

Mesure avec un capteur de pression

Date de publication: nov. 09, 2012

Introduction

Ce tutorial fait partie de la [série des principes fondamentaux de la mesure](#) de National Instruments. Chaque tutorial de la série vous enseignera un sujet particulier lié aux applications de mesure courantes, en alliant concepts théoriques et exemples pratiques. Ce tutorial porte sur les concepts et les techniques de mesure avec des capteurs de pression. Pour obtenir des explications plus détaillées sur les mesures de pression, consultez le tutorial « [Comment effectuer une mesure avec une cellule de charge ou un transducteur de pression](#) ». Pour obtenir davantage d'informations sur la série des principes fondamentaux de la mesure de National Instruments, revenez à la [page principale sur les principes fondamentaux de la mesure](#).

Table des matières

1. [Qu'est-ce que la pression ?](#)
2. [Les capteurs de pression](#)
3. [Mesure de la pression](#)
4. [Conditionnement de signaux pour les capteurs de pression](#)
5. [Systèmes d'acquisition de données pour les mesures de pression](#)
6. [Références](#)

1. Qu'est-ce que la pression ?

La pression est la force par unité de surface exercée par un fluide sur son environnement. [1] Mathématiquement, la pression (P) est donc une fonction de la force (F) et de la surface (S).

$$P = F/S$$

Une bombonne de gaz contient par exemple d'innombrables atomes et molécules qui rebondissent d'une paroi à l'autre sans discontinuer. La pression serait donc la force moyenne exercée par ces atomes et molécules sur les parois, par unité de surface de la bombonne. Toutefois, la pression n'a pas besoin d'être mesurée sur la paroi d'un réservoir quelconque : elle est plus habituellement mesurée par la force par unité de surface exercée sur tout plan. La pression atmosphérique, par exemple, est une fonction du poids du volume d'air qui pèse sur la Terre. La pression atmosphérique décroît donc à mesure que l'on prend de l'altitude. De même, à mesure qu'un plongeur ou un sous-marin s'enfonce plus profondément dans l'océan, la pression qu'il supporte augmente.

L'unité de mesure de la pression (selon le Système International d'Unités, SIU) est le Pascal (Pa ou N/m^2), mais elle peut également être mesurée en psi (mesure anglo-saxonne correspondant à la livre par pouce carré, « Pound per Square Inch »), en atmosphère normale (atm), en bars, en centimètres de mercure (cmHg) et en millimètres de mercure ou torr (mmHg).

Une mesure de pression peut être statique ou dynamique. Lorsqu'il n'y a aucun mouvement, la pression est qualifiée de statique. Parmi les exemples de pression statique, on peut citer la pression de l'air dans un ballon ou celle de l'eau dans un bassin. Toutefois, le mouvement d'un fluide modifie souvent la force qu'il exerce sur son environnement. Dans ce cas, la pression mesurée est qualifiée de dynamique. Par exemple, la pression interne d'un ballon ou celle d'un bassin rempli d'eau est différente, si de l'air s'échappe du ballon ou si de l'eau s'écoule hors du bassin.

La pression hydrostatique (ou hauteur manométrique ou piézométrique) mesure la pression statique d'un liquide dans un réservoir ou un tuyau. La pression hydrostatique (P) est une fonction de la hauteur du liquide (h) et de sa masse volumique (m), comme l'illustre la Figure n°1 ci-dessous.

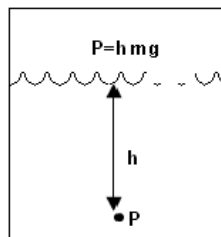


Figure n°1. Mesure de la pression hydrostatique

La pression qui pèse sur un plongeur sous-marin est donc égale à la profondeur à laquelle il se trouve, multipliée par la masse volumique de l'océan (que l'on suppose de $1\,025\text{ kg/m}^3$ environ) et par la gravité. Un plongeur nageant à 10 mètres sous la surface subit donc une pression équivalente à près d'1 kilogramme d'eau sur chaque centimètre carré de son corps, ce qui revient à 14,7 psi. Or il est intéressant de signaler que la pression atmosphérique au niveau de la mer s'élève également à 14,7 psi ou 1 atm. Cela signifie donc que 10 mètres d'eau exercent une pression équivalente à 8 kilomètres d'air ! La pression totale supportée par un plongeur à 10 mètres de profondeur est donc égale à la pression de l'air ajoutée à celle de l'eau, soit 29,4 psi ou 2 atm.

Par ailleurs, il existe trois types de mesures de pression : absolue, manométrique (ou effective) et différentielle. La mesure de pression absolue est effectuée par rapport au vide (Voir Figure n°2 ci-dessous). Souvent, on emploie les unités de mesure PAA (Pascals Absolute) ou psia (Pounds per Square Inch Absolute) pour décrire une pression absolue.

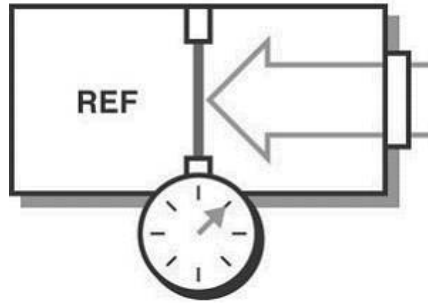


Figure n°2. Capteur de pression absolue [3]

La pression manométrique (ou effective) est mesurée par rapport à la pression atmosphérique, (Voir Figure n°3). Pour ce type de mesure, on utilise les unités PAG (Pascals Gauge) ou psig (Pounds per Square Inch Gauge).

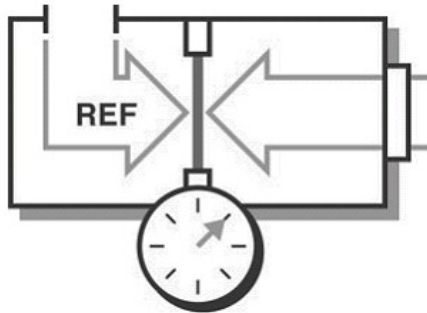


Figure n°3. Capteur de pression manométrique (ou effective)[3]

La pression différentielle est similaire à la pression manométrique, mais elle est mesurée par rapport à une pression de référence spécifique (Voir Figure n°4 ci-dessous). On emploie les unités PAD (Pascals Differential) ou psid (Pounds per Square Inch Differential) pour décrire une pression différentielle.

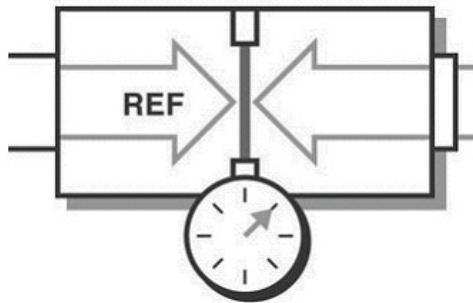


Figure n°4. Capteur de pression différentielle [3]

2. Les capteurs de pression

Du fait de la grande diversité de conditions, de gammes et de matériels possibles lors de la mesure d'une pression, il existe de nombreux types de capteurs de pression différents. La pression peut souvent être convertie en une mesure intermédiaire, comme le déplacement. Le capteur transforme ensuite ce déplacement en un signal de sortie électrique comme une tension ou une intensité. Les trois catégories de transducteurs de pression de ce type les plus répandus sont : le transducteur à jauge de contrainte, le transducteur à capacitance variable et le transducteur piézoélectrique.

De tous les capteurs de pression, les plus courants sont les capteurs à jauge de contrainte qui présentent un montage en pont de Wheatstone, car ils sont une solution capable de satisfaire à des exigences variables en matière de précision, de robustesse ou de coûts. Les capteurs à jauges montées en pont sont utilisés pour mesurer des hautes et des basses pressions, et permettent de mesurer aussi bien une pression absolue, manométrique ou différentielle. Tous les capteurs « à pont » mettent en œuvre une jauge de contrainte et un diaphragme, comme le montre la Figure n°5.

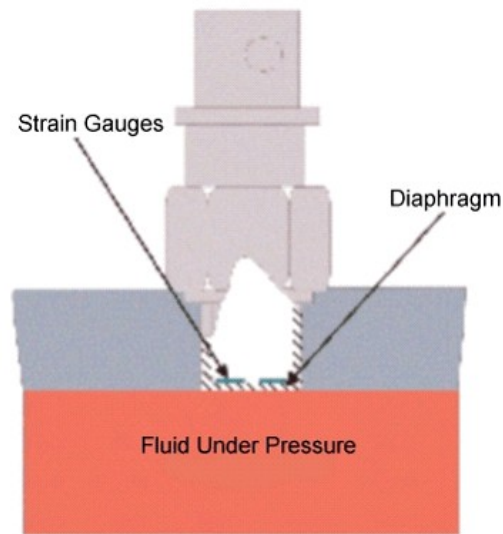


Figure n°5. Schéma en coupe d'un capteur de pression à jauge de contrainte type [3]

Lorsqu'une variation de pression entraîne une déformation du diaphragme, cela provoque une modification de la résistance au niveau de la jauge de contrainte ; cette modification peut être mesurée par un système d'acquisition de données (DAQ). Les transducteurs de pression à jauge de contrainte peuvent utiliser différentes sortes de jauges : jauge de contrainte métallique collée, jauge de contrainte à substrat isolant pulvérisé et jauge de contrainte à semi-conducteur.

Dans un capteur de pression utilisant le premier type de jauge, une jauge constituée d'une feuille métallique est collée ou liée à la surface du corps d'épreuve sur lequel s'exerce la pression à mesurer. Ces jauges métalliques collées sont les plus utilisées dans l'industrie de la mesure depuis plusieurs années et continuent de l'être car elles affichent une fréquence rapide de 1 000 Hz aux variations de pression, et elles fonctionnent, dans l'ensemble, sur une large gamme de températures allant de - 268 à + 273 degrés Celsius.

Les fabricants de jauges de contrainte à substrat isolant pulvérisent une fine couche de fibre de verre sur le diaphragme, auquel ils fixent ensuite une jauge métallique. Les capteurs qui mettent en œuvre ces jauges de contrainte établissent un lien moléculaire entre la jauge elle-même, le substrat isolant et le diaphragme. Ces jauges sont donc particulièrement adaptées à des utilisations de long terme et à des conditions extérieures difficiles.

Les fabricants de circuits intégrés ont par ailleurs développé des capteurs de pression composites d'emploi aisé. Ces appareils intègrent généralement un diaphragme semi-conducteur, sur lequel une jauge de contrainte à semi-conducteur et un capteur de compensation de température ont été ajoutés. Un circuit intégré permet de conditionner les signaux de manière appropriée, fournissant une tension DC ou une intensité linéairement proportionnelle à la pression sur une gamme donnée.

La capacitance entre deux plaques de métal se modifie quand la distance qui les sépare varie. Un transducteur de pression à capacitance variable, tel qu'illustré à la Figure n°6, permet de mesurer la variation de capacitance entre un diaphragme métallique et une plaque de métal fixe. Ces transducteurs sont généralement très stables et linéaires, mais ils sont sensibles aux températures élevées et sont plus complexes à mettre en place que la plupart des capteurs de pression.

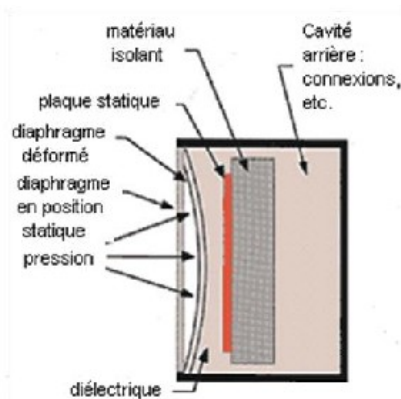


Figure n°6. Transducteur de pression à capacitance variable [4]

Les transducteurs de pression piézoélectriques (Voir Figure n°7) tirent parti des propriétés électriques de cristaux naturels comme le quartz. Ces cristaux génèrent une charge électrique lorsqu'ils sont soumis à une contrainte. Ces capteurs piézoélectriques ne demandent pas de source d'excitation extérieure et sont particulièrement robustes. Ils requièrent en revanche un amplificateur de charge et ils sont très sensibles aux chocs et aux vibrations.

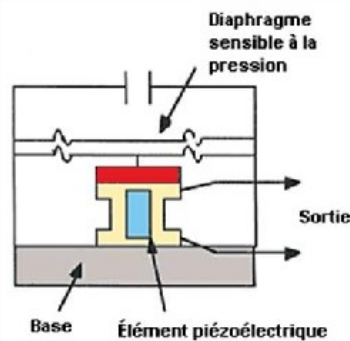


Figure n°7. Transducteur de pression piézoélectrique [4]

L'une des causes d'erreur les plus courantes dans les applications de mesure de pression est l'impact dynamique, qui provoque une surcharge du capteur. Le phénomène du « coup de bélier » est un exemple classique de surcharge d'un capteur de pression. Il se produit lorsqu'un fluide circulant à grande vitesse dans une conduite est soudainement bloqué par la fermeture d'une vanne, par exemple. L'interruption brutale de l'écoulement du fluide crée une onde de pression qui va se propager dans la conduite. Cette onde provoque un choc et donc un pic de pression qui peut endommager le capteur. Afin d'atténuer ce phénomène, les capteurs sont souvent équipés d'un « amortisseur », placé entre le capteur lui-même et la conduite sous pression. Un amortisseur est généralement un filtre à mailles ou un matériau fritté qui laisse passer le fluide sous pression mais bloque le fluide dès que son volume est trop important, empêchant ainsi l'onde de choc de se propager et de créer un pic de pression en cas de coup de bélier. Ce type de dispositif permet de protéger votre capteur si besoin est ; toutefois, certaines applications ont justement pour objectif de tester la pression maximale d'impact. Dans ce cas, il est recommandé de choisir un capteur n'intégrant pas de dispositif atténuateur. [3]

3. Mesure de la pression

Comme nous l'avons vu plus haut, la sortie normale d'un transducteur est une tension. La plupart des transducteurs de pression à jauge de contrainte ont une tension de sortie faible (de l'ordre du millivolt, mV). Ce signal faible implique d'envisager plusieurs types de conditionnement, qui seront abordés dans la prochaine section. En outre, de nombreux transducteurs ont un signal conditionné de 0 à 5 volts ou un courant de 4 à 20 milliampères en sortie. Ces deux types de sorties correspondent linéairement à toutes les gammes de fonctionnement du transducteur. Par exemple, 0 volt et 4 milliampères correspondent à une mesure de pression nulle. De la même manière, 5 volts et 20 milliampères correspondent à la capacité totale du transducteur, c'est-à-dire à la pression maximale qu'il peut mesurer. Les signaux entre 0 et 5 volts et entre 4 et 20 milliampères peuvent aisément être mesurés avec le matériel d'acquisition de données multifonction de National Instruments.

Voir aussi :

[Matériels d'acquisition de données \(DAQ\)](#)

4. Conditionnement de signaux pour les capteurs de pression

Pour tout capteur à pont de jauges, plusieurs types de conditionnement de signaux sont à envisager. Les facteurs suivants sont à prendre en compte si l'on veut s'assurer d'obtenir des mesures précises :

- Configuration de pont
- Excitation
- Capteur à distance
- Amplification
- Filtrage
- Offset
- Étalonnage de shunt

Tous ces critères sont traités dans le tutorial « [Measuring Strain with Strain Gauges](#) ».

Une fois la tension mesurée, elle doit être convertie en véritables unités de pression. La linéarisation est souvent inutile, puisque les capteurs de pression donnent généralement une réponse linéaire sur leur gamme de fonctionnement ; en revanche, un matériel ou un logiciel sera nécessaire pour convertir la sortie de tension du capteur en une mesure de pression. La formule de conversion à utiliser est fournie par le fabricant du capteur et dépendra du type de capteur employé. L'une des formules de conversion les plus courantes est une fonction de la tension d'excitation (T_e), de la capacité maximale du capteur (C_m) et d'une constante d'étalonnage (CE).

$$\text{Pression} = \left(\frac{C_m}{T_e} \right) \left(\frac{T_m}{CE} \right), \text{ où :}$$

C_m = Capacité maximale : pression maximale que peut supporter le transducteur

T_e = Tension d'excitation : tension d'entrée recommandée

T_m = Tension mesurée : tension brute donnée par le capteur

CE = Constante d'étalonnage : sortie du transducteur, souvent exprimée en mV par V d'entrée

Par exemple, pour un transducteur de pression dont la capacité maximale s'élève à 10 000 psi et dont la constante d'étalonnage est de 3 mV - sachant qu'une tension d'excitation de 10 V DC produit une tension mesurée de 15 mV - la pression mesurée serait de 5 000 psi.

Après avoir étalonné correctement votre signal, il faut obtenir une position de repos appropriée. Les capteurs de pression (absolue ou à jauge de contrainte) ont un certain niveau considéré comme leur position de repos, ou position de référence. À cette position, la jauge de contrainte doit produire 0 volt. Le circuit de suppression d'offset ajoute ou retire une résistance de l'une des branches de la jauge de contrainte pour obtenir cette position « d'équilibre ». La suppression d'offset est essentielle pour garantir la précision de votre mesure et, pour des résultats optimaux, doit être réalisée par matériel plutôt que par logiciel.

Voir aussi :

Tutorial : « [Comment effectuer une mesure par jauge de contrainte](#) »

5. Systèmes d'acquisition de données pour les mesures de pression

Souplesse et modularité avec le matériel de la Série C

Le matériel National Instruments de la Série C pour les capteurs à jauge de contrainte (montées en pont) comprend deux modules avec différentes spécifications, ainsi que plusieurs supports de module, le tout permettant la création de systèmes modulaires et flexibles. Le module NI 9237 permet de mesurer des signaux issus de capteurs (notamment de pression) structurés en pont complet, demi et quart de pont. Le NI 9237 est un module 4 voies avec une vitesse d'échantillonnage de 50 kéch./s par voie et une résolution de 24 bits, pour des mesures véritablement simultanées. Le NI 9219 est un autre module de la Série C pour la mesure de pression, qui permet également de mesurer des signaux issus de capteurs structurés en pont, demi et quart de pont. Ce module offre une isolation entre les voies, des convertisseurs analogique/numérique 24 bits et une fréquence d'échantillonnage de 100 Éch./s par voie. En outre, le NI 9219 est un module universel et peut donc également être utilisé pour de nombreuses mesures différentes : thermocouples, RTD, tension, courant et résistance. Les modules NI 9237 et NI 9219 peuvent alimenter des jauges de contraintes ou des transducteurs de pression, et peuvent être intégrés dans le boîtier monomodule NI USB, dans le châssis NI CompactDAQ et dans le châssis NI CompactRIO pour la programmation et le stockage de données.



Figure n°8. NI CompactDAQ USB, Compact RIO et support de module USB de la Série C, intégrant différents modules

Construisez votre propre système en commençant par un ensemble d'éléments recommandés par le [Kit de base préenregistré pour les applications de pression/contrainte \(logiciel inclus\)](#)

Pages de référence des produits :

[NI 9237](#)

[NI 9219](#)

[NI CompactDAQ](#)

[NI CompactRIO](#)

[Boîtier monomodule NI USB de la Série C](#)

Mesures de pression avec le NI SCXI

Le SCXI (Signal Conditioning eXtensions for Instrumentation) de National Instruments est un système d'instrumentation et de conditionnement de signaux adapté à l'acquisition de données sur PC (Voir Figure n°9). Un système SCXI se compose d'un châssis durci accueillant différents modules de conditionnement de signaux d'entrée et de sortie ; il offre un large choix de fonctions de conditionnement. Différents types de capteurs peuvent être connectés à ses modules, notamment des capteurs de pression absolue et à jauge de contrainte. Le SCXI peut faire office de système frontal de conditionnement de signaux pour des matériels d'acquisition de données enfichés dans un PC - comme le PCI ou le PCMCIA - ou pour des modules d'acquisition de données sur PXI.



Figure n°9. Système NI SCXI type

Le SCXI représente une solution idéale pour les mesures de pression. Par exemple, le module d'entrée universel NI SCXI-1520 pour jauge de contrainte est parfaitement adapté aux mesures de pression. Il offre 8 voies d'entrée échantillonnées simultanément, avec complément de pont, excitation programmable (0-10 V), détection d'excitation à distance, amplificateur à gain programmable (1-1 000), filtre programmable de Butterworth 4 pôles (10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz), suppression d'offset et étalonnage de shunt. Le bloc de terminaison NI SCXI-1314 offre un bornier à vis permettant la connexion aisée de vos capteurs. De plus, le SCXI-1314T intègre un lecteur TEDS pour les capteurs intelligents TEDS sur pont Class II.

Kit de base recommandé pour un système d'acquisition de données de pression sur SCXI :

1. [Module DAQ USB NI SCXI-1600](#)
2. [Châssis NI SCXI](#)
3. [Modules NI SCXI-1520](#) et blocs de terminaison [NI SCXI-1314](#) et [NI SCXI-1314T](#)

Rendez-vous sur ni.com/sensors pour voir les fournisseurs de capteurs recommandés

Pour une solution personnalisée, consultez le [guide de sélection SCXI](#).

Acquisition de données de la Série SC avec des capteurs de pression à jauge de contrainte

Le NI PXI-4220 (Voir Figure n°10), qui fait partie des modules de la Série SC, représente une solution de mesure idéale pour obtenir de très hautes performances en matière d'acquisition de données intégrée et de conditionnement de signaux. L'acquisition de données de la Série SC permet des mesures à une vitesse atteignant 333 kéch./s avec une résolution de 16 bits, et combine acquisition de données et conditionnement de signaux dans une seule et même carte enfichable. Le NI PXI-4220 est une carte DAQ offrant un échantillonnage de 200 kéch./s et une résolution 16 bits, avec excitation, gain et filtre de Butterworth 4 pôles programmables. Chaque voie d'entrée comprend également un connecteur Sub-D 9 broches pour une connexion aisée aux capteurs structurés en pont, ainsi qu'un shunt programmable et un circuit d'étalonnage. Le PXI-4220 est la solution idéale pour les mesures de pression dynamique avec un nombre de voies réduit.



Figure n°10. Le PXI-4220 de National Instruments

Kit de base recommandé pour un système d'acquisition de données de pression sur SCXI :

1. [Châssis PXI](#)
2. [Contrôleurs embarqués PXI](#)
3. [Modules NI PXI-4220](#)

Rendez-vous sur ni.com/sensors pour voir les fournisseurs de capteurs recommandés

Pour une solution personnalisée, consultez le [guide de sélection PXI](#).

Matériel SCC avec des capteurs de pression à jauge de contrainte

Les matériels SCC de National Instruments permettent un conditionnement de signaux portable et modulaire pour les systèmes d'acquisition de données (Voir Figure n°11). La série SCC est une solution économique qui offre un nombre de voies réduit et s'interface directement avec les cartes DAQ de la Série M de NI. Les modules SCC permettent de conditionner un large éventail de signaux d'E/S analogiques et numériques, issus notamment de capteurs à pont de jauges. Les systèmes DAQ SCC comprennent un boîtier blindé de la série SC, tel que le NI SC-2345 ou le NI SC-2350 ; des modules SCC ; un câble et un matériel d'acquisition de données. Le boîtier blindé NI SC-2350 supporte en outre les capteurs intelligents TEDS.



Figure n°11. Boîtier SCC et modules de National Instruments

Le module d'entrée NI SCC-SG24 supporte jusqu'à deux voies d'entrée en pont complet pour les cellules de charge/capteurs de force ou les capteurs de pression. Chaque voie comprend un amplificateur d'instrumentation, un filtre passe-bas de 1,6 kHz et un potentiomètre pour la suppression de l'offset de pont. Chaque module comprend aussi une source d'excitation simple de 10 V.

Kit de base recommandé pour un système d'acquisition de données de pression sur SCC :

1. [Instruments d'acquisition de données de la Série M de NI](#)
2. Boîtiers blindés [NI SC-2345](#) et [NI SC-2350](#)
3. [Modules NI SCC-SG24](#) (chacun pouvant supporter deux capteurs de pression)

Rendez-vous sur ni.com/sensors pour voir les fournisseurs de capteurs recommandés

Voir aussi :

Capteurs : [Guide des produits associés](#)

[Guide SCXI](#)

[Guide PXI](#)

6. Références

[1] Johnson, Curtis D, Pressure Principles Process Control Instrumentation Technology, Prentice Hall PTB.

[2] Daytronic.com, Strain Gauge Pressure Transducers, <http://www.daytronic.com/products/trans/t-presstrans.htm> (novembre 2003).

[3] Sensotec.com, Honeywell Sensotec Frequently Asked Questions, http://www.sensotec.com/pdf/FAQ_092003.pdf (novembre 2003).

[4] Sensorsmag.com, « Pressure Measurement: Principles and Practice », <http://www.sensorsmag.com/articles/0103/19/main.shtml> (janvier 2003).

Pour lire d'autres tutoriaux, retournez à la [page principale sur les principes fondamentaux de la mesure](#).