, la somme de $R_1 + 2R_2$ sera toujours égale à W, au moins théoriquement. Une force purement horizontale déplace le poids entre les modules de pesage mais elle n'a aucune influence sur le relevé de la balance (voir également Performances de la balance dans le chapitre 4, Considérations environnementales du module de pesage). Après le soulèvement et l'engagement d'un dispositif anti-soulèvement, d'autres forces verticales peuvent apparaître et cela n'est plus valide.

D'après l'équation (6), R_1 sera nul lorsque

$$1,33 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d = W/3$$

donc pour obtenir F :

$$F = 0,25 \times W \times d / (h_L + 0,5 \times h_T) \quad (8)$$

La cuve sera sur le point de soulever le module de pesage du côté 1 lorsque F atteindra cette valeur.

Pour une valeur F donnée, R_1 sera au minimum lorsque la cuve sera vide ($W = W_{\text{Empty}}$), donc d'après l'équation (6)

$$R_{1\text{Min}} = (W_{\text{Empty}})/3 - 1,33 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d \quad (9)$$

et cela représente le plus grand risque de force de soulèvement appliquée. Appliquez l'équation (9) pour calculer $R_{1\text{Min}}$; si le résultat est positif, il reste une force descendante sur le module de pesage du côté 1. Si $R_{1\text{Min}}$ est négatif, il s'applique une force de soulèvement qui ne doit pas dépasser la » Force de soulèvement maximale « nominale du module de pesage. si elle la dépasse, vous devez utiliser un module de pesage avec une » Force de soulèvement maximale « nominale plus grande ou installez un système de contrôle externe.

Le poids $1,33 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d$ est transféré depuis le module de pesage unique du côté 1 et se répartit entre les 2 modules de pesage du côté 2. Dans le contexte d'une surcharge, le pire scénario peut se produire si le vent tourne à 180° (voir la Figure 10-2), ce qui entraîne un transfert de poids appliqué au module de pesage unique du côté 1. Dans ce cas, cela apparaît en prenant des moments du côté 2 :

$$R_1 = W/3 + 1,33 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d \quad (10)$$

La force F entraîne la hausse de R_1 à hauteur du facteur

$$1,33 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d.$$

Pour une valeur F donnée, R_1 sera au maximum lorsque la cuve sera pleine ($W = W_{\text{Full}}$), donc d'après l'équation (10)

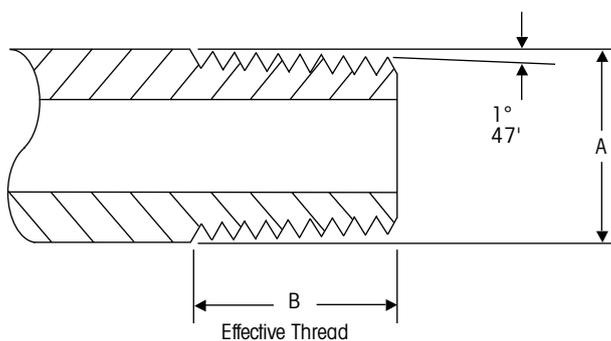
$$R_{1\text{Max}} = (W_{\text{Full}})/3 + 1,33 \times (h_L + 0,5 \times h_T) \times F/d \quad (11)$$

et cela représente le plus grand risque de surcharge appliquée. Appliquez l'équation (11) pour calculer $R_{1\text{Max}}$ qui ne doit pas dépasser la » Capacité nominale « des modules de pesage. En cas de dépassement, les capteurs de pesage risquent d'être endommagés par la surcharge ; résolvez ce problème en choisissant des modules de pesage de » Capacité nominale « supérieure.

Annexe 3 : Tailles des filetages

Les tableaux suivants reprennent dimensions du National Pipe Taper (NPT) et les tailles des corps de boulons à tête hexagonale.

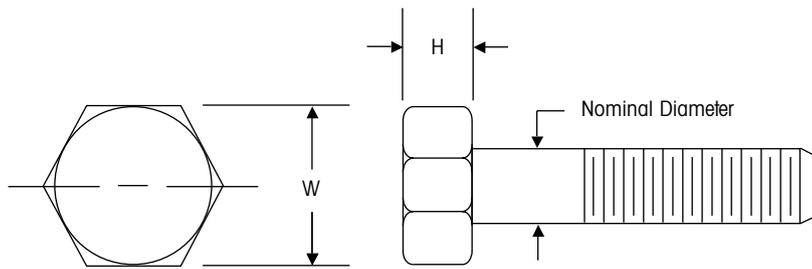
Dimensions du NPT



Taille NPT	Filetages par pouce	A (pouces)	B (pouces)
1/16	27	0,312	0,261
1/8	27	0,405	0,264
1/4	18	0,540	0,402
3/8	18	0,675	0,408
1/2	14	0,840	0,534
3/4	14	1,050	0,546
1	11 1/2	1,315	0,683
1 1/4	11 1/2	1,660	0,707

Tableau 10-1 : Tailles du NPT

Tailles de boulons



Unité
impériale

Unité
métrique

Nominal Taille de boulon	Filetages par pouce		Nominal Diamètre	W (pouces)	h (pouces)
	Normal (UNC)	Fin (UNF)			
6	32	40	0,1380	–	–
8	32	36	0,1640	–	–
10	24	32	0,1900	–	–
12	24	28	0,2160	–	–
1/4	20	28	0,2500	7/16	11/64
5/16	18	24	0,3125	1/2	7/32
3/8	16	24	0,3750	9/16	1/4
7/16	14	20	0,4375	5/8	19/64
1/2	13	20	0,5000	3/4	11/32
9/16	12	18	0,5625	13/16	3/8
5/8	11	18	0,6250	15/16	27/64
3/4	10	16	0,7500	1 1/8	1/2
7/8	9	14	0,8750	1 5/16	37/64
1	8	12	1,0000	1 1/2	43/64
1 1/8	7	12	1,1250	1 11/16	3/4
1 1/4	7	12	1,2500	1 7/8	27/32
1 3/8	6	12	1,3750	2 1/16	29/32
1 1/2	6	12	1,5000	2 1/4	1

Nominal Taille de boulon*	Filetage Pas (mm)	Nominal Diamètre	W (mm / ")	h (mm / ")
M3	0,5	3	5,5	2,125
M4	0,7	4	7,0	2,925
M5	0,8	5	8,0	3,650
M6	1	6	10,0	4,150
M8	1,25	8	13,0	5,650
M10	1,5	10	17,0	7,180
M12	1,75	12	19,0	8,180
(M14)	2	14	22,0	9,180
M16	2	16	24,0	10,180
(M18)	2,5	18	27,0	12,215
M20	2,5	20	30,0	13,215
(M22)	2,5	22	32,0	14,215
M24	3	24	36,0	15,215
(M27)	3	27	41,0	17,215
M30	3,5	30	46,0	19,260
(M33)	3,5	33	50,0	21,260
M36	4	36	55,0	23,260
(M39)	4	39	60,0	25,260

*Les tailles de boulons indiquées entre parenthèses ne sont pas préférables.

Tableau 10-2 : Tailles de boulons

Annexe 4 : Types de boîtier NEMA/IP

L'Association nationale des constructeurs électriques (NEMA) fournit des descriptions, des classifications et des critères de test relatifs aux boîtiers du matériel électrique. Les tableaux 10-3, 10-4 et 10-5 comparent les applications de boîtiers particulières pour les zones non dangereuses intérieures et extérieures et les zones dangereuses intérieures.

Assure un degré de protection contre les conditions suivantes	Type de boîtier									
	1*	2*	4	4X	5	6	p.6	12	12 K	13
Accès aux pièces dangereuses	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Entrée de corps étrangers solides (chutes de saillures)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Entrée d'eau (gouttes et projections légères)		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Entrée de corps étrangers solides (poussière, peluche, fibres et substances en suspension circulants**)			X	X		X	X	X	X	X
Entrée de corps étrangers solides (décantation des poussières, peluches, fibres et substances en suspension**)			X	X	X	X	X	X	X	X
Entrée d'eau (lavage au jet et projections d'eau)			X	X		X	X			
Filtration d'huile et de réfrigérant								X	X	X
Vaporisation et projection d'huile et de réfrigérant										X
Agents corrosifs				X			X			
Entrée d'eau (submersion occasionnelle/temporaire)						X	X			
Entrée d'eau (submersion occasionnelle prolongée)							X			

*Ces boîtiers peuvent être aérés.

**Ces fibres et ces substances en suspension sont des matériaux non dangereux et ne sont pas considérés comme des fibres inflammables ou des substances en suspension combustibles de classe III.

Pour les fibres inflammables ou les substances en suspension combustibles de classe III, reportez-vous au Code électrique national, article 500.

Tableau 10-3 : Applications particulières des zones non-dangereuses intérieures

Assure un degré de protection contre les conditions suivantes	Type de boîtier									
	3	3X	3R*	3RX*	3S	3SX	4	4X	6	6P
Accès aux pièces dangereuses	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Entrée d'eau (pluie, neige et grésil**)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Grésil***					X	X				
Entrée de corps étrangers solides (poussières emportées par le vent, peluches, fibres et substances en suspension)	X	X			X	X	X	X	X	X
Entrée d'eau (lavage au jet)							X	X	X	X
Agents corrosifs		X		X		X		X		X
Entrée d'eau (submersion occasionnelle/temporaire)									X	X
Entrée d'eau (submersion occasionnelle prolongée)										X

*Ces boîtiers peuvent être aérés.

**Il n'est pas nécessaire d'exécuter des mécanismes externes lorsque le boîtier est couvert de glace.

***Des mécanismes externes sont opérationnels lorsque le boîtier est recouvert de glace.

Tableau 10-4 : Applications particulières des boîtiers pour les zones non-dangereuses extérieures

Assure un degré de protection contre les atmosphères contenant généralement :* 	Types de boîtier 7 et 8 Groupes de classe I***			Type de boîtier 9 Groupes de classe II				10
	Classe	A	B	C	D	E	F	
Acétylène	i	X						
Hydrogène, gaz manufacturé	i		X					
Éther diéthylique, éthylène, cyclopropane	i			X				
Essence, hexane, butane, naphte, propane, acétone, toluène, isoprène	i				X			
Poussière métallique	II					X		
Noir de charbon, noir minéral, poussière de coke	II						X	
Farine, amidon et poussière de semences	II							X
Fibres, substances en suspension**	III							X
Méthane avec ou sans poussière de charbon	MSHA							X

*Pour obtenir la liste complète, voir NFPA 497M.

**Pour les fibres inflammables ou les substances en suspension combustibles de classe III, reportez-vous au Code électrique national, article 500.

***En raison des caractéristiques du gaz, de la vapeur ou de la poussière, un produit qui convient à une classe ou à un groupe peut ne pas convenir à une autre classe ou groupe, sauf indication contraire sur le produit.

Tableau 10-5 : Applications particulières des boîtiers pour les zones dangereuses intérieures

Les tableaux 10-6 et 10-7 décrivent les types de boîtiers, leurs applications et les conditions environnementales contre lesquelles ils assurent une protection.

Type NEMA	Description
1	Boîtiers à usage intérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses et protéger le matériel à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures).
2	Boîtiers à usage intérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures) ; et pour assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (gouttes et projections légères).
3	Boîtiers à usage intérieur ou extérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures et de poussières emportées par le vent) ; et pour assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (pluie, grésil et neige) ; et que les boîtiers ne seront pas endommagés par la formation de glace sur les boîtiers.
3R	Boîtiers à usage intérieur ou extérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures) ; et pour assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (pluie, grésil et neige) ; et que les boîtiers ne seront pas endommagés par la formation de glace sur les boîtiers.
S.3 :	Boîtiers à usage intérieur ou extérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures et de poussières emportées par le vent) ; et pour assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (pluie, grésil et neige) ; et que les mécanismes externes restent opérationnels malgré la formation de glace.
3X	Boîtiers à usage intérieur ou extérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures et de poussières emportées par le vent) ; et pour assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (pluie, grésil et neige) ; qui assurent un certain niveau de protection contre la corrosion ; et que les boîtiers ne seront pas endommagés par la formation de glace sur les boîtiers.
3RX*	Boîtiers à usage intérieur ou extérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures) ; et pour assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (pluie, grésil et neige) ; et que les boîtiers ne seront pas endommagés par la formation de glace sur les boîtiers ; un certain niveau de protection supplémentaire contre la corrosion ; et que les boîtiers ne seront pas endommagés par la formation de glace sur les boîtiers.
3SX	Boîtiers à usage intérieur ou extérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures et de poussières emportées par le vent) ; et pour assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (pluie, grésil et neige) ; qui assurent un certain niveau de protection contre la corrosion ; et que les mécanismes externes restent opérationnels malgré la formation de glace.

Type NEMA	Description
4	Boîtiers à usage intérieur ou extérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures et de poussières emportées par le vent) ; et pour assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (pluie, grésil, neige, projections d'eau et lavage au jet) ; et que les boîtiers ne seront pas endommagés par la formation de glace sur les boîtiers.
4X	Boîtiers à usage intérieur ou extérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (poussières emportées par le vent) ; et pour assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (pluie, grésil, neige, projections d'eau et lavage au jet) ; qui assurent un certain niveau de protection contre la corrosion ; et que les boîtiers ne seront pas endommagés par la formation de glace sur les boîtiers.
5	Boîtiers à usage intérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures et décantation des poussières, peluches, fibres et substances en suspension) ; et pour assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (gouttes et projections légères).
6	Boîtiers à usage intérieur ou extérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures) ; assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (lavage au jet et submersion temporaire occasionnel à une profondeur limitée) et que les boîtiers ne seront pas endommagés par la formation de glace sur les boîtiers.
p.6	Boîtiers à usage intérieur ou extérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures) ; assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (lavage au jet et submersion prolongée à une profondeur limitée) ; qui assurent un certain niveau de protection contre la corrosion ; et que les boîtiers ne seront pas endommagés par la formation de glace sur les boîtiers.
12	Boîtiers (sans knockouts) à usage intérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures et poussière, peluche, fibres et substances en suspension circulants) ; et pour assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (gouttes et projections légères).
12 kg	Boîtiers (sans knockouts) à usage intérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures et poussière, peluche, fibres et substances en suspension circulants) ; et pour assurer une protection contre les effets dangereux causés au matériel en raison de l'entrée d'eau (gouttes et projections légères).
13	Boîtiers à usage intérieur conçus pour protéger le personnel contre l'accès aux pièces dangereuses ; pour protéger le matériel situé à l'intérieur du boîtier contre l'entrée de corps étrangers solides (chutes de salissures et poussière, peluche, fibres et substances en suspension circulants) ; pour assurer une protection contre les effets dangereux sur le matériel causés par l'entrée d'eau (gouttes et projections légères) ; assurer une protection contre les vaporisations, les projections et les filtrations d'huile et de réfrigérants non-corrosifs.

Tableau 10-6 : Boîtiers pour zone non dangereuse

Type NEMA	Description	Exigences /Essais de qualification*
7	Boîtiers à usage intérieur dans les zones dangereuses (classées) de classe I, Division 1, Groupe A, B, C ou D tel que défini dans NFPA 70.	ANSI/UL 698, ANSI/UL 877, ANSI/UL 886, ANSI/UL 894
8	Boîtiers à usage intérieur ou extérieur dans les zones dangereuses (classées) de classe I, Division 1, Groupe A, B, C et D tels que défini dans NFPA 70.	ANSI/UL 698, ANSI/UL 877, Rain
9	Boîtiers à usage intérieur dans les zones dangereuses (classées) de classe II, Division 1, Groupe E, F ou G tel que défini dans NFPA 70.	ANSI/UL 698, ANSI/UL 877, ANSI/UL 886, ANSI/UL 894
10	Boîtiers conformes aux exigences du MSHA (Mine Safety and Health Administration), 30 CFR, partie 18.	Conformément au Mine Safety and Health Administration

Tableau 10-7 : Boîtiers pour zones dangereuses

La Commission électrotechnique internationale (CEI) fournit les classifications (codes IP) des boîtiers destinés au matériel électrique. Le tableau 10-8 permet de convertir les numéros de type de boîtier NEMA en classes de boîtier CEI. Toutefois, les types NEMA satisfont ou dépassent les exigences de test des classes CEI. Ce tableau ne permet pas de convertir les classes CEI en types NEMA.

IP Premier caractère	Type de boîtier NEMA																IP Second caractère			
	1		2		3, 3X, 3S, 3SX		3R, 3RX		4, 4X		5		6		6P			12, 12K 13		
IP0_	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	IP_0
IP1_	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	IP_1
IP2_	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	IP_2
IP3_					X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	IP_3
IP4_					X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	IP_4
IP5_					X	X			X	X	X		X	X	X	X	X	X		IP_5
IP6_									X	X			X	X	X	X				IP_6
														X		X				IP_7
																X				IP_8
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		

Tableau 10-8 : Conversion des numéros NEMA en classes CEI

Une croix (X) dans la colonne A signale que les boîtiers NEMA dépassent les exigences de la désignation CEI 60529 IP premier caractère respective (protection contre l'accès aux pièces dangereuses et l'entrée de corps étrangers solides). Une croix (X) dans la colonne B indique que les boîtiers NEMA dépassent les exigences de la désignation CEI 60529 IP second caractère respective (protection contre l'entrée d'eau). Pour satisfaire ou dépasser les exigences d'un indice IP, un boîtier NEMA doit satisfaire ou dépasser les exigences à la fois du premier caractère (colonne A) et du second caractère (colonne B). Supposons par exemple qu'un indice IP45 soit exigé. Les boîtiers NEMA suivants satisfont ou dépassent les exigences de l'indice IP45 : 3, 3X, 3S, 3SX, 4, 4X, 6, 6P.

Le tableau 10-9 propose une brève description du code IP.

Premier caractère (protection contre les corps solides)	Second caractère (protection contre les liquides)
0 = Aucune protection	0 = Aucune protection
1 = Protection contre les corps solides > 50 mm (par exemple les mains)	1 = Protection contre la chute de gouttes d'eau
2 = Protection contre les corps solides > 12,5 mm (par exemple les doigts)	2 = Protection contre la chute de gouttes d'eau avec un boîtier incliné à 15° maximum
3 = Protection contre les corps solides > 2,5 mm (par exemple les outils et les fils)	3 = Protection contre la vaporisation directe d'eau
4 = Protection contre les corps solides > 1 mm	4 = Protection contre toutes les directions de projections d'eau
5 = Protection contre la poussière (entrée limitée)	5 = Protection contre les jets d'eau faible pression
6 = Protection totale contre la poussière	6 = Protection contre les puissants jets d'eau
	7 = Protection contre une immersion de 15 à 100 cm
	8 = Protection contre les immersions prolongées
	9K = Protection contre les jets d'eau haute pression dans toutes les directions, entre 14 et 16 l/min et entre 8 000 et 10 000 kPa, à 80 °C, pendant 30 sec., de 10 à 15 cm de distance. METTLER TOLEDO Tests conformes à la norme DIN 400050, partie 9.

Tableau 10-9 : Détails de la norme CEI/EN60529

Annexe 5 : Classification des zones dangereuses

Amérique du Nord

En Amérique du nord (États-Unis et Canada), il existe deux codes de classification des zones explosives ou de classification Hazloc (site dangereux), l'un basé sur la classe ou les divisions et l'autre sur les zones. La classification la plus courante est la classification classe/division basée sur la réglementation américaine NEC 500 et sur la réglementation canadienne CEC, section 18, annexe J (voir le tableau 10-10). La Classe définit le type de danger en présence (gaz/poussières) et la nature explosive des matériaux. La Division est fonction du niveau de risque potentiel que ces matériels dangereux présentent. En Amérique du Nord, il existe également un système de classification de zones fondé sur les directives de la CEI et complété par la réglementation NEC 505 et la section 18 de la réglementation CEC (voir le tableau 10-11). Le risque est réparti entre trois zones au lieu de deux divisions. Néanmoins, le système de classification de zone n'est actuellement employé que pour les dangers liés au gaz et aux vapeurs.

Substances	Division	
Classe I Gaz Vapeurs	Division 1	Zones dans lesquelles des concentrations dangereuses de gaz ou vapeurs inflammables sont présentes en permanence ou occasionnellement en conditions de fonctionnement normal.
	Division 2	Zones dans lesquelles des concentrations dangereuses de gaz ou vapeurs inflammables ne sont pas susceptibles de se former en conditions de fonctionnement normal.
Classe II Poussières	Division 1	Zones dans lesquelles des concentrations dangereuses de poussières inflammables sont présentes en permanence ou occasionnellement en conditions de fonctionnement normal.
	Division 2	Zones dans lesquelles des concentrations dangereuses de poussières inflammables ne sont pas susceptibles de se former en conditions de fonctionnement normal.
Classe III Fibres Substances en suspension	Division 1	Zones dans lesquelles des concentrations dangereuses de fibres et substances en suspension inflammables sont présentes en permanence ou occasionnellement en conditions de fonctionnement normal.
	Division 2	Zones dans lesquelles des concentrations dangereuses de fibres et substances en suspension inflammables ne sont pas susceptibles de se former en conditions de fonctionnement normal.

Tableau 10-10 : Classes des zones dangereuses et divisions, Amérique du nord

Substances	NEC 505	Classification de zones	Catégorie d'équipement	
Gaz Vapeurs	Classe 1	Zone 0	Zone dans laquelle une atmosphère explosive due aux gaz ou aux vapeurs est présente en permanence ou fréquemment en fonctionnement normal.	1G
		Zone 1	Zone dans laquelle une atmosphère explosive due aux gaz ou aux vapeurs est susceptible de se former occasionnellement en fonctionnement normal.	2G (1G)*
		Zone 2	Zone dans laquelle une atmosphère explosive due aux gaz ou aux vapeurs ne se forme généralement pas ou ne se forme que pendant de courtes périodes en fonctionnement normal.	3G (1G et 2G)*
Poussières	Aucune classification NEC	Zone 20	Zone dans laquelle une atmosphère explosive due aux poussières inflammables est présente en permanence ou fréquemment en fonctionnement normal.	1D
		Zone 21	Zone dans laquelle une atmosphère explosive due aux poussières inflammables est susceptible de se former occasionnellement en fonctionnement normal.	2D (1D)*
		Zone 22	Zone dans laquelle une atmosphère explosive due aux poussières inflammables ne se forme généralement pas ou ne se forme que pendant de courtes périodes en fonctionnement normal.	3D (1D et 2D)*

*Des produits certifiés peuvent également être utilisés.

Tableau 10-11 : Zones dangereuses, Amérique du nord, Europe et autres pays

Les atmosphères explosives se présentent sous forme de gaz, de vapeurs, de brouillards ou de poussières et peuvent s'enflammer sous certaines conditions. Les atmosphères potentiellement explosives sont présentes dans de nombreuses activités industrielles et elles sont toutes susceptibles de produire des gaz, des poussières ou des fumées pouvant s'enflammer sous l'action d'une source d'inflammation.

Réglementation européenne et internationale

En Europe, la classification s'effectue par zone comme l'indique le tableau 10-11, conformément à la réglementation ATEX. Cette dernière repose sur des méthodes mises au point par la Commission électrotechnique internationale (CEI) dans le but de créer une norme mondiale. En 1994, le Comité européen de normalisation électrotechnique (CENELEC) et la CEI ont convenu de regrouper les normes le plus souvent possible. De cette initiative sont nées les normes ATEX qui sont presque identiques aux normes CEI. Quelques différences subsistent néanmoins et le processus d'harmonisation est toujours en cours aujourd'hui. Les normes IEC sont souvent adoptées par les organismes nationaux d'homologation tel que le NEPSI en China. Cette harmonisation facilite l'obtention des certifications au niveau local. A ce jour il n'existe pas de norme reconnue et acceptée à l'échelle internationale. Les organismes internationaux se sont engagés vis-à-vis d'une harmonisation des normes, mais il faudra encore un certain temps avant que cela devienne une réalité.

Annexe 6 : Tableau des résistances chimiques

Ce tableau des résistances chimiques est fourni pour faciliter la sélection des matériaux des composants et du matériel de module de pesage. Les informations sont réimprimées avec l'aimable autorisation de Little Giant Pump Company.

Ces recommandations réputées précises reposent sur les informations provenant des fournisseurs de matériaux et une analyse minutieuse des données publiées. Toutefois, étant donné que la résistance des métaux, des plastiques et des élastomères dépend de la concentration, de la température, de la présence d'autres substances chimiques et d'autres facteurs, elles ont un caractère indicatif et ne sont pas dépourvues de réserves. Il appartient au client de déterminer l'adéquation des matériaux aux divers environnements.

Sauf indication contraire, toutes les recommandations présupposent une température ambiante. Les caractéristiques de ces matériaux sont basées uniquement sur le tableau des résistances chimiques. D'autres facteurs sont à prendre en compte lors de la sélection des matériaux si la substance chimique est par nature abrasive ou visqueuse ou si sa densité est supérieure à 1.1.

Remarque : Ceramagnet » A « est couramment appelé ferrite de baryum.

Caractéristiques – Effet chimiques

- A – Aucun effet – Excellent
- B – Effet mineur – Bon
- C – Effet modéré – Passable
- D – Effet grave – Pas recommandé

Notes en bas de page

1. PVC – Satisfaisant à 22 °C
2. Polypropylène – Satisfaisant à 22 °C
3. Polypropylène – Satisfaisant à 49 °C
4. Buna-N – Satisfaisant pour les joints toriques
5. Polyacétal – Satisfaisant à 22 °C
6. Ceramag – Satisfaisant à 22 °C
7. Voir l'annexe 7 pour connaître les désignations équivalentes de l'acier inoxydable

	Acier inoxydable 302	Acier inoxydable 304	Acier inoxydable 316	Acier inoxydable 440	Aluminium	Titane	Hastelloy C	Bronze moulé	Laiton	Fonte	Acier au carbone	Kynar	PVC (type 1)	Tygon (E-3606)	PTFE	Noryl	Polyacétal	Nylon	Cyclac (ABS)	Polyéthylène	Polypropylène	Rylon	Carbone	Céramique	Ceramagnet » A «	Viton	Buna-N (Nitrile)	Silicium	Néoprene	Ethylène-propylène	Caoutchouc (nature)	Epoxy
Acétaldéhyde ⁵	A	A	A	-	B	A	A	D	-	-	c	-	D	D	A	-	A	D	c	B	A	A	-	-	D	B	B	D	B	c	A	
Acétamide	-	B	A	-	-	-	-	-	-	-	c	-	-	-	-	-	B	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	A	A	D	A	
Acétate de butyle ¹	-	-	C	-	A	-	A	A	-	-	A	C	D	D	A	D	A	-	-	C	D	A	A	-	D	B	D	D	B	D	A	
Acétate d'éthyle ²	-	A	A	-	B	-	B	B	-	-	C	D	D	D	A	D	A	D	C	C	A	A	-	-	D	D	C	D	B	D	A	
Acétate d'isoamyle	B	A	A	C	B	A	A	C	-	-	C	C	D	D	A	D	A	B	-	D	D	A	A	-	D	D	D	D	A	D	A	
Acétate d'isopropyle	-	-	B	-	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	D	D	-	D	B	D	A	
Acétate de méthyle	A	-	A	-	A	-	A	A	-	-	B	-	-	-	A	-	A	-	D	-	-	-	A	-	D	D	D	B	B	D	-	
Acétate de plomb	B	A	A	-	D	A	A	C	-	-	D	-	A	B	A	A	A	A	-	B	A	-	A	-	D	B	-	D	A	A	A	
Acétate de sodium	B	A	A	B	B	A	-	B	-	C	C	A	A	-	A	A	B	A	-	B	A	-	A	-	D	D	-	C	-	A	A	
Acetone ⁶	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	D	D	D	A	D	B	A	D	C	B	A	A	A	A	D	D	B	C	A	D	B	
Acétylène ²	A	A	A	A	A	B	-	B	-	A	A	-	B	-	-	A	A	-	D	A	A	A	-	A	A	C	B	A	C	A		
Acide acétique	-	B	A	B	B	A	A	C	C	D	C	B	A	B	A	A	D	D	C	B	A	A	A	-	C	C	-	C	B	C	A	
Acide acétique, Glacia ¹	-	B	A	A	B	A	A	C	c	D	A	-	c	B	A	c	D	D	D	B	B	A	A	-	D	D	B	c	B	c	B	
Acide acétique (20 %)	-	B	A	-	-	A	A	-	c	-	-	A	B	-	A	A	-	D	-	-	A	A	-	A	c	-	c	-	-	B		
Acide acétique (80 %)	-	B	A	-	-	A	A	-	C	-	-	A	D	-	A	B	-	D	-	-	B	-	-	A	-	A	C	-	D	-	B	
Acide arsénique	B	A	A	-	D	-	-	D	B	D	D	A	A	B	A	A	D	A	-	B	A	-	A	-	A	A	-	A	-	C	A	
Acide benzoïque ²	B	A	A	A	B	A	A	B	-	D	-	A	A	B	A	A	B	D	-	B	D	-	A	B	-	A	D	-	D	D	A	
Acide borique	B	A	A	A	B	A	A	B	C	D	-	A	A	B	A	A	A	A	-	B	A	-	A	A	A	A	A	-	A	A	A	
Acide bromhydrique (20 %)	-	-	D	-	-	A	A	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	B	-	A	D	-	C	-	B	
Acide bromhydrique 4	D	D	D	D	A	A	D	-	D	D	A	A	B	A	C	D	D	-	B	B	-	A	A	-	A	D	D	A	A	A		
Acide butyrique ¹	B	B	A	A	B	A	A	C	-	D	-	A	B	-	A	A	C	D	D	-	A	-	A	D	-	D	D	-	D	B	-	A
Acide carbonique	B	A	B	A	A	-	A	B	-	D	-	A	A	-	A	A	A	A	-	B	A	-	A	A	-	A	B	B	A	A	A	
Acide chloracétique ²	D	D	D	D	C	A	A	D	-	D	-	D	A	D	A	-	D	D	-	D	D	-	A	A	-	D	D	-	D	B	D	B
Acide chlorhydrique (gas sec)	D	C	A	-	D	-	A	-	-	-	D	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	A	
Acide chlorhydrique (20 %) ⁴	-	D	D	D	D	C	B	D	-	D	-	A	A	B	A	A	D	D	B	A	A	D	A	D	A	C	-	C	A	C	A	
Acide chlorhydrique (37 %) ⁴	-	D	D	D	D	C	B	D	-	D	-	A	A	B	A	A	D	D	C	A	A	D	A	C	D	A	C	C	C	D	A	
Acide chlorhydrique (100 %)	-	D	D	-	D	D	C	D	-	D	-	-	A	A	A	-	-	D	-	A	-	-	A	C	-	C	D	-	C	-	A	A
Acide chlorique	-	D	D	-	-	-	-	-	-	-	-	D	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	-	D	-	D	
Acide chlorosulfonique ¹	D	D	-	D	D	A	B	D	-	-	D	C	C	A	D	D	D	-	D	D	D	-	C	-	D	D	D	D	D	D	C	
Acide chromique (5 %)	-	A	A	B	C	A	A	D	D	D	-	A	B	-	C	D	D	B	B	A	A	D	C	-	A	D	C	-	A	D	B	B
Acide chromique (10 %)	-	B	-	-	A	A	-	D	-	-	A	A	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	A	-	A	D	-	D	-	-	C	
Acide chromique (30 %)	-	B	-	-	A	A	-	D	-	-	B	A	-	A	D	-	D	-	-	A	-	-	A	-	A	D	-	D	-	-	D	
Acide chromique (50 %)	C	B	B	-	C	A	A	D	D	-	C	B	B	A	D	D	D	C	C	B	B	D	A	-	A	D	-	D	A	D	C	
Acide citrique	-	A	A	A	C	A	A	D	C	D	-	A	A	-	A	A	B	C	C	B	B	-	A	B	A	D	C	A	A	A	A	
Acide cyanhydrique (gaz 10 %)	-	D	D	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	A	C	A
Acide cyanique	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	-	D	-	A	
Acide de maléine	C	A	A	A	B	A	A	C	-	-	B	-	A	B	A	A	C	A	-	-	C	-	A	A	-	A	D	-	A	D	D	A
Acide fluoborique	-	D	B	-	-	D	A	-	-	D	-	A	A	B	A	B	B	C	-	B	A	-	A	D	-	A	B	-	A	-	-	A
Acide fluorhydrique (20 %) ¹	-	D	D	D	D	D	B	D	-	D	-	-	D	B	A	A	D	D	-	C	A	C	B	C	D	A	D	-	C	A	C	B
Acide fluorhydrique (75 %) ^{1 2}	-	C	D	-	D	D	C	D	-	D	-	A	C	B	A	D	D	D	-	C	B	C	D	D	A	D	D	D	C	C	C	
Acide fluorhydrique (100 %)	D	D	D	-	D	D	B	D	-	D	D	-	C	D	A	-	-	-	D	-	C	D	D	-	D	-	D	-	D	-	D	A
Acide fluosilicique	-	-	B	-	D	D	B	-	-	D	-	A	A	B	A	A	B	D	-	B	A	-	A	D	-	B	A	-	A	-	-	C
Acide formique ⁶	C	A	B	B	D	C	A	C	C	D	D	A	D	B	A	A	D	D	-	B	A	A	A	B	B	D	C	D	A	C	B	
Acide gallique	B	A	A	-	A	-	A	A	-	D	D	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	A	-	-	-	-
Acide glycolique	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	A	C	-	-	B	A	A	A	-	-	A	A	-	A	-	-	A	
Acide glycolique (70 %)	-	-	-	-	D	B	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	D	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	A	-	A
Acide lactique	A	A	B	C	C	A	A	D	-	D	D	C	A	B	A	A	B	C	-	B	A	A	A	-	B	B	-	A	B	A	A	
Acide malique	B	A	A	-	C	-	A	D	-	-	D	-	A	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	B	-	-	-	-	
Acide nitrique (solution 10 %)	A	A	A	A	D	A	A	D	-	D	D	A	A	B	A	A	D	D	C	B	A	D	C	B	D	A	D	-	D	B	D	A
Acide nitrique (solution 20 %)	-	A	A	A	D	A	A	D	-	D	-	B	A	B	A	A	D	D	D	B	A	C	D	C	D	A	D	-	D	D	B	
Acide nitrique (solution 50 %)	-	A	A	A	D	A	A	D	-	D	-	B	A	B	A	A	D	D	D	C	D	C	D	A	-	A	D	-	D	D	D	
Acide nitrique (solution concentrée)	-	D	B	A	B	A	B	D	D	-	-	D	C	A	D	D	D	D	D	D	D	C	D	A	C	B	D	-	D	D	D	
Acide oléique	B	A	A	B	B	-	B	B	C	C	-	A	C	A	C	B	A	B	D	C	-	A	A	-	D	B	D	D	D	D	A	
Acide oxalique (froid)	C	A	B	A	C	C	B	B	C	D	D	-	A	B	A	C	C	D	-	A	A	-	A	-	A	B	C	B	A	C	A	
Acide phénique (voir phénol)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Acide phosphorique (brut)	-	D	C	C	D	C	A	D	D	D	D	A	-	-	A	-	D	D	D	C	-	A	C	D	-	A	D	-	D	B	-	A
Acide phosphorique (jusqu'à une solution 40 %)	-	B	A	A	D	A	A	D	D	-	-	A	B	A	A	D	D	C	B	A	A	B	C	D	A	D	-	D	B	C	A	
Acide phosphorique (solution 40 - 100 %)	-	C	B	B	D	B	A	D	D	-	-	A	B	A	A	D	D	D	C	A	A	B	D	D	A	D	-	D	B	C	C	

	Acier inoxydable 302	Acier inoxydable 304	Acier inoxydable 316	Acier inoxydable 440	Aluminium	Titane	Hastelloy C	Bronze moulé	Laiton	Fonte	Acier au carbone	Kynar	PVC (type 1)	Tygon (E-3606)	PTFE	Noryl	Polyacétal	Nylon	Cycloac (ABS)	Polyéthylène	Polypropylène	Ryton	Carbone	Céramique	Ceramagnet » A «	Viton	Buna-N (Nitrile)	Silicium	Néoprène	Ethylène-propylène	Caoutchouc (naturel)	Epoxy	
Acide picrique	B	A	A	-	C	-	A	D	D	D	D	-	A	A	A	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	A	A	D	A	-	A	A	
Acide silicofluorhydrique	-	D	D	-	C	-	C	D	-	-	-	-	-	C	A	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	D	A	-	-	-	
Acide silicofluorhydrique (20 %)	-	D	D	-	D	D	B	A	-	D	-	-	D	-	A	B	D	D	-	-	A	-	A	D	-	A	B	-	B	A	A	C	
Acide stéarique ²	B	A	A	A	B	A	A	C	C	C	C	A	A	B	A	A	A	A	-	B	D	-	A	A	A	A	B	D	B	B	C	A	
Acide sulfureux	C	C	B	C	C	A	B	D	-	D	D	-	A	B	A	A	D	D	-	B	A	-	B	A	-	A	C	D	B	B	C	A	
Acide sulfurique (jusqu'à 10 %)	-	D	C	C	C	A	A	D	D	D	-	A	A	B	A	A	D	D	B	B	A	A	A	A	-	A	C	-	D	D	C	A	
Acide sulfurique (jusqu'à 10 %)	-	D	C	C	C	A	A	D	D	D	-	A	A	B	A	A	D	D	B	B	A	A	A	A	-	A	C	-	D	D	C	A	
Acide sulfurique (10 %-75 %) ²	-	D	D	D	D	C	B	D	D	D	-	A	A	B	A	B	D	D	B	C	A	B	A	D	C	A	D	-	D	D	D	B	
Acide sulfurique (75 %-100 %)	-	-	D	-	-	D	B	-	D	-	-	A	B	-	A	A	-	D	-	-	B	C	-	A	-	A	D	-	D	-	-	D	
Acide tannique	B	A	A	A	C	A	B	B	-	C	C	A	A	B	A	A	B	D	-	B	A	-	A	A	A	A	D	C	A	A	A	A	
Acide tartrique	B	A	B	B	C	A	B	A	C	D	D	A	A	B	A	A	B	A	-	B	A	-	A	A	-	A	D	C	A	-	A	A	
Acides gras	-	A	A	-	B	A	A	C	-	D	-	A	A	B	A	B	A	A	-	B	A	-	A	A	-	A	C	C	B	C	C	A	
Acrylate de méthyle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	D	D	-	B	B	D	A	
Acrylonitrile	A	A	C	-	B	B	B	A	-	C	-	-	-	-	-	B	-	D	-	B	A	A	A	-	C	D	-	D	D	-	A	A	
Alcool amylique	-	A	A	-	B	A	A	A	-	-	A	A	A	B	A	C	A	A	-	B	A	-	A	A	-	B	D	A	A	C	A	A	
Alcool butylique	-	A	A	-	A	-	A	A	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Alcools																																	
Amyle	A	A	A	-	C	A	A	A	B	C	C	A	A	B	A	C	A	A	B	B	B	A	A	A	-	A	A	D	A	A	C	A	
Benzyle	-	A	A	-	B	A	A	A	C	-	-	-	D	B	-	A	A	A	D	D	A	-	A	A	-	A	D	-	B	B	D	A	
Butyle	A	A	A	-	B	B	A	B	C	C	C	A	A	B	A	A	A	A	-	B	B	A	A	A	-	A	A	D	A	A	A	A	
Diacétone ²	-	A	A	-	A	A	A	A	C	-	A	-	D	-	-	A	A	A	-	-	D	-	A	A	-	D	D	-	D	A	D	A	
Éthyle	-	A	A	A	B	A	A	A	C	A	A	-	A	C	-	A	B	A	B	B	A	-	A	A	A	A	A	B	A	B	A	A	
Hexyle	-	A	A	-	A	A	A	A	C	-	A	-	-	-	-	A	A	A	-	-	A	-	A	A	-	A	A	D	B	A	A	A	
Isobutyle	-	A	A	-	B	A	A	A	C	-	A	-	-	-	-	A	A	A	B	-	A	-	A	A	-	A	C	B	A	A	A	A	
Isopropyle	-	A	A	-	B	A	A	A	C	C	A	-	-	-	-	A	A	A	-	-	A	-	A	A	-	A	C	C	B	A	A	A	
Methyl ⁶	-	A	A	A	B	A	A	A	C	A	A	-	B	-	A	A	C	A	D	B	A	-	A	A	A	C	B	-	A	A	A	A	
Octyle	-	A	A	-	A	A	A	A	C	-	A	-	-	-	-	A	A	A	-	-	-	-	A	A	-	A	B	-	B	A	C	A	
Propyle	-	A	A	-	A	A	A	A	-	-	A	B	A	-	A	A	A	A	-	-	A	-	A	A	-	A	A	B	A	A	A	A	
Aluminate de sodium	B	-	-	A	C	B	B	B	-	C	-	-	-	A	A	B	A	-	-	A	A	-	A	A	-	A	A	B	A	A	A	A	
Amidon	B	A	A	-	A	-	-	B	-	C	C	-	A	-	A	A	A	A	-	B	-	-	A	A	-	A	A	-	A	-	-	A	
Amines	A	A	A	-	A	B	A	B	-	A	B	-	C	A	A	B	D	A	-	-	-	-	A	A	-	D	D	C	B	B	C	A	
Ammoniac (10 %)	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	D	A	-	A	A	-	A	-	-	A	A	-	A	-	A	D	-	A	-	-	B		
Ammoniac, anhydre	A	B	A	A	B	B	A	D	-	D	B	D	A	B	A	A	D	A	-	B	A	B	C	A	-	D	B	B	A	A	D	A	
Ammoniac, liquides	-	A	A	A	D	-	B	D	-	A	A	-	A	B	A	A	D	-	-	D	A	-	A	A	-	D	B	B	A	A	D	A	
Ammoniac, nitrate	-	A	A	A	C	-	-	D	-	-	A	-	B	B	-	A	C	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	C	-	-	A		
Ammoniaque	A	A	A	A	C	A	A	D	D	A	C	-	A	B	A	A	D	A	B	B	A	A	A	A	-	B	B	B	A	A	C	A	
Anhydride acétique	B	A	A	B	B	A	A	C	D	B	D	D	D	A	D	D	D	D	A	A	A	A	A	-	D	A	C	B	B	C	A		
Anhydride maléique	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	D	-	D	-	D	A	
Anhydride phosphorique (en fusion)	-	A	A	-	D	-	-	D	D	-	-	-	D	-	A	-	-	A	-	D	-	-	-	-	-	D	C	-	D	-	D	A	
Anhydride phosphorique (sec ou humide)	-	A	A	-	-	-	-	D	-	-	-	-	D	D	A	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	D	D	-	D	-	A	-	
Anhydride phtalique	B	A	B	-	B	-	A	B	-	C	C	-	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	A	C	-	-	-	-	-	
Anhydride sulfurique (sec)	A	A	C	-	A	-	-	B	-	B	B	-	A	B	A	D	D	D	-	-	-	-	B	A	-	A	D	-	D	B	C	A	
Aniline	B	A	A	A	C	A	B	C	-	-	C	C	D	D	A	D	D	C	D	C	B	A	A	A	-	C	D	C	D	B	D	A	
Antigel	-	A	A	-	A	-	A	B	B	B	C	-	A	B	A	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	
Arochlor 1248	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	D	-	-	-	-	-	-	-	A	-	A	D	-	D	B	D	A	
Asphalte	-	B	A	-	C	-	-	A	-	C	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	A	A	-	A	A	B	C	B	D	D	A
Babeurre	A	A	A	A	A	-	-	D	-	D	-	-	-	B	A	A	A	A	B	-	-	-	-	A	A	-	A	-	A	-	D	A	
Beer ²	A	A	A	-	A	A	A	B	D	D	A	A	-	A	A	B	D	B	B	D	-	-	A	A	-	A	D	C	A	A	A	A	
Benzaldehyde ³	A	A	A	-	B	A	A	A	-	B	A	C	D	D	A	D	A	C	D	D	D	A	A	A	-	D	D	B	D	A	D	A	
Benzene ²	B	A	A	A	B	A	B	A	B	C	B	D	C	A	D	A	A	D	D	D	A	A	A	A	A	D	-	D	D	D	A	A	
Benzène	-	A	A	-	B	A	A	B	A	-	-	-	D	-	A	D	A	A	-	-	A	-	A	A	A	D	D	-	D	-	-	A	
Beurre	-	B	A	-	A	-	-	D	-	D	-	-	-	B	-	B	A	-	B	-	-	-	-	A	A	-	A	-	B	A	D	A	
Bicarbonate de sodium	B	A	A	A	A	-	B	A	C	C	A	A	B	A	A	B	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	
Bichromate de potassium	B	A	A	A	A	B	C	-	B	C	A	A	-	A	A	C	D	-	B	A	A	A	A	-	B	A	-	A	A	A	A	A	
Bifluorure d'ammonium	-	C	A	-	D	-	B	-	-	-	-	-	A	-	-	A	D	-	-	-	A	-	-	A	-	A	-	A	-	-	A		
Bisulfate de calcium	C	D	A	-	D	-	-	D	D	D	-	-	A	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	A	C	C	-	A	A		
Bisulfite de calcium	-	-	B	-	C	A	A	C	-	-	-	-	A	-	A	A	D	A	-	B	A	-	A	A	-	A	A	-	A	D	-	A	
Bisulfite de calcium	-	B	A	-	C	A	A	C	-	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	A	-	A	A	-	A	-	A	-	

	Acier inoxydable 302	Acier inoxydable 304	Acier inoxydable 316	Acier inoxydable 440	Aluminium	Titane	Hastelloy C	Bronze moulé	Laiton	Fonte	Acier au carbone	Kynar	PVC (type 1)	Tygon (E-3606)	PTFE	Noryl	Polyacétal	Nylon	Cyclac (ABS)	Polyéthylène	Polypropylène	Rylon	Carbone	Céramique	Ceramagnet » A «	Viton	Buna-N (Nitrile)	Silicium	Néoprène	Ethylène-propylène	Caoutchouc (nature)	Epoxy	
Fluoborure stannique	-	-	A	-	-	-	-	-	-	D	-	-	-	-	-	A	C	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	-	A	
Fluor	D	D	D	-	D	D	A	D	-	D	D	-	C	-	C	-	-	D	-	C	-	-	D	-	-	-	-	-	-	-	-	D	
Fluorure d'aluminium	-	D	C	D	-	D	B	-	-	-	A	A	A	-	A	A	C	D	-	B	A	-	A	-	-	A	A	C	A	-	C	A	
Fluorure de sodium	B	C	-	C	C	A	A	C	-	D	D	-	D	D	A	-	A	-	A	-	C	-	-	-	-	B	D	-	D	-	D	A	
Formaldéhyde	A	A	A	-	A	A	B	A	B	D	A	-	A	B	A	D	A	A	-	B	A	A	A	A	-	D	C	B	D	B	C	A	
Formaldéhyde (40 %)	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	-	B	B	-	A	A	-	D	-	-	A	A	-	A	-	D	B	B	A	-	-	A	
Freon 111	A	-	A	-	B	-	-	B	-	C	B	-	B	D	A	D	A	A	D	C	-	A	A	A	A	B	C	D	D	D	D	A	
Freon 12 (humide) ²	-	-	D	-	B	-	-	B	-	-	-	-	B	D	A	D	A	A	B	C	A	A	A	A	A	A	A	D	B	B	D	A	
Freon 22	-	-	A	-	B	-	-	B	-	-	-	-	D	D	-	B	A	A	-	-	-	A	A	A	A	D	D	D	A	A	A	A	
Freon 113	-	-	A	-	B	-	-	B	-	-	-	-	C	D	-	-	A	A	-	-	-	A	A	A	A	C	A	D	A	-	D	A	
Freon T.F. ⁴	-	-	A	-	B	-	-	B	-	-	-	-	B	D	-	D	A	A	-	-	D	A	A	A	B	A	D	A	D	D	D	A	
Furfural ¹	A	A	A	-	A	-	B	A	-	-	A	D	D	-	A	D	B	A	D	D	D	A	A	A	-	D	D	D	D	B	D	A	
Gélatine	A	A	A	A	A	-	A	A	C	D	D	-	A	-	A	A	A	A	-	-	A	-	A	-	A	A	-	A	A	A	A	A	
Glucose	A	-	A	-	A	-	-	A	A	B	B	-	A	B	A	B	A	A	B	B	A	-	A	-	A	A	B	A	A	A	A	A	
Glycérine	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	A	A	B	A	A	A	A	C	-	A	-	A	-	A	A	B	A	A	A	A	A	
Gomme-laque (blanchie)	A	A	-	A	A	-	-	A	B	B	A	-	-	-	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	A	
Gomme-laque (orange)	A	A	-	A	A	-	-	A	C	C	A	-	-	-	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	A	
Grease ⁴	A	A	A	-	A	-	-	B	-	A	A	-	-	-	A	-	A	A	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	D	-	-	A	
Heptane ¹	A	-	A	-	A	-	-	A	A	-	-	B	A	A	-	A	D	A	A	C	D	D	A	A	-	A	A	-	B	D	-	A	
Hexane ¹	A	A	A	-	A	-	A	B	-	-	B	A	C	-	A	D	A	A	D	-	C	A	A	-	A	A	B	B	D	D	A	A	
Huiles																																	
Acide citrique	-	A	A	-	-	-	-	D	-	D	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	A	A	-	A	A	-	D	-	-	A	
Aniline	-	A	A	-	C	A	D	A	-	A	-	-	D	-	A	D	D	C	D	-	A	-	A	A	-	A	D	-	D	B	D	A	
Anis	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	D	-	-	A
Baie	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	-	-	-	-	A	
Blé	-	A	A	A	B	-	-	B	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	C	-	A	-	A	A	-	A	A	-	D	C	D	A	
Cacahuète ³	-	A	A	-	A	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	D	-	A	A	-	A	A	-	D	-	-	A	
Cannelle	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	D	-	-	-	-	-	-	A	
Carburant (1, 2, 3, 5A, 5B, 6)	-	A	A	-	A	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	A	D	A	-	-	B	-	A	A	-	A	B	-	D	D	D	A	
Carburant diesel (2D, 3D, 4D, 5D)	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	D	A	A	-	-	A	A	-	A	A	-	A	A	-	D	D	A
Citron	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	D	-	A	A	-	A	-	-	-	-	-	A	
Clou de girofle	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	B	-	A	A	-	A	-	-	-	-	-	A	
Créosote ²	-	A	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	-	-	-	D	-	A	A	-	A	A	-	B	D	D	A	
Fève soja	-	A	A	-	A	-	-	B	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	A	-	A	A	-	A	A	-	D	-	A
Foie de morue	-	A	A	-	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	C	-	A	-	A	-	A	A	-	B	A	D	A	A	
Gingembre	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	A	
Graine de coton	B	A	A	A	B	-	-	B	-	A	C	-	A	-	A	-	A	A	C	-	A	A	A	-	A	A	-	D	C	D	A	A	
Graine de colza	-	A	A	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	B	-	D	-	D	A	
Graine de lin	-	A	A	A	A	-	-	A	-	A	-	-	A	B	-	-	A	A	C	-	A	-	A	A	-	A	A	-	D	D	D	A	
Graine de sésame	-	A	A	-	A	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	D	-	-	A	
Huile de ricin	-	A	A	-	A	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	A	A	-	A	B	A	A	
Hydraulique (voir hydraulique)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Menthe ²	-	A	A	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	D	-	A	A	-	A	D	-	D	-	-	A	
Minéral	A	A	A	A	A	-	-	A	-	A	B	-	A	-	-	B	A	A	-	-	B	A	A	A	A	A	A	-	B	D	D	A	
Noix de coco	-	A	A	-	B	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	A	-	-	A	-	A	A	-	A	A	-	D	A
Olive	A	A	A	-	A	-	-	B	-	A	B	-	A	-	-	-	A	-	-	-	A	-	-	A	-	A	C	B	-	D	A	A	
Orange	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	A	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	A	
Os	-	A	A	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	A	
Palmier	-	A	A	-	A	-	-	B	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	A	
Pin	A	A	A	-	A	-	-	D	-	C	B	-	A	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	A	
Résine	-	A	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	A	
Silicone	-	A	A	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	A	A	A	-	A	-	-	A	
Sperme	-	A	A	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	A	
Tannage	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	
Turbine	-	A	A	-	A	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	C	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	A	
Huiles citriques	-	A	A	-	C	-	-	B	-	-	-	-	-	-	-	-	A	B	-	-	-	-	-	A	-	A	C	D	-	-	-	A	
Huiles lourdes	A	A	A	-	A	A	B	-	C	B	A	A	-	-	-	-	A	A	A	-	D	B	A	A	-	A	A	C	B	D	D	A	
Hydrate de baryum	B	C	A	A	D	B	B	B	-	C	C	A	A	-	-	-	A	D	A	-	B	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	

	Acier inoxydable 302	Acier inoxydable 304	Acier inoxydable 316	Acier inoxydable 440	Aluminium	Titane	Hastelloy C	Bronze moulé	Laiton	Fonte	Acier au carbone	Kynar	PVC (type 1)	Tygon (E-3606)	PTFE	Noryl	Polyacétal	Nylon	Cycloac (ABS)	Polyéthylène	Polypropylène	Ryton	Carbone	Céramique	Ceramagnet » A «	Viton	Buna-N (Nitrile)	Silicium	Néoprène	Ethylène-propylène	Caoutchouc (naturel)	Epoxy	
Hydrazine	-	A	A	-	-	-	-	-	-	C	-	-	-	-	-	D	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	B	D	B	A	C	A	
Hydrocarbures aromatiques	-	-	A	-	A	-	-	A	-	A	A	-	D	-	-	D	A	-	-	C	-	-	A	-	-	A	D	-	D	D	D	A	
Hydrogène	A	A	A	-	A	-	-	A	-	B	B	A	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	
Hydrosulfite de sodium	-	-	-	-	A	-	A	C	-	-	-	-	C	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	A	-	A	-	
Hydroxyde ⁶	-	A	A	A	A	-	-	A	-	D	A	-	A	-	A	A	B	A	-	-	A	-	A	A	A	A	A	-	A	-	A	A	
Hydroxyde de calcium	B	A	A	-	C	A	A	B	-	-	-	-	A	A	A	A	B	A	-	B	A	-	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	
Hydroxyde de magnésium	A	A	A	-	D	A	A	C	B	B	B	A	A	-	A	A	A	A	-	B	A	A	A	A	-	A	B	-	B	-	C	A	
Hydroxyde de potassium (50 %)	A	B	B	D	C	A	D	D	C	A	D	A	B	A	A	D	A	C	B	A	A	-	D	A	D	B	C	A	A	C	A		
Hydroxyde de sodium (20 %)	-	A	A	A	D	A	A	C	D	A	-	A	A	B	A	A	D	C	C	B	A	A	C	D	A	A	A	D	B	A	A	A	
Hydroxyde de sodium (solution 50 %)	-	A	B	-	D	A	A	C	D	B	-	D	A	B	A	A	D	C	C	C	A	B	C	D	A	D	D	D	C	-	A	A	
Hydroxyde de sodium (solution 80 %)	-	A	D	-	D	A	B	C	D	C	-	-	A	B	A	A	D	C	C	C	A	B	C	D	A	B	D	D	C	-	B	A	
Hypochlorite de sodium	D	-	D	-	D	A	A	D	-	D	D	A	A	-	A	A	-	A	-	-	C	C	-	D	-	B	B	C	A	-	-	A	
Hypochlorite de sodium ³ (jusqu'à 20 %)	-	C	C	C	C	A	A	D	D	D	-	-	A	B	A	A	D	A	-	B	C	C	D	A	B	A	C	D	D	B	C	B	
Hyposulfate de sodium	-	A	A	-	D	-	-	D	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	-	C	C		
Iode	-	D	D	D	D	A	B	D	-	D	-	-	D	B	A	A	C	D	D	D	D	D	-	D	A	-	A	B	-	D	B	D	A
Iode (dans l'alcool)	-	-	B	-	-	D	A	-	-	-	-	-	D	-	A	C	-	D	-	-	B	-	-	A	-	A	D	-	D	-	-	-	
Iodoforme	B	C	A	-	A	-	-	C	-	C	B	-	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	
Isotane ²	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	A	-	-	-	D	-	-	A	-	A	A	-	-	-	D	A	
Jus de fruit	A	A	A	A	B	-	-	B	-	D	D	-	A	-	D	A	B	A	-	B	A	-	A	A	A	A	A	-	A	-	-	A	
Jus de légume	-	A	A	-	A	-	-	C	-	D	-	-	-	-	-	A	A	A	-	-	-	-	A	A	-	A	A	B	D	-	D	A	
Jus de raisin	-	A	A	-	B	-	-	B	-	D	-	-	A	-	-	A	B	-	B	B	-	-	A	A	-	A	A	-	A	-	-	A	
Jus de tomate	A	A	A	-	A	-	-	C	-	C	C	-	-	-	A	A	B	A	B	-	A	A	A	A	-	A	A	-	A	-	-	A	
Kérosène ²	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	D	A	D	A	A	B	D	D	A	A	A	A	A	A	A	D	D	A	D	A	
Kérosène (JP#, JP4, JP5)	A	A	A	-	A	-	-	A	-	A	A	A	-	A	D	A	A	-	-	D	A	A	-	A	A	-	A	D	D	D	D	A	
Ketchup	-	A	A	A	D	-	-	C	-	D	-	-	-	-	-	A	B	A	B	-	A	-	A	A	-	A	-	C	-	-	-	A	
Lactosérum	-	A	A	-	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	A	
Lait	A	A	A	A	A	-	-	C	C	D	D	-	A	-	-	A	A	B	B	A	-	-	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	
Laques	A	A	A	-	A	-	-	A	C	C	C	-	-	D	-	C	A	A	-	-	A	-	A	A	-	A	-	D	D	-	D	A	
Lard	B	A	A	A	A	-	-	A	-	A	C	-	A	-	-	-	A	A	C	-	A	-	A	A	-	A	A	C	B	-	D	A	
Latex	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	A	-	B	-	-	A	-	A	A	-	C	A	-	A	
Lessive neuve (usine de pâte à papier)	-	A	A	-	-	-	A	D	-	C	-	-	A	-	A	A	D	A	-	-	A	-	A	A	-	A	A	-	A	-	-	A	
Ligroin ³	-	-	A	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	D	A	-	-	-	D	-	-	A	-	A	A	-	B	A	D	A	
Liqueurs sulfatées	-	C	C	-	B	-	A	C	-	-	-	-	-	-	-	-	D	-	-	-	A	-	A	A	-	-	-	C	-	-	-	A	
Liqueurs tannantes	-	A	A	-	C	A	A	A	-	-	-	-	A	B	A	-	B	-	-	-	A	-	A	A	-	A	C	-	-	-	-	A	
Liquides de sucre de betterave	A	A	A	-	A	-	-	A	B	A	-	-	A	-	A	A	B	A	B	-	A	-	A	A	-	A	A	-	B	A	A	A	
Liquides hydrauliques (pétrole) ¹	A	A	A	-	A	-	-	B	-	A	A	-	-	-	A	-	A	A	-	-	D	-	A	A	-	A	A	-	B	D	D	A	
Liquides hydrauliques (synthétiques) ¹	-	A	A	-	A	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	D	-	A	A	-	A	C	D	-	-	-	A	
Lubrifiants	-	A	A	-	A	A	A	B	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	B	-	A	A	A	-	A	A	C	D	-	D	A		
Mayonnaise	A	A	A	-	D	-	-	D	-	D	D	-	-	-	A	A	A	A	B	-	A	-	A	A	-	A	A	-	-	-	-	A	
Mélatamine	-	D	D	-	-	-	-	D	-	-	-	-	-	-	-	-	D	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	C	-	-	-	A	
Mélasses	A	A	A	A	A	-	-	A	B	A	A	-	-	-	B	A	A	-	B	A	-	A	A	A	A	A	A	-	A	-	-	-	A
Mercure	A	A	A	A	C	C	A	D	D	A	A	-	-	A	A	A	A	-	B	A	-	-	A	A	-	A	A	-	A	A	A	A	
Métaphosphate de sodium ²	A	-	A	-	A	-	-	C	C	B	B	-	-	-	A	-	B	A	-	-	D	-	A	A	-	A	A	-	B	A	A	A	
Métasilicate de sodium	A	-	A	-	B	-	-	B	-	C	C	-	-	-	A	-	D	-	-	-	-	-	-	A	-	A	A	D	A	-	-	A	
Méthacrylate de méthyle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	D	D	-	D	D	A	
Méthanol (10 %)	A	-	A	-	C	-	-	A	C	-	-	B	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	-	-	-	-	A	
Méthanol (voir alcools, méthyle)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Méthylacétone	A	-	A	-	A	-	-	A	-	A	A	-	-	-	A	D	A	-	-	-	-	-	-	-	A	-	D	D	-	D	-	-	C
Méthylamine	A	-	A	-	A	-	-	D	-	B	B	-	-	-	-	B	D	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	B	-	-	-	-	A
Méthylbutylcétone	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	B	-	-	-	-	-	-	A	A	-	D	D	C	D	A	D	B
Méthyléthylcétone	-	A	A	-	A	A	A	A	-	-	-	D	D	-	A	D	B	A	D	D	A	A	A	-	D	D	C	D	A	D	B	B	
Méthylisopropylcétone	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	B	A	-	-	-	-	-	A	A	-	D	D	B	D	B	D	B
Miel	-	A	A	-	A	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	A	A	A	B	-	A	-	A	A	-	A	A	-	A	-	-	-	A
Monochlorure de soufre	-	D	D	D	D	-	-	C	D	-	-	-	-	A	C	A	A	D	A	-	A	D	-	A	C	-	A	D	-	D	D	D	C
Monocyanure d'or	-	-	A	-	-	-	-	A	-	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	A	-	-	-	-	A
Monoxyde de carbone	-	A	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	A	A	-	B	A	-	A	A	-	A	A	B	B	A	C	A
Moutarde	A	A	A	A	B	-	-	B	-	C	B	-	-	-	B	B	A	B	-	A	-	-	A	A	-	A	B	C	C	-	-	-	A
Naphte	A	A	A	A	A	A	A	B	-	B	B	A	A	C	A	D	A	A	C	D	A	A	A	-	A	B	D	D	D	D	D	A	

	Acier inoxydable 302	Acier inoxydable 304	Acier inoxydable 316	Acier inoxydable 440	Aluminium	Titane	Hastelloy C	Bronze moulé	Laiton	Fonte	Acier au carbone	Kynar	PVC (type 1)	Tygon (E-3606)	PTFE	Noryl	Polyacétal	Nylon	Cyclac (ABS)	Polyéthylène	Polypropylène	Rylon	Carbone	Céramique	Ceramagnet » A «	Viton	Buna-N (Nitrile)	Silicium	Néoprène	Ethylène-propylène	Caoutchouc (nature)	Epoxy	
Naphtalène	B	A	B	-	B	A	A	C	-	B	A	A	D	-	A	D	A	-	-	D	B	A	A	A	-	B	D	-	D	D	D	A	
Nitrate d'ammonium	A	A	A	A	B	A	A	D	D	A	D	-	A	B	A	A	C	D	-	B	A	A	A	A	-	D	A	C	A	A	A	A	
Nitrate d'argent	B	A	B	A	D	A	A	D	-	D	D	A	A	B	A	A	C	A	-	B	A	-	A	A	-	A	C	-	A	C	A	A	
Nitrate de baryum	-	A	A	-	-	A	-	D	-	A	A	-	B	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	A	A	-	B	
Nitrate de cuivre	B	A	A	B	D	A	A	D	-	-	-	A	A	-	A	A	B	D	-	B	A	-	A	A	-	A	A	-	A	-	-	A	
Nitrate de magnésium	-	A	A	A	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	A	A	A	A	-	B	A	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	
Nitrate de potassium	B	A	B	A	B	A	B	B	-	-	B	A	A	C	A	A	B	C	-	B	A	C	A	A	-	B	A	-	A	A	A	A	
Nitrate de sodium	B	A	A	A	A	A	B	B	C	A	B	A	A	B	A	A	B	A	-	B	A	-	A	A	A	D	C	D	B	A	C	A	
Nitrate ferrique	-	A	A	A	D	A	A	D	-	-	-	A	A	-	A	A	B	D	-	B	A	A	A	A	-	A	A	D	A	A	A	A	
Nitrobenzène ²	B	A	B	-	C	A	B	D	-	B	B	D	D	D	A	D	B	C	D	D	C	B	A	A	-	D	D	D	D	D	D	B	
Oléum	B	-	A	-	B	-	-	C	C	-	B	D	D	-	A	-	D	-	-	-	D	-	-	A	-	A	C	D	D	D	D	A	
Oléum (25 %)	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	B	D	-	A	D	-	-	-	-	-	-	-	A	-	A	D	D	D	D	-	D	
Oxalate d'ammonium	-	A	A	A	-	-	A	-	-	-	A	-	-	-	-	-	B	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	A	-	-	A		
Oxyde d'éthylène	-	-	A	-	A	-	-	A	-	-	-	-	D	-	A	A	A	A	-	-	-	-	A	A	-	D	D	D	D	C	D	A	
Oxyde d'isopropyle ²	A	-	A	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	A	D	A	-	-	-	D	-	A	A	-	D	B	-	D	D	D	-	
Oxyde de magnésium	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	A	A	-	A	
Oxyde de phényle	-	A	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	A	-	A	D	-	D	D	D	A	
Paraffine	A	A	A	A	A	-	-	A	-	B	B	A	A	-	A	B	A	A	B	-	A	-	A	A	-	A	A	-	-	-	-	-	A
Pentane	A	C	C	-	A	-	B	A	-	B	B	-	-	-	A	D	A	A	D	-	-	-	A	A	-	A	A	-	B	D	D	A	
Perborate de sodium	B	-	C	-	B	-	-	C	C	B	B	-	-	-	A	A	B	A	-	-	A	-	A	A	-	A	B	D	B	A	C	A	
Perchloroéthylène ²	B	A	A	-	A	-	-	C	-	B	B	A	-	-	A	D	A	-	D	-	D	A	A	A	-	A	C	D	D	D	D	A	
Permanganate de potassium	B	A	B	B	B	B	B	B	-	B	B	A	A	-	A	A	C	D	C	B	B	A	A	A	-	B	A	-	A	-	B	B	
Peroxyde de sodium	B	A	A	-	C	-	B	C	C	D	C	-	A	-	A	-	D	D	-	-	-	-	A	A	-	A	C	D	B	A	C	A	
Persulfate d'ammonium	-	A	A	A	C	C	A	A	-	D	A	D	A	-	A	A	D	D	-	-	A	-	A	A	-	C	A	-	A	A	A	A	
Pétrolatum	A	-	A	-	B	-	-	B	-	C	C	-	-	-	A	D	A	A	B	-	-	-	A	A	-	A	A	-	B	A	D	A	
Phénol (10 %)	B	A	A	-	A	-	B	C	-	B	D	-	A	C	A	-	-	D	-	-	-	A	-	-	-	B	D	-	C	D	C	C	
Phénol (acide carbolique)	B	A	A	A	B	C	A	B	D	D	D	A	A	C	A	C	D	D	-	D	B	A	A	D	A	A	D	-	D	D	D	B	
Phosphate d'ammonium, diammonique	B	A	A	A	B	A	A	C	-	-	D	-	A	-	A	A	B	A	-	B	A	-	A	A	-	A	A	B	A	A	A	A	
Phosphate d'ammonium, monobasique	-	A	A	A	B	A	A	D	-	-	A	-	A	A	A	B	A	-	B	A	-	A	A	-	A	A	B	A	A	A	A	A	
Phosphate d'ammonium, tribasique	B	A	A	A	B	A	A	C	-	C	D	-	A	-	A	A	B	A	-	B	A	-	A	A	-	A	A	B	A	A	A	A	
Phosphate de tricrésyle	-	-	A	-	-	B	A	A	-	-	-	-	D	-	A	A	C	-	-	-	-	-	A	A	-	B	D	-	D	A	-	A	
Placage à l'argent à 80-120°F	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	B	-	A	A	-	A	-	-	A	
Plage à l'étain-fluoborure à 100°F	-	-	C	-	-	D	A	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	D	-	A	B	-	C	-	-	A	
Placage à l'étain-plomb à 100°F	-	-	C	-	-	D	A	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	D	-	A	B	-	C	-	-	A	
Placage au fluoborure de plomb	-	-	C	-	-	D	A	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	D	-	A	B	-	C	-	-	A	
Placage au nickel																																	
Autocatalytique à 200°F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	-	A	D	-	D	-	-	D	-	-	A	-	A	D	-	D	-	-	B	
Chlorure élevé à 130-160°F	-	-	C	-	-	A	A	-	-	-	-	-	D	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	A	-	A	A	-	B	-	-	D	
Fluoborate à 100-170°F	-	-	C	-	-	D	A	D	-	-	-	-	D	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	D	-	A	B	-	C	-	-	D	
Sulfamate à 100-140°F	-	-	C	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	
Type watts 115-160°F	-	-	D	-	-	A	D	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	
Placage au rhodium à 120°F	-	-	D	-	-	D	D	-	-	-	-	-	A	-	A	A	D	D	-	-	A	-	-	A	-	A	A	-	B	-	-	A	
Placage au sulfamate d'indium R.T.	-	-	C	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	
Placage de bronze																																	
Bain de bronze cuivre-cadmium R.T.	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	C	-	A	A	D	A	-	-	B	
Bain de bronze cuivre-étain à 160°F	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	-	-	D	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	D	-	A	A	D	B	-	-	C	
Bain de bronze cuivre-zinc à 100°F	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	C	-	A	A	-	A	-	-	B	
Placage de cadmium																																	
Bain de cyanure à 90°F	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	C	-	A	A	-	A	-	-	B	
Bain de fluoborure à 100°F	-	-	A	-	-	D	A	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	D	-	A	B	-	C	-	-	B	
Placage de chrome																																	
Bain chromique-sulfurique à 130°F	-	-	C	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	A	D	-	D	-	-	A	-	-	A	-	C	D	-	D	-	-	D	
Bain de chrome de baril à 95°F	-	-	D	-	-	C	A	-	-	-	-	-	A	-	A	D	-	D	-	-	A	-	-	A	-	C	D	-	D	-	-	D	
Bain de chrome noir à 115°F	-	-	C	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	A	D	-	D	-	-	A	-	-	A	-	C	D	-	D	-	-	D	
Bain de fluorure à 130°F	-	-	D	-	-	C	A	-	-	-	-	-	A	-	A	D	-	D	-	-	A	-	-	B	-	C	D	-	D	-	-	D	
Bain de fluosilicate à 95°F	-	-	C	-	-	C	A	-	-	-	-	-	A	-	A	D	-	D	-	-	A	-	-	B	-	C	D	-	D	-	-	D	
Placage de cuivre (acide)																																	
Bain de fluoborure de cuivre à 120°F	-	-	D	-	-	D	A	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	D	-	A	B	-	C	-	-	D	

	Acier inoxydable 302	Acier inoxydable 304	Acier inoxydable 316	Acier inoxydable 440	Aluminium	Titane	Hastelloy C	Bronze moulé	Laiton	Fonte	Acier au carbone	Kynar	PVC (type 1)	Tygon (E-3606)	PTFE	Noryl	Polyacétal	Nylon	Cycolac (ABS)	Polyéthylène	Polypropylène	Ryton	Carbone	Céramique	Ceramagnet » A «	Viton	Buna-N (Nitrile)	Silicium	Néoprène	Ethylène-propylène	Caoutchouc (naturel)	Epoxy		
Bain de sulfate de cuivre R.T.	-	-	D	-	A	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	D	-	A	A	-	A	-	-	-	D	
Placage de cuivre (cyanure)	-	-	-	-	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	C	-	B	-	-	A	-	-	-		
Bain de pré-cuivrage léger à 120°F	-	-	-	-	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	C	-	B	-	-	A	-	-	-		
Bain de tartrate double de potassium et de sodium à 150°F	-	-	A	-	A	A	A	-	-	-	-	-	D	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	D	-	A	A	-	B	-	-	C		
Bain grande vitesse à 180°F	-	-	A	-	A	A	A	-	-	-	-	-	D	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	D	-	A	A	-	B	-	-	C		
Placage de laiton	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Bain de laiton grande vitesse à 110°F	-	-	A	-	A	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	D	-	A	A	D	A	-	-	B		
Bain de laiton ordinaire à 100°F	-	-	A	-	A	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	C	-	A	A	D	A	-	-	B		
Placage d'or	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Acide à 75°F	-	-	C	-	A	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A		
Cyanure à 150°F	-	-	A	-	A	A	C	-	-	-	-	-	D	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	B	-	A	A	-	A	-	-	D		
Neutre à 75°F	-	-	C	-	A	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A		
Placage au zinc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Bain à l'alcaline cyanure R.T.	-	-	A	-	A	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	D	-	A	A	-	A	-	-	A		
Bain au fluoborure d'acide R.T.	-	-	C	-	D	-	-	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	D	-	A	B	-	C	-	-	A		
Bain au sulfate d'acide à 150°F	-	-	C	-	A	A	-	-	-	-	-	-	D	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	A	-	A	A	-	B	-	-	D		
Chlorure d'acide à 140°F	-	-	D	-	A	A	D	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	D	-	-	A	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	A		
Polyphosphate de sodium (mono, dibasique, tribasique)	-	A	A	-	D	A	A	C	-	-	-	-	-	-	A	A	B	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	D	A	A	A		
Potasse	-	A	-	A	C	-	A	C	-	B	-	-	A	B	-	A	B	A	-	B	A	-	A	A	A	A	A	-	B	-	B	A		
Propane (liquéfié) ^{1 2}	A	A	-	A	A	-	-	A	A	-	B	-	D	-	A	D	A	A	-	-	D	-	A	A	-	A	D	B	D	D	A			
Propylène glycol	B	B	-	A	A	-	-	B	-	B	B	-	-	-	A	-	B	B	B	B	-	-	A	A	-	A	A	-	C	-	-	A		
Protecteurs anti-rouille	-	A	-	A	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	C	-	-	A	
Pyridine	-	C	-	B	B	-	-	-	-	B	A	D	-	D	A	D	D	-	-	C	B	A	A	A	A	-	D	D	-	D	B	D	A	
Pyrogallol	B	A	A	A	B	-	A	B	-	B	B	-	A	-	A	-	D	A	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	-	-	A	
Résine furannique	-	A	A	-	A	-	-	A	-	A	A	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	A	D	-	D	-	D	A
Résines	A	A	A	A	A	-	B	A	C	-	C	-	-	-	A	-	B	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	A	
Rhum	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	A	-	-	-	A
Sauce de soja	-	A	A	-	A	-	-	A	-	D	-	-	-	-	-	A	A	A	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	A	-	D	A	
Sauces pour salade	-	A	-	A	B	-	-	B	-	D	-	-	-	-	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	-	-	-	-	A
Sels d'Epsom (sulfate de magnésium)	B	A	A	A	A	A	B	B	-	-	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	A	-	C	A	
Silicate de sodium	B	A	B	A	C	A	B	C	C	-	B	-	A	B	A	A	C	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	A	A	A	A	
Silicone	-	B	-	A	B	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	B	A	A	A	A	A	
Sirop	-	A	A	A	A	-	-	D	-	-	-	-	-	-	A	-	A	A	B	-	A	-	-	A	A	A	A	A	-	B	-	-	A	
Sirop de chocolat	-	A	A	-	A	-	-	-	-	D	-	-	-	-	-	A	A	A	-	-	A	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	-	D	A
Solutions au cyanure de potassium	B	A	B	A	D	A	A	D	-	B	B	A	A	-	A	A	C	A	-	B	A	A	C	A	-	B	A	-	A	A	A	A	A	
Solutions de placage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Placage d'antimoine 130°F	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	D	A	-	-	B		
Placage d'arsenic 110°F	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	C	-	A	A	D	A	-	-	B	
Solutions savonneuses ¹	A	A	A	A	C	A	B	B	-	B	A	-	B	B	A	A	A	A	-	B	A	A	A	A	A	A	A	B	B	-	C	A		
Solv. ² d'acétate	A	B	A	B	B	-	-	A	c	B	A	-	B	D	A	-	-	A	-	B	D	-	-	A	A	-	D	D	-	D	-	-	A	
Solvant Stoddard	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	A	A	D	A	D	A	A	B	D	D	A	A	A	-	A	B	D	D	D	D	A		
Sorgho	-	A	A	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Soude (voir Carbonate de sodium)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Styrène	A	A	A	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	A	B	D	D	D	D	A		
Sucre (liquides)	A	A	A	A	-	A	A	-	B	B	-	-	-	-	A	A	A	A	B	-	A	-	-	A	A	A	A	-	B	-	-	-	A	
Suif	-	A	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	A	-	C	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	A
Sulfamate de plomb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfate acide de sodium	A	A	-	A	D	B	B	C	C	D	D	A	A	B	A	A	B	C	C	B	A	A	A	A	-	B	A	C	A	-	A	A	A	
Sulfate d'aluminium	-	C	C	A	A	A	A	C	C	D	A	A	A	B	A	A	C	A	-	B	A	A	A	A	-	A	A	-	A	A	A	A	A	
Sulfate d'ammonium	C	D	B	A	B	A	A	B	C	C	C	A	A	D	A	A	B	D	-	B	A	A	A	A	-	D	A	B	A	A	A	A	A	
Sulfate de baryum	B	A	A	A	D	A	A	C	-	C	C	A	-	A	A	A	A	-	B	A	A	A	A	-	A	A	D	A	A	-	B	-	-	B
Sulfate de calcium	B	A	A	A	B	A	B	B	-	-	-	A	A	A	A	A	A	A	C	B	A	A	A	A	-	A	A	-	D	-	C	A	A	
Sulfate de cuivre	B	B	-	-	-	A	A	C	D	-	-	A	-	A	A	-	C	-	-	A	-	-	-	-	-	B	-	A	A	-	-	-	-	A
Sulfate de cuivre (solution 5 %)	-	A	A	A	D	A	A	D	D	D	-	-	-	-	-	-	B	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	A
Sulfate d'éthyle	-	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfate de magnésium	B	B	A	-	B	A	B	B	B	C	B	-	-	A	B	A	A	A	A	-	B	A	A	A	-	A	A	-	A	-	A	D	C	A

	Acier inoxydable 302	Acier inoxydable 304	Acier inoxydable 316	Acier inoxydable 440	Aluminium	Titane	Hastelloy C	Brass moulé	Laiton	Fonte	Acier au carbone	Kynar	PVC (type 1)	Tygon (E-3606)	PTFE	Noryl	Polyacétal	Nylon	Cyclac (ABS)	Polyéthylène	Polypropylène	Rylon	Carbone	Céramique	Ceramagnet » A «	Viton	Buna-N (Nitrile)	Silicium	Néoprène	Ethylène-propylène	Cautchouc (nature)	Epoxy		
Sulfate de nickel	B	A	B	-	D	A	B	C	D	D	A	A	A	A	A	B	A	-	B	A	-	A	A	-	A	A	-	A	A	C	A			
Sulfate de potassium	B	A	B	B	A	A	A	B	B	B	B	A	A	A	A	B	C	-	B	A	A	A	A	-	A	A	C	A	A	C	A			
Sulfate de sodium	B	A	A	C	B	A	B	B	B	A	B	-	A	-	A	A	B	A	-	B	A	A	A	A	-	A	A	-	A	A	C	A		
Sulfate de zinc	B	A	A	A	D	A	B	B	C	C	D	A	C	B	A	A	C	A	-	B	A	A	A	A	-	A	A	-	A	A	C	A		
Sulfate double d'aluminium et de potassium (Alum), (10 %)	-	A	-	-	A	-	B	-	-	D	A	-	A	-	A	-	-	A	-	A	-	-	A	-	A	-	-	A	-	A	A			
Sulfate double d'aluminium et de potassium (Alum), (100 %)	-	D	A	B	B	-	B	C	-	-	A	-	A	B	A	A	C	D	-	B	A	-	A	A	-	A	A	-	A	-	A	A		
Sulfate ferrique	-	A	C	A	D	A	A	D	D	D	-	A	A	B	A	A	B	A	C	-	A	A	C	A	-	A	B	C	A	-	A	A		
Sulfate ferreux	B	A	C	-	D	A	B	C	-	D	D	A	A	B	A	A	B	D	-	B	A	A	A	A	-	A	B	-	A	-	A	A		
Sulfide de potassium	A	A	-	A	B	-	B	B	-	B	B	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-			
Sulfite acide de sodium	-	C	C	-	C	A	A	C	-	A	-	-	A	A	A	-	D	-	A	-	-	-	A	-	A	A	-	A	-	A	A			
Sulfure de baryum	B	A	A	-	D	B	-	C	-	C	C	-	A	A	A	A	A	-	B	A	-	A	A	-	A	A	C	A	A	A	A			
Sulfure de carbone ²	B	A	A	A	-	-	C	-	B	-	D	D	-	D	D	-	A	A	-	D	-	-	A	A	A	D	-	D	D	D	A			
Sulfure de carbone ²	-	B	A	-	C	-	-	C	C	B	C	-	D	C	A	D	A	A	-	D	D	A	B	-	A	D	-	D	D	D	A			
Sulfure d'hydrogène (sec)	A	C	A	-	D	-	A	D	C	B	B	-	A	-	A	-	-	D	-	-	-	A	-	A	-	D	-	-	-	-	A	A		
Sulfure d'hydrogène, solution aqueuse	-	D	A	C	C	A	A	D	C	D	-	A	A	B	A	A	D	D	-	B	A	A	A	A	A	D	C	-	B	A	D	A		
Sulfure de sodium	B	A	B	-	D	A	B	D	D	A	B	-	A	B	A	A	B	A	-	B	A	A	A	A	-	A	C	-	A	A	C	A		
Térébenthine ³	B	A	A	-	C	-	A	B	C	B	B	A	A	B	A	D	A	A	-	D	B	A	A	A	-	A	D	-	D	D	D	A		
Tétrachloréthane	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	-	-	D	-	A	D	A	A	-	-	A	-	A	-	A	D	-	-	D	D	A			
Tétrachlorure de carbone ^{2 1}	B	B	B	A	C	A	A	C	A	C	D	A	C	C	A	D	A	A	D	D	D	C	A	A	A	C	C	D	-	D	C			
Tétrahydrofuranne	-	A	A	-	D	-	-	D	-	D	A	D	D	-	A	D	A	A	-	D	C	A	A	A	-	D	D	-	D	B	D	A		
Thiosulfate d'ammonium	-	-	A	-	-	A	-	-	-	D	A	-	-	-	-	-	B	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	A		
Thiosulfate de sodium (« hypo »)	A	A	A	-	B	A	-	D	D	C	B	-	A	-	A	A	C	A	-	-	A	A	A	A	-	A	B	-	A	A	C	A		
Toluène, toluol ³	A	A	A	-	A	A	A	A	A	A	A	A	D	D	A	D	A	A	D	D	D	A	A	A	A	C	D	D	D	D	D	A		
Trempe	-	A	A	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	
Trichlorethylène ²	B	A	A	-	B	A	A	B	A	C	B	A	D	-	A	D	A	C	D	D	D	C	A	A	C	A	D	D	D	D	D	A		
Trichloroéthane	-	C	A	-	C	A	A	C	-	C	-	-	-	-	A	D	A	-	-	-	-	-	A	A	-	A	D	D	D	D	D	A		
Trichloropropane	-	-	A	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	D	A	-	D	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	-	-	-	A	
Trichlorure d'antimoine	-	D	D	-	D	C	A	-	-	-	-	-	A	A	A	-	-	D	-	A	-	-	-	A	-	A	-	-	C	-	-	A	A	
Triéthylamine	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	A	-	-	B	D	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	D	B	-	-	-	A	
Urine	-	A	A	-	B	-	-	C	-	B	-	-	A	-	-	A	A	A	-	B	A	-	A	A	-	A	A	-	D	A	-	-	-	A
Vernis (utiliser Viton comme aromate)	A	A	A	A	A	-	-	A	B	-	C	-	-	-	A	D	A	A	-	-	A	-	A	A	A	A	B	C	D	-	D	A	A	
Vesou ²	-	A	A	-	B	-	-	B	C	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	D	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	A
Vinaigre	A	A	A	A	D	A	A	B	B	C	D	A	A	-	A	A	B	A	B	B	A	A	A	A	A	C	-	B	A	C	A	A		
Whisky et vins	A	A	A	A	D	-	-	B	B	D	D	-	A	-	A	A	A	A	-	B	A	-	A	A	-	A	A	B	A	A	A	A	A	
Xylène ²	A	A	A	-	A	-	-	A	A	A	B	A	D	-	A	D	A	A	D	D	D	A	A	A	A	A	D	D	D	D	D	D	A	

Annexe 7 : Tableau comparatif de l'acier inoxydable

Tableau comparatif de l'acier inoxydable

Terme	Chine	U.E	France	Allemagne		Italie	Japon	Russie	Espagne	Suède	RU		États-Unis
				DIN	W. No						BS	AISI	
302	1Cr18Ni9	X 10 CrNi 18 9 EURONORM	Z 10 CN 18-09 AFNOR	X 5 CrNi 17 7	1.4319	X 10 CrNi 1809 UNI	SUS302 JIS	GOST 12X18H9 GOST / GOST-R	X 10 CrNi 18-09 UNE	23 31 SIS	302S25 BS	302	
304	0Cr18Ni9	X 6 CrNi 18 10	Z 6 CN 18-09	X 5 CrNi 18 10 X 5 CrNi 18 12	1.4301 1.4303	X 5 CrNi 1810	SUS304	08X18H10 06X18H11	X 6 CrNi 19-10	23 32 2333	304S15 304X16	304	
304L	00Cr18Ni10	X 3 CrNi 18 10	Z 2 CN 18-10	X 2 CrNi 18 11	1.4306	X 2 CrNi 1911	SUS304L	03X18H11	X 2 CrNi 19-10	23 52	304S11	304L	
316	0Cr17Ni12Mo2	X 6 CrNiMo 17 13 3	Z 6 CND 17-12	X 5 CrNiMo 17 13 3	1.4436	X 5 CrNiMo 1713	SUS316	08X17H13M2	X 6 CrNiMo 17-12-03	23 43 2348	316S33	316	
316L	00Cr17Ni14Mo2	X 3 CrNiMo 17 12 2	Z 2 CND 17-12	X 2 CrNiMo 17 13 2	1.4404	X 2 CrNiMo 1712	SUS316L	03X17H13M2	X 2 CrNiMo 17-12-03	23 48	316S11	316L	
420	2Cr13	X 20 Cr 13	Z 20 C 13	X 20 Cr 13	1.4021		SUS420J2	20X13		2303	420 S 37	420	
440A	7Cr17						SUS440A					440A	
440B	8Cr17	X 90 Cr MoV 18	Z 2 CND 18 05	X 90 CrMoV 18	1.4112		SUS440B	95X18				440B	
440C	9Cr18/11Cr17	X 90 Cr Mo 17	Z 100 CD 17	X 105 CrMo 17	1.4125	X 102 CrMo 17KU	SUS440C					440C	
17-4PH	0Cr17Ni4Cu4Nb		Z 6 CNU 17-04	X 5 CrNiCuNb 16.4	1.4542		SUS630					630	

L'équivalence peut être approximative

Glossaire

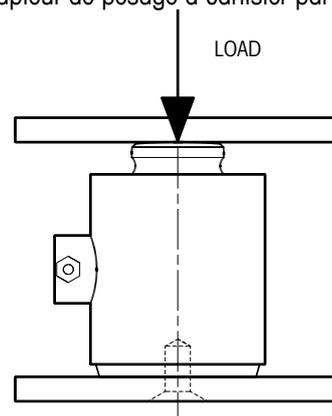
Axe principal de contrainte : L'axe sur lequel un capteur de pesage ou une balance est chargé(e). Également appelée Axe d'action.

Capacité nominale (R.C.) : La charge maximale qui peut être appliquée à une balance ou un capteur de pesage, afin que ses performances restent dans les limites spécifiées. Également appelée Capacité maximale sous les abréviations Max. et Emax. employées sur les balances et les capteurs de pesage respectivement. La Capacité nominale ne doit pas être dépassée. Il est courant de ne pas dépasser 50 % à 80 % de la charge nominale utilisée.

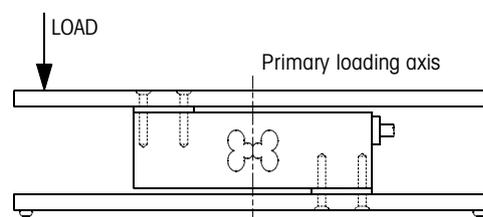
Capteur : Appareil utilisé pour convertir de l'énergie en plusieurs formes. Un capteur de pesage est un capteur qui convertit une force mécanique (poids) en force électrique (courant) qui peut fournir un relevé de poids numérique.

Capteur de pesage : Le composant d'une balance qui détecte la force mécanique exercée par un poids et qu'il convertit en signal électrique.

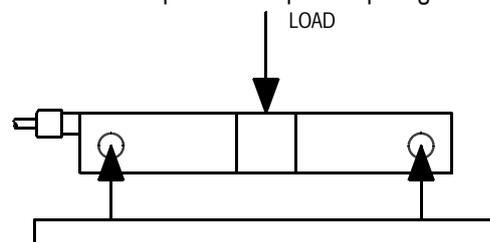
Capteur de pesage à cartouche, par compression : L'un des premiers capteurs de pesage mis sur le marché dont la production n'a pas cessé en dépit des modèles concurrents actuels. Un capteur de pesage à canister par compression est illustré, semblable à ceux utilisés à plusieurs sous les grandes bascules comme les ponts-basculés et pour le pesage des cuves, des trémies et des silos. L'axe longitudinal du canister (l'axe principal de contrainte) est monté verticalement avec le fond plat reposant sur une plaque de base et fixé à l'aide de vis depuis la surface intérieure. La surface supérieure possède un bouton à rayon sphérique et la charge est généralement introduite à l'aide d'un fond plat durci. La dilatation et la contraction sont permises par le glissement de cette plaque sur le bouton du capteur de pesage ; La structure de la balance est généralement retenue par des tiges réglables horizontaux. Le canister par traction utilisé dans les applications en traction est également disponible (quoique moins courant).



Capteur de pesage à point d'appui central : Capteur de pesage à point d'appui central (ou insensible au moment) utilisé seul pour former des balances de table et pour peser des convoyeurs, cuves et trémies de petite taille. Il est monté, avec l'axe longitudinal placé entre 2 plaques ou cadres, la plaque ou cadre supérieur(e) étant le récepteur de charge. L'axe vertical du capteur de pesage (l'axe principal de contrainte) est placé idéalement au centre du récepteur de charge ; la fonction unique de ce capteur est la pesée dans les limites fixées, quelle que soit la charge appliquée au récepteur. Les cadres supérieur et inférieur sont généralement montés sur les surfaces horizontales du capteur de pesage (comme illustré), avec des plaques d'écartement pour libérer l'espace nécessaire à la déformation du capteur sous l'effet de la charge. Certains modèles exigent le montage sur les faces planes (modèle IL par exemple).

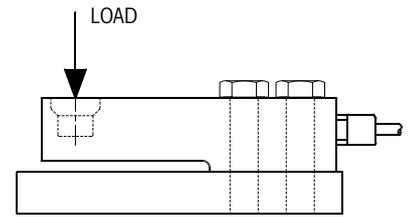


Capteur de pesage à poutre, à double extrémité : Les capteurs de pesage de force de cisaillement à poutre et double extrémité sont utilisés à plusieurs sous les ponts-basculés et balances de plancher et pour le pesage des cuves, des trémies et des silos. L'axe longitudinal du capteur de pesage se place horizontalement tandis que les deux extrémités sont soutenues ; le style de montage illustré affiche des extrémités ayant des trous croisés qui reposent sur des chevilles horizontales soutenues généralement depuis une plaque de base. La charge est introduite au centre du capteur de pesage (l'axe principal de contrainte), habituellement avec un bride qui assure

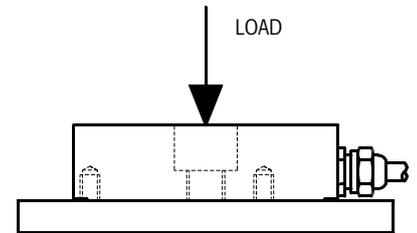


également une protection anti-soulèvement. Il existe plusieurs variantes de conception : par exemple, sur des ponts-basculés, le capteur de pesage est souvent soutenu à un point unique au centre tandis que la charge est introduite aux deux extrémités par des swing-links retombant sur des » oreilles « à chaque extrémité.

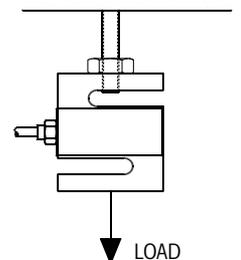
Capteur de pesage à poutre, simple : Également appelés capteur de pesage à poutre, à poutre cantilever, de flexion et capteurs de pesage de force de cisaillement à poutre, ils sont utilisés à plusieurs sous les ponts-basculés et les balances de convoyeur et pour le pesage des cuves, des trémies et des silos. L'axe longitudinal du capteur de pesage se place horizontalement avec l'extrémité fixe du capteur boulonnée à une plaque de base horizontale. La charge est introduite le long de l'axe d'un trou vertical (l'axe principal de contrainte) à l'extrémité libre du capteur. Les associations de bague et bille et à peson sont couramment utilisées pour servir d'interface entre le récepteur de charge et le capteur de pesage ; Le récepteur de charge peut donc se dilater et se contacter sans imposer de forces latérales indésirables au capteur. Une force de rappel s'exerce également pour garder la balance centrée. Certains capteurs de pesage possèdent un trou taraudé pour introduire la charge ; cela assure un accouplement serré entre le récepteur de charge et le capteur de pesage, lequel doit être protégé des forces parasites pouvant conduire à de mauvais résultats. Le capteur de pesage peut tourner à 180° à partir de la position indiquée ici, par exemple lorsqu'il est boulonné à la surface inférieure d'une balance de plancher.



Capteur de pesage Pancake : Pancake est un terme générique qui désigne les minces capteurs de pesage cylindriques ; on parle aussi d'anneau de torsion, de disque de compression, d'âme de cisaillement, de rayon de roue et de rondelle de hockey. Ces capteurs de pesage sont utilisés à plusieurs sous les ponts-basculés, les balances de plancher et de convoyeur et pour le pesage des cuves, des trémies et des silos. Habituellement, le capteur de pesage repose solidement sur un fond plat tandis que la charge est introduite le long de l'axe du cylindre (l'axe principal de contrainte). Les associations de bague et bille ou à peson sont couramment utilisées pour servir d'interface entre le récepteur de charge et le capteur de pesage ; Le récepteur de charge peut donc se dilater et se contacter sans imposer de forces latérales indésirables au capteur. Une force de rappel s'exerce également pour garder la balance centrée. D'autres dispositions englobent un bouton surélevé à rayon spécifique ou un trou taraudé pour l'introduction de la charge ; il convient de protéger ces configurations contre les forces parasites qui peuvent conduire à des résultats insuffisants ou à la détérioration du capteur de pesage. Le capteur de pesage peut tourner à 180° à partir de la position indiquée ici, par exemple lorsqu'il est boulonné à la surface inférieure d'une balance de plancher.



Capteur de pesage S : Capteurs de pesage S (ou à poutre S) habituellement utilisés en traction, seuls ou à plusieurs, pour peser divers récepteurs de charge comme les cuves et trémies suspendues. La charge est introduite dans le capteur de pesage le long de l'axe qui traverse les trous taraudés (l'axe principal de contrainte) dans les surfaces supérieure et inférieure ; les tiges filetées ou différentes formes de matériel peuvent être vissés dans ces trous. Grâce aux tiges de suspension de longueur suffisante, la dilatation/contraction est possible sans nuire aux performances. Les balances suspendues sont envisageables si une structure aérienne existe déjà ou si la zone au sol située sous la balance doit être dégagée. Les capteurs de pesage S servent aussi à transformer les balances mécaniques en balances électroniques, en particulier si des sorties numériques sont nécessaires à des fins de contrôle ; dans ce cas, le capteur de pesage S est introduit dans la tige d'acier entre le levier et la poutre originale.



Charge : Force mécanique appliquée à une balance ou un autre objet.

Charge d'impact (dynamique) : Forces exercées sur une balance ou sa structure par l'impact d'un objet. Les forces d'impact peuvent provenir de la chute d'un objet sur une balance ou lorsqu'un véhicule s'avance en roulant dans une balance.

Charge dynamique : Le poids est appliqué à une balance qui est en mouvement. Exemple : les systèmes de convoyeur utilisés pour le pesage d'objets qui se déplacent sur le convoyeur.

Charge répartie : Type de chargement au cours duquel un objet est placé sur la balance afin que tout son poids soit entre tous les capteurs de pesage de la balance.

Charge statique : La charge à peser est appliquée à une balance mais n'est pas en mouvement.

Charge utile : La force descendante exercée par l'objet ou matériau pesé sur une balance.

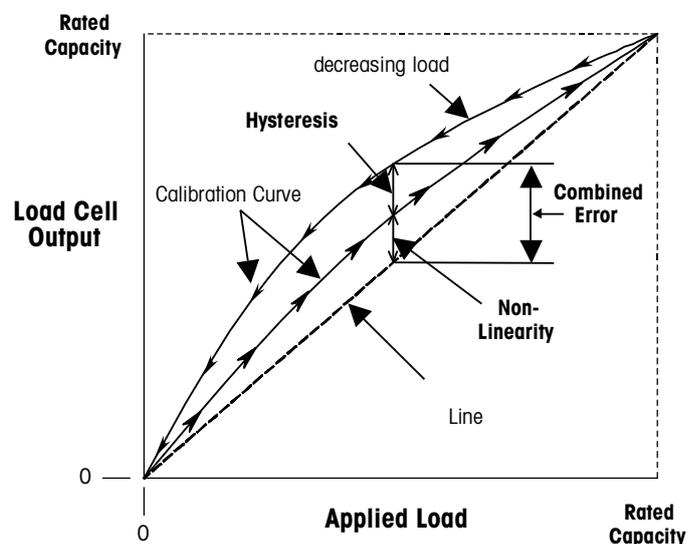
Compression : L'action de serrer ou d'appuyer contre un matériau. Un module de pesage par compression est conçu afin que le plateau et la plaque de base seront serrées l'une contre l'autre lorsque le poids est appliqué au module.

Constante de rappel : Mesure de la flexibilité d'un matériau. La constante de rappel d'un capteur de pesage correspond à sa capacité nominale divisée par la déformation du capteur à la capacité nominale.

Courbe d'étalonnage : Courbe type obtenue par le tracé de la sortie du capteur de pesage ou de la balance en fonction de la charge appliquée qui augmente de zéro à la capacité nominale puis redescend jusqu'à zéro.

Déformation : La torsion ou flexion d'un matériau soumis à une force.

Effet thermique sur la sensibilité : Variation (\pm) de la sensibilité du capteur de pesage ou de la balance liée à la variation de la température ambiante, exprimée en pourcentage de la charge appliquée par $^{\circ}\text{C}$ de variation de la température ambiante. Également appelé effet thermique sur l'étendue de mesure et coefficient thermique de l'étendue de pesage.



Calibration Curve

Effet thermique sur la sortie de poids mort minimal : variation (\pm) de la sortie de poids mort minimale d'un capteur de pesage ou d'une balance liée aux variations thermiques, exprimée en pourcentage de la capacité nominale par variation en $^{\circ}\text{C}$ de la température ambiante. Également appelé effet thermique sur le zéro et coefficient thermique du zéro.

Erreur combinée : Erreur due aux effets combinés de la non-linéarité et de l'hystérèse. Si l'écart maximal (\pm) par rapport à une ligne droite entre la sortie d'un capteur de pesage ou d'une balance à une charge nulle et à la capacité nominale, mesurée à la fois pendant l'augmentation et la réduction des charges, exprimée en tant que pourcentage de la capacité nominale. Voir Courbe d'étalonnage.

Erreur de reproductibilité : Écart maximal entre les poids du capteur de pesage ou de la balance relevés lors de tests consécutifs, dans les mêmes contraintes et conditions environnementales de mesure, exprimé en pourcentage de la charge appliquée.

Étalonnage : Le processus consistant à associer les graduations d'une balance avec les poids réels qu'elles représentent. Il exige le réglage de l'indicateur de la balance afin qu'il affiche zéro en l'absence de poids sur la balance et le poids correspondant au poids réellement posé sur la balance.

Évaluation du type : Procédure visant à tester un type (ou modèle) donné d'un instrument de pesage. Aux États-Unis, le National Type Evaluation Program (NTEP) test un échantillon de tous les modèles de balance. Si les tests révèlent que la balance est conforme aux exigences techniques du manuel 44 du NIST, le NTEP établit un Certificat de conformité pour ce modèle de balance.

Exactitude : Désigne l'aptitude d'une balance à fournir des relevés de poids équivalant aux poids réels placés sur la balance. L'exactitude d'une balance se mesure généralement en fonction d'une norme reconnue, comme les poids test agréés du NIST.

Fluage : La variation (\pm) de la sortie du capteur de pesage ou de la balance, pendant un laps de temps défini, sous une contrainte constante, avec toutes les conditions environnementales et autres variables constantes, exprimée en pourcentage de la charge appliquée pendant 30 ou 60 minutes.

Force de cisaillement : Force horizontale exercée sur une balance.

Hystérèse : Écart maximal entre les relevés d'un capteur de pesage ou d'une balance, pour la même charge appliquée ; un relevé obtenu en augmentant la charge à partir de zéro et un autre relevé en réduisant la charge à partir de la capacité nominale, exprimé en pourcentage de la capacité nominale. Il s'agit, en d'autres termes, de l'écart maximal entre les courbes de charge ascendante et descendante de la Courbe d'étalonnage à une charge unique. Voir Courbe d'étalonnage.

Incrément : La variation de poids la plus faible qu'une balance est capable de déceler (également appelé division).

Indicateur : Sur une balance numérique, l'indicateur représente le composant (de la balance) qui reçoit les signaux analogiques transmis par les capteurs de pesage et les affiche sous forme de relevés de poids.

Interférence électromagnétique (IEM) : Perturbations causées par le fonctionnement d'un appareil électrique lorsque ce dernier capture les rayonnements électromagnétiques d'une source extérieure.

Interférences radioélectriques : Perturbation d'un appareil électrique survenant lorsque ce dernier capture les émissions radioélectriques d'une source extérieure.

Jauge dynamométrique : Fil ou série de fils qui mesure l'effort que produit une force sur un objet. Lorsqu'une jauge dynamométrique est reliée à un capteur de pesage, elle mesure l'ampleur de la déformation provoquée par un poids sur le capteur de pesage. La jauge dynamométrique s'élargit à mesure que le capteur de pesage se déforme, ce qui augmente la résistance du fil au courant électrique qui le traverse.

Joint enrobé : Couche de joint organique utilisée pour protéger les jauges dynamométriques d'un capteur de pesage. Il n'est pas aussi efficace qu'un joint hermétique qui convient mieux aux environnements difficiles.

Joint hermétique : Un couvercle métallique fixé par soudage ou brasage afin de protéger les jauges dynamométriques d'un capteur de pesage. Ce type de joint hermétique est fréquemment employé dans les environnements difficiles.

Maillon d'attache : Un connecteur en U doté de trous perforés par les bras. Une cheville est fixée dans les trous pour relier le maillon d'attache à un autre composant.

Module de pesage : Appareil pouvant être connecté à une cuve ou une autre structure afin de convertir la structure en balance. Les modules de pesage sont connectés à une structure afin de soutenir tout son poids. Un module de pesage doit fournir un relevé précis du poids et soutenir la structure en toute sécurité.

Non-linéarité : Écart maximal (\pm) de la courbe d'étalonnage d'un capteur de pesage ou d'une balance par rapport à une ligne droite tracée entre la sortie du capteur de pesage à charge nulle et à la charge nominale, mesuré à charge ascendante et exprimé en pourcentage de la capacité nominale. Voir Courbe d'étalonnage.

Pleine charge en extrémité : Type de chargement au cours duquel un objet est placé sur une balance afin que tout son poids soit concentré sur les capteurs de pesage, à une extrémité de la balance. La pleine charge en extrémité est courante dans les systèmes de convoyeur où l'objet à peser se déplace sur la balance, de l'avant vers l'arrière.

Pont-bascule : Une bascule de balance. Il est conçu pour transférer la charge placée sur le pont vers les capteurs de pesage de la balance.

Raccordement direct et permanent : Connexion mécanique reliant une balance et un objet que vous ne souhaitez pas peser. Les tuyaux connectés à une balance de cuve en sont un bon exemple. Si la connexion n'est pas assez flexible pour permettre la mobilité de la balance, les tuyaux peuvent pousser ou tirer la balance et conduire à des relevés de poids inexacts.

Résistance au vent : Forces exercées sur une balance ou sa structure par les vents.

Résistance sismique : Forces exercées sur une balance ou sa structure par un tremblement de terre ou d'autres mouvements terrestres.

Résolution : L'aptitude d'une balance de détecter les variations de poids. Pour une balance numérique, la résolution se mesure en pas qui représente la plus faible variation de poids décelable par la balance.

Sortie à charge nulle : Sortie maximale (\pm) du capteur de pesage lorsqu'aucune charge n'est appliquée sur son axe principal de contrainte, exprimée en pourcentage de la capacité nominale

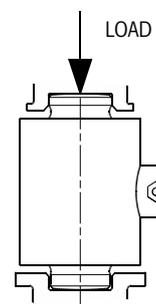
Sortie nominale : Signal de sortie du capteur de pesage lorsque la capacité nominale est appliquée le long de son axe principal de contrainte, exprimé en mV/V (mV du signal par V de tension d'excitation appliquée au capteur de pesage).

Surcharge de sécurité : Poids maximal pouvant être appliqué à un capteur de pesage sans provoquer de panne (généralement 150 % de la capacité nominale ; voir la fiche technique).

Surcharge extrême : Poids entraînant la rupture structurelle du capteur de pesage (généralement à 300 % de la capacité nominale ; voir la fiche technique).

Traction : Désigne l'action consistant à étirer un matériau. Un module de pesage par traction s'étire à mesure que le poids est appliqué.

Un capteur de pesage à peson (ou à colonne à bascule) est un capteur par compression utilisé par plusieurs sous les grandes bascules comme les ponts-bascules et pour le pesage des cuves, des trémies et des silos. L'axe longitudinal de la barre (l'axe principal de contrainte) est monté verticalement et ses extrémités ont des rayons sphériques qui entrent en contact avec les récepteurs durcis ; ces derniers retiennent le capteur de pesage et introduisent la charge au point de contact central. Cette disposition permet aux capteurs de pesage de basculer (ou de s'incliner) pour permettre au récepteur de charge de se dilater/contracter et d'absorber les chocs horizontaux. Les rayons de la barre doivent permettre le soulèvement progressif du récepteur de charge avec l'inclinaison croissante du capteur de pesage, ce qui génère une force de rappel qui rétablit la position verticale optimale des capteurs de pesage et remet le récepteur de charge dans sa position centrée.



Index

B

Barres de sécurité 5-14
Boîtes de dérivation 3-14, 5-24, 5-25
Boîtier NEMA/IP 10-9, 10-10, 10-11, 10-12

C

Câblage 5-24, 5-25, 5-26
Câbles 4-12, 5-24, 5-25, 5-26, 6-17, 7-6
Calibrage des modules de pesage 6-9, 6-10, 6-13, 7-2
Charge 3-1, 3-6, 4-1, 4-2, 4-4, 4-5, 4-8, 5-1, 5-2, 5-3, 6-2, 6-3, 6-10, 10-4, 11-1, 11-2, 11-3, 11-4, 11-5
Charge dynamique 3-1, 4-1, 4-4, 4-5, 6-2, 6-3, 11-4
Chargement 4-8, 5-2, 5-3, 5-13, 11-4
Compression 1-1, 2-1, 3-1, 5-4, 5-9, 6-1, 6-3, 6-5, 6-7, 6-9, 6-11, 6-13, 6-15, 6-17, 10-1, 11-1, 11-4
Construction 3-10, 11-5
Contrainte 11-1
Convoyeurs 3-1, 6-2, 6-10, 11-1

D

Déformation 3-1, 3-9, 4-4, 4-5, 4-6, 5-3, 5-5, 5-7, 5-8, 5-10, 5-11, 5-12, 5-14, 5-15, 5-16, 5-17, 5-18, 5-19, 11-1, 11-3
Détection du niveau 3-9, 6-12, 6-13

E

Effort 5-3
Efforts de cisaillement 3-1, 6-2
Erreurs de linéarité 5-5, 5-8
Erreurs d'étalonnage 3-4
Erreurs d'hystérèse 3-6
Étalonnage 3-2, 3-3, 3-4, 3-9, 5-15, 8-1, 8-2, 8-3, 11-3, 11-4
Exactitude 3-2, 3-3, 3-7, 3-11, 3-12, 3-13, 4-1, 4-2, 4-7, 4-9, 5-1, 5-3, 5-4, 5-7, 5-10, 5-14, 5-15, 5-16, 5-19, 5-20, 6-9, 6-12, 6-17, 7-3, 7-6, 8-2, 9-1, 11-4

F

Fluage 5-8
Fondations 3-3, 3-7, 4-4, 4-7, 5-2, 5-4, 5-7, 5-12, 6-14, 6-15, 6-16, 6-17, 7-6
Force descendante 5-4, 5-19, 5-22, 10-4, 10-6, 11-3
Forces de réaction 10-2, 10-3, 10-4, 10-5, 10-6
Forces sismiques 10-2
Formulaire de revue de conception 10-1
Foudre 4-12
Fréquences radioélectriques 5-26

H

Humidité 4-12

I

Indicateurs 3-9, 5-26, 9-1, 9-2, 9-3
Interférences électromagnétiques 5-25

L

Lutte contre le soulèvement 6-11

N

NIST 3-2, 3-11, 3-12, 3-13, 3-14, 11-3, 11-4

NTEP 3-9, 3-11, 3-13, 11-3

O

OIML 3-9, 3-11, 3-13, 3-14, 4-9

P

Poids pour tests 8-1, 8-2, 11-4

Poids test 3-2

Poids tests 5-6, 8-2

Pression 5-20

Protection contre les surtensions 4-12

R

Reproductibilité 3-3, 3-4, 3-5, 3-6, 3-7, 3-8, 3-9, 3-10, 11-5

Résistance au 3-2, 4-1, 4-2, 4-7

Résolution 3-2

S

Stabilisateurs 4-11, 6-4, 6-6, 6-11

Statique 10-2, 10-3, 10-5

Structure 5-7

Support structurel 5-7, 5-8, 5-9, 5-10, 5-11, 5-12

Suspension 2-2, 4-8, 4-9, 5-3, 5-13, 5-14, 6-2, 6-3, 11-2

T

Tableau des résistances chimiques 4-12, 6-11, 10-15

Taille du filetage 10-7, 10-8

Température 3-7, 3-12, 4-7, 4-8, 4-9, 4-10, 4-11, 4-12, 5-19, 7-6, 10-1, 10-15, 11-3

Tiges réglables 5-13, 7-7

Tolérance de réception 3-11, 3-12, 3-13, 3-14

Traction 1-2, 2-2, 2-4, 3-1, 5-9, 5-14, 7-1, 7-3, 7-5, 7-7, 7-8, 10-1

Transformations 2-3, 2-4, 2-5

Tuyau 5-21

Tuyaux 3-3, 3-9, 4-9, 5-14, 5-15, 5-16, 5-17, 5-18, 5-19, 5-20, 5-21, 5-22, 5-23, 6-4, 6-5

V

Vent 3-2

Vent 4-1, 4-2, 4-7, 5-13, 9-2, 10-2, 10-4, 10-5, 10-6, 11-5

Vibrations 3-3, 3-9, 4-5, 4-6, 4-7, 9-2

Z

Zones dangereuses 9-4

www.mt.com/ind-system-handbook

Pour plus d'informations

METTLER TOLEDO Group

Industrial Division

Local contact: www.mt.com/contacts

Subject to technical changes

©02/2018 METTLER TOLEDO. All rights reserved

Document No. 44098240

MarCom Industrial