

MP04 - Capteurs de grandeurs mécaniques.

May 7, 2019

Contents

1	Accéléromètre	2
1.1	Théorie :	2
1.2	Diagramme de Bode :	3
1.3	(Optionnel) Étalonnage statique : domaine de linéarité sensibilité	3
1.3.1	Incertitudes :	4
2	Capteur inductif de proximité	4
2.1	Principe :	4
2.2	Étalonnage : domaine de linéarité sensibilité	5
2.2.1	Incertitudes :	6
3	Application et comparaison	6
3.1	Expérience : détermination du module d'Young d'une poutre en laiton.	6
3.1.1	Accéléromètre	6
3.1.2	Incertitudes :	7
3.1.3	Capteur de position inductif :	7
3.1.4	Incertitudes :	9
4	Annexe	10
4.1	Rappel sur les capteurs	10
4.1.1	Notions et concepts	10
4.1.2	Capteurs actifs	10
4.1.3	Capteurs passifs	11
4.1.4	Capteurs composites	11
4.2	Caractéristique métrologiques des capteurs	11
4.2.1	limite d'utilisation du capteur	11
4.2.2	Sensibilité	12
4.2.3	Rapidité - Temps de réponse	12
4.2.4	Discrétion ou finesse	12
4.3	Rappels métrologiques :	12
4.4	Retour de 2018	13
4.5	Modes propres de la poutre	13

- 2017 : Les candidats peuvent choisir d'étudier tous types de capteurs qui mesurent des grandeurs mécaniques : accéléromètres, jauges de contrainte, capteurs de position, de vitesse... Le mot capteur dans ce montage signifie que les caractéristiques des capteurs : linéarité, finesse, gamme, sensibilité... doivent être étudiés.

- 2014, 2015, 2016 : Les candidats peuvent choisir d'étudier tous types de capteurs qui mesurent des grandeurs mécaniques : accéléromètres, jauges de contrainte, capteurs de position, de vitesse ... En revanche, ce montage ne peut pas se limiter à l'étude d'un ressort !
Lors de l'étude d'un capteur, le candidat doit s'intéresser aux qualités de fidélité, de sensibilité et de justesse qui permettent d'utiliser ce capteur comme un instrument de mesure. Par ailleurs, certaines grandeurs mécaniques varient dans le temps et il n'est pas obligatoire de se limiter aux grandeurs stationnaires. (2014 : Par ailleurs, les notions de temps de réponse et de fonction de transfert ne doivent pas être ignorées.)
- 2013 : Dans ce nouveau montage, les candidats peuvent choisir d'étudier tous types de capteurs qui mesurent des grandeurs mécaniques : accéléromètres, jauges de contrainte, capteurs de position, de vitesse ... Jusqu'en 2013, le titre était : Capteurs et transducteurs
- 2010 à 2013 : Les notions de temps de réponse des capteurs et de fonction de transfert des transducteurs sont essentielles. On devrait aussi s'intéresser aux qualités de fidélité, sensibilité et justesse qui permettent de transformer ces capteurs en instruments de mesure.
- 2007 : Le montage ne peut se résumer à un catalogue plus ou moins exhaustif des capteurs. Le jury attend au moins une étude approfondie des propriétés de l'un des capteurs présentés ainsi que celle d'un transducteur.

Références :

- *Les Capteurs en instrumentation industrielle* Asch Pour tous les termes techniques

Introduction

La grandeur physique objet de la mesure se nomme le mesurande que l'on note m et l'ensemble des opérations qui permettent de connaître la valeur de ce mesurande se nomme le mesurage ou la mesure. Le capteur est le dispositif qui soumis à l'action d'un mesurande présente une réponse de nature électrique (charge, tension, courant ou impédance) notée s .
(voir annexe)

- définir sensibilité
- définir domaine linéaire
- définir discrétion

Dans ce montage on ne s'intéressera qu'à des mesurandes de nature mécanique.

1 Accéléromètre

1.1 Théorie :

Un accéléromètre est un dispositif permettant la mesure d'une accélération. Cependant, peu d'accéléromètres sont basés sur une mesure directe de l'accélération¹ : la plupart utilisent

¹On peut citer le gravimètre absolu balistique, qui pose sur la mesure de la position d'une masse en chute libre sous vide, qui est utilisé en géophysique. Il faut cependant garder à l'esprit que la plupart des gravimètres

la mesure d'une force (accéléromètre piézoélectrique), ou de la **déformation d'un corps d'épreuve**. C'est le cas pour l'accéléromètre que l'on va étudier ici.

L'accéléromètre P96.67 que l'on utilise est un module accéléromètre MEMS (MicroElectroMechanical System) ADXL330. C'est un accéléromètre à peigne capacitifs 3-axes : on peut réaliser simultanément la mesure de l'accélération dans les trois directions de l'espace. C'est un capteur intégré : le capteur ainsi que l'électronique associée sont réalisés sur une tranche de silicium. Le principe de cet accéléromètre est bien expliqué dans [BUP 920] : le déplacement de microstructures, consécutif à l'accélération, est mesuré via un capteur capacitif. Le conditionnement de ce capteur est intégré dans un circuit miniaturisé.

1.2 Diagramme de Bode :

On souhaite tracer le diagramme de Bode de l'accéléromètre. Pour cela, on va utiliser un montage un peu spécial :

Expérience :

Sur un pot vibrant, on met un accéléromètre avec une réponse supposé plate et une large bande passante. On l'appelle le témoin. Par dessus tout cela, on fixe l'accéléromètre à étudier. Alimenter les accéléromètres avec une tension de 5 V ^a On récupère au multimètre DC l'amplitude de la tension m aux borne du témoin et s de l'accéléromètre à étudier. On alimente le pot vibrant avec une tension sinusoïdale (2 V , GBF pas d'offset) Pour plusieurs fréquences entre 20 Hz et 250 Hz , mesurer m et s . Tracer $h = \frac{s}{m}$

^aATTENTION : la tension de sortie est proportionnelle à la tension d'alimentation. Lors de vos mesures futures, pensez à maintenir cette tension constante et à la contrôler régulièrement au multimètre.

On obtient le diagramme de Bode du capteur². On voit que le capteur est un **filtre passe bas**³. On peut mesurer sa fréquence de coupure.

1.3 (Optionnel) Étalonnage statique : domaine de linéarité sensibilité

En fait, on n'a pas besoin d'avoir un instrument étalonné dans l'application donc on pourrait sauter cette partie pendant l'oral. Il serait intéressant de montrer la courbe en préparation

Nous proposons ici un premier étalonnage assez simple de l'accéléromètre, basé sur la connaissance de l'accélération de la pesanteur $g = 9.81\text{ m.s}^{-2}$, qui va nous permettre de vérifier la linéarité du capteur. Le principe de l'accéléromètre fait qu'il peut être étalonné en statique.

Expérience :

À l'aide d'un statif et de noix, placer un petit écran d'optique horizontalement (voir figure). Y scotcher un rapporteur et un fil à plomb P96.19 de telle façon à ce que le fil indique l'angle d'inclinaison de l'écran. Contrôler la valeur d'angle indiquée si l'écran est horizontal ou vertical.

utilisés pour le génie civil, la prospection pétrolière, etc. sont des gravimètres relatifs, moins encombrants et moins chers bien que moins précis.

²Pourquoi ne pas normaliser la réponse par le sinus en sortie du GBF me demanderez vous ?

C'est pour s'affranchir de la réponse du pot vibrant. C'est elle qui constitue la grandeur à mesurer.

³La pente en échelle loglog à haute fréquence nous dit l'ordre.

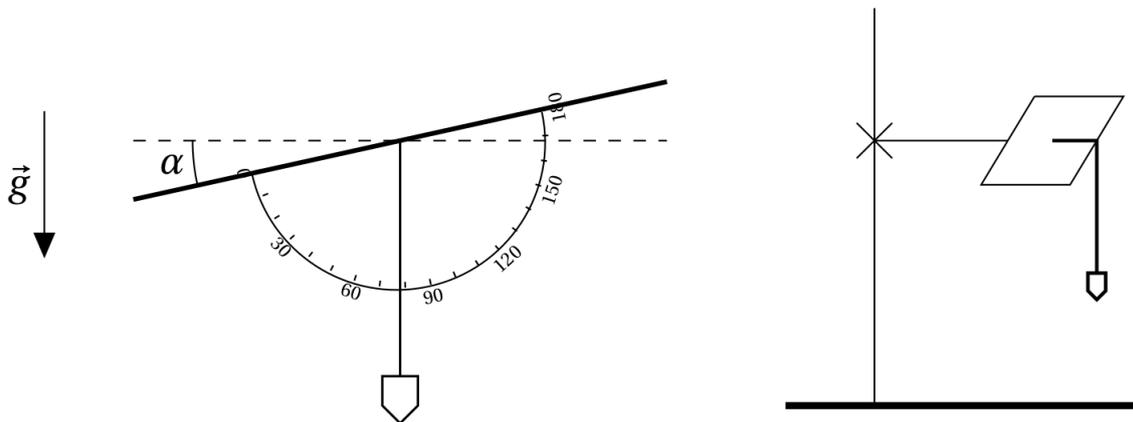


Figure 1: Étalonnage classique – Figure reprise du poly de Jeremy Fernad

Scotcher l'accéléromètre à plat sur l'écran. Pour différentes valeurs d'angle α (de 10° en 10°), mesurer la tension u_{acc} selon l'axe Z au multimètre. Faire la moyenne des angles opposés. Retrouver l'incertitude sur la tension dans la notice du multimètre et évaluer l'incertitude sur la mesure de l'angle.
Représenter u_{acc} en fonction de l'accélération $a = g \cos(\alpha)$:
la pente est la sensibilité du capteur.

Pour une tension d'alimentation de $5V$, on attend une sensibilité de l'ordre $0.026 V/(m.s^{-2})$. Normalement, on est durant cet étalonnage toujours dans le domaine de linéarité.

1.3.1 Incertitudes :

Source :

- les fluke donc on prend 1% de la valeur \pm dernier digit

Type A donnée par le fit pour la sensibilité.

2 Capteur inductif de proximité

On souhaite mesurer la distance entre un obstacle métallique et le capteur. On réalise ce que l'on appelle un capteur de proximité. Ici on va s'intéresser à un capteur inductif donc encore un capteur passif. Il fonctionne via les courants de Foucault et les couplages inductifs.

2.1 Principe :

Nous avons à disposition un capteur de position inductif à courants de Foucault. L'élément essentiel de ce capteur est une bobine parcourue par un courant de haute fréquence. Cette bobine crée dans son environnement un champ magnétique variable : un objet conducteur placé dans cette zone est donc le siège de courants de Foucault. On peut comprendre le fonctionnement de ce type de capteur en modélisant la cible par un circuit (R, L) couplé par induction mutuelle à la bobine du capteur.

L'inductance est modifiée et on mesure cette impédance. L'étude de ce problème est réalisée dans [Asch p.389]⁴. La cible utilisée doit être un bon conducteur, ici nous utiliserons de l'aluminium. L'objet doit être suffisamment épais pour que l'on puisse négliger l'épaisseur de peau. Pour l'aluminium, l'épaisseur doit être supérieure à 300 μm environ.

Le capteur vu dans son ensemble est un **capteur actif**⁵ : une tension représentative de la distance entre le métal et le capteur est délivrée. Pour le capteur P96.65 que nous utilisons, la plage nominale d'emploi est une distance entre 0 et 2 mm. Le conditionnement n'est pas indiqué par le constructeur. Selon [Asch], il s'agit d'un pont constitué d'une inductance de référence et de l'inductance variable.

Le protocole permet d'étalonner le capteur, de définir ainsi son **domaine de linéarité** et la **sensibilité** correspondante.

2.2 Étalonnage : domaine de linéarité sensibilité

Il faut le faire en grande partie en préparation. Et tout fixer pour que rien ne bouge lors de la mesure devant le Jury et que le point devant le jury tombe bien sur la courbe. Placer ce montage sur une table isolée du reste

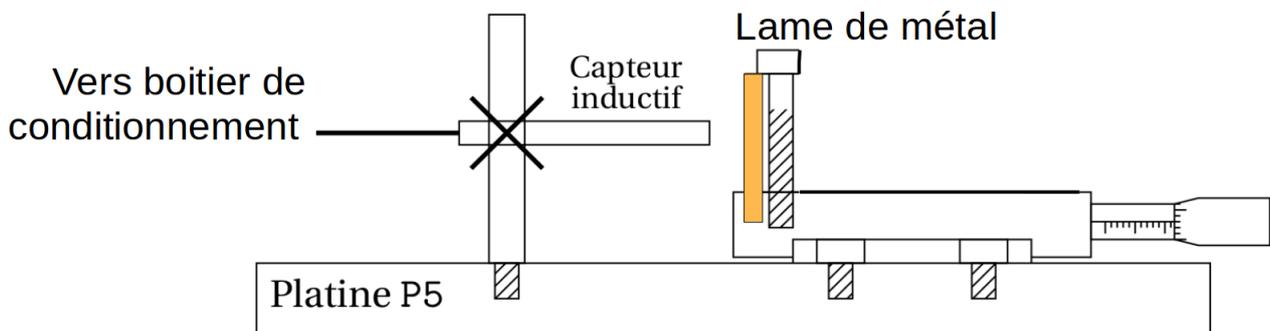


Figure 2: Figure reprise du poly de Jeremy Fernad

Experience :

Pour mesurer précisément la distance séparant le capteur de la cible, on utilise une platine de translation Thorlabs dotée d'une vis micrométrique. Cette platine ainsi que les différents éléments nécessaires à l'expérience sont regroupés dans une boîte P96.68 . Pour éviter des petits déplacements pouvant modifier de façon importante les mesures, tous les éléments seront vissés : Penser à demander un set de clé Allen.

Réaliser le dispositif schématisé en figure 5.4. Visser la platine de translation P96.68 sur une plaquette d'essais optique P5.0 (deux petites vis). la barre en laiton (deux grandes vis) sur la platine de translation. Visser ensuite une tige sur la plaquette, et y fixer le capteur inductif P96.65 à l'aide d'une noix. Il faut s'assurer que le capteur inductif est perpendiculaire à la barre. Vérifier enfin que tous les éléments sont bien fixés. Pour

⁴L'étude était également l'objet de l'épreuve du concours Centrale-Supélec PSI 2007, dont on peut trouver l'énoncé et le corrigé sur internet.

⁵La bobine seule a un changement d'impédance, c'est un capteur passif. Cependant, comme on n'a pas à faire le conditionnement et que cette "boîte noire" nous renvoie une tension, on peut considérer que c'est un capteur actif.

différentes distances mesurées avec la vis micrométrique, mesurer la tension en sortie du boîtier. Faire des mesures entre 0 et 2 mm en aller-retour (on vérifie ainsi que le dispositif n'a pas bougé).

Déterminer le domaine de linéarité du capteur et en déduire sa sensibilité. On attends environ 3 V/mm.

2.2.1 Incertitudes :

sur chaque points Sources :

- les fluke donc on prend 1% de la valeur \pm dernier digit.
- lecture sur le vernier. moi je prends 1 graduation mais certains prennent $1/\sqrt{12} \times 1$ graduation

Type A donnée par le fit pour la sensibilité.

3 Application et comparaison

On souhaite mesurer le module de Young d'une poutre encastrée. Pour cela, on a besoin de la fréquence de résonance d'une poutre. On va détecter soit l'accélération, soit la position verticale en un point de la barre et en déduire la fréquence de résonance du mode fondamental avec les deux capteurs.

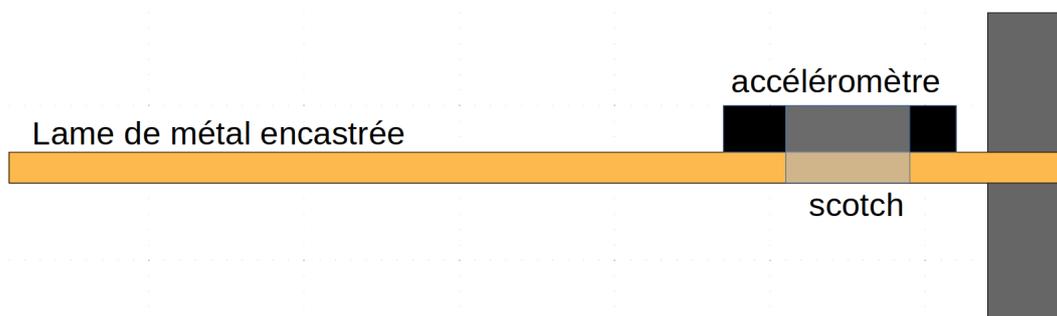
Le but ici est bien de comparer les deux capteurs en terme de **discrétion**. En effet, le capteur inductif reste loin de la barre et ne devrait pas changer ses propriétés mécaniques alors que le dynamomètre en change les propriétés géométriques lorsque on l'y colle.

3.1 Expérience : détermination du module d'Young d'une poutre en laiton.

Commencer par ça en préparation. Faire plein de points dans les deux cas. On n'en fera qu'un de chaque pour le Jury plus tard (mieux vaut des endroits où l'accéléromètre reste discret).

3.1.1 Accéléromètre

Je conseille de faire cette "droite" en préparation puis un seul point devant le Jury.



Expérience :

On attache à l'aide d'un serre-joint une barre de métal au bord de la table. On place dessus un accéléromètre XYZ près du point d'ancrage pour ne pas perturber trop les vibrations.

A l'oscilloscope^a, on mesure la fréquence des oscillations du signal Z de l'accéléromètre après avoir excité la poutre. On mesure la période T des oscillations pour différentes longueurs libres l de la poutre.

^aPlus précis cette fois que le fréquence-mètre car ici, le signal qui nous intéresse (mode fondamental seul) n'arrive que tardivement. Il nous faut donc pouvoir voir l'allure du signal.

On a :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E a^2}{12\mu} \frac{1.875^2}{L^2}} \quad (1)$$

où μ est la masse volumique de la barre, et a son épaisseur.

On trace alors $f(1/L^2)$ qui est une droite de pente β . Le module d'Young est donné par :

$$E = \left(\frac{2\pi\beta}{1.875^2} \right)^2 \frac{12\mu}{a^2} \quad (2)$$

μ est censé être écrit sur la barre. a est mesuré à l'aide d'un palmer. L à l'aide d'un mètre ruban.

On doit trouver : $E = 115 \cdot 10^9 \text{ GPa}$

Il faut prendre des valeurs de L grandes et petites pour lesquelles l'accéléromètre peut plus être considéré comme ponctuel. Ainsi, on met en évidence la non-discrétion du capteur.

(*) Commentaire

Ce capteur est très linéaire. Il a une bonne sensibilité qui permet bien de conduire la mesure.

Cependant, le capteur est loin d'être ponctuel et va fausser la mesure aux faibles valeurs de L en changeant la géométrie de la poutre. Il a une mauvaise **discrétion** pour des petites barres.

Pour terminer, on propose de comparer la courbe obtenue avec celle pour le capteur inductif.

3.1.2 Incertitudes :

Sources :

- f : $2 \times$ lecture à l'oscilloscope pour la fréquence donc (erreur estimée / n) où n est le nombre de périodes comptées pour le calcul
- L : lecture à la règle 1mm ou $1\text{mm}/\sqrt{12}$

Puis type A donnée

3.1.3 Capteur de position inductif :

MP_04_lame_induc.png

Expérience :

On attache à l'aide d'un serre-joint une barre de métal au bord de la table. On installe au dessous de la barre le capteur inductif à l'aide d'une potence assez proche du d'ancrage pour capter le maximum d'amplitude des vibrations.^a. Le capteur doit se trouver à moins de 2 mm de la barre. C'est pourquoi on choisit d'être près de l'encastrement, là où l'amplitude restera de l'ordre du millimètre.

A l'oscilloscope^b, on mesure la fréquence des oscillations du signal donné par le capteur inductif après avoir excité la poutre. On mesure la période T des oscillations pour différentes longueurs libres l de la poutre.

^aEn effet, le capteur détecte sur une plage de quelques millimètres)

^bPlus précis cette fois que le fréquence-mètre car ici, le signal qui nous intéresse (mode fondamental seul) n'arrive que tardivement. Il nous faut donc pouvoir voir l'allure du signal.

On a toujours :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E a^2}{12\mu} \frac{1.875^2}{L^2}} \quad (3)$$

où μ est la masse volumique de la barre, et a son épaisseur.

On trace alors $f(1/L^2)$ qui est une droite de pente β . Le module d'Young est donné par :

$$E = \left(\frac{2\pi\beta}{1.875^2} \right)^2 \frac{12\mu}{a^2} \quad (4)$$

μ est censé être écrit sur la barre. a est mesuré à l'aide d'un palmer. L à l'aide d'un mètre ruban.

Il faut prendre les mêmes valeurs de L pour lesquelles l'autre capteur n'était pas très discret.

(*) Commentaire

Ce capteur est peu linéaire. Il a une bonne sensibilité qui permet bien de conduire la mesure.

Il ne change pas la géométrie de ((il rajoute peut-être des frottements par courants de Foucault induits dans le capteur mais c'est tout) la géométrie de la poutre. Il a une meilleure **discrétion**.

Pour terminer, on propose de comparer la courbe obtenue avec celle pour le capteur inductif.

On peut ajouter également que le signal vu à l'oscilloscope est bien moins bruité avec le capteur inductif. Cependant, il ne permet pas de mesurer de grandes amplitudes.

3.1.4 Incertitudes :

Sources :

- f : $2 \times$ lecture à l'oscillo pour la fréquence donc erreur estimée / n où n est le nombre de périodes comptée pour le calcul
- L : lecture à la règle 1mm ou $1mm/\sqrt{12}$

Puis type A donnée

Conclusion

Durant ce montage, on a caractérisé deux capteurs mécaniques.

L'accéléromètre était un **capteur actif fonctionnant avec un corps de contrôle**. On a vu qu'il avait une grande sensibilité et était linéaire de 0 à g en contraintes. Pour ce qui est de la réponse fréquentielle on a constaté que c'était un filtre passe bas.

Le **capteur inductif de position** est un capteur passif mais il comporte déjà son conditionnement et on n'a pas eu à le faire. On a caractérisé sa réponse, **sensibilité** et **domaine de linéarité**.

Grâce à une application, on a pu comparer les **discrétions** de ces capteurs.

Une troisième méthode pour déterminer la fréquence de la poutre aurait pu être l'utilisation d'un laser envoyé sur une photodiode. En faisant vibrer la poutre et en plaçant son extrémité libre sur la course du laser, on récupérerait un signal périodique de période $2T$ où T est la période de vibration de la poutre.

4 Annexe

4.1 Rappel sur les capteurs

Tout ceci est tiré de *Capteur en instrumentation industrielle* Asch p1-6

4.1.1 Notions et concepts

- **mesurande** : grandeur physique qui est l'objet de la mesure.
- **mesurage** : ensemble des opérations expérimentales qui ont pour but de déterminer la valeur du mesurande.
- la **chaîne de mesure** est l'ensemble des dispositifs permettant de donner une valeur précise du mesurande.
- **Capteur** : dispositif qui, soumis à la valeur du mesurande non électrique (température, position, pression) , revoit une électrique s , fonction de m .
 - m : **excitation** ou **grandeur d'entrée**
 - s : **réponse du capteur** ou **grandeur de sortie**
- **Étalonnage** : ensemble des opérations expérimentales visant à trouver la fonction F :
 $s = F(m)$

La plupart du temps, on aime travailler avec des capteurs linéaires :

$$s = S \times m \quad (5)$$

S est appelé **sensibilité du capteur**. Elle dépend de :

- de la fréquence de m . (**bande passante**)
- du temps **vieillissement**
- L'impact d'autres grandeurs physiques ou **grandeurs d'influences** qui ne sont pas objet de la mesure et qui changent la réponse. (il y a une notion de signal et bruit derrière cette notion)

Exemple : Si on souhaite mesurer le champ magnétique généré par un aimant, selon l'orientation de la sonde, on mesurera en plus le champ magnétique terrestre

Comme on a dit que le capteur envoie un signal électrique, il y a deux possibilités : Soit c'est un générateur, soit c'est une impédance et il doit être intégré dans un circuit.

4.1.2 Capteurs actifs

Ceux là n'ont besoin de rien. ils se comportent comme des générateurs. On récupère directement la sortie électrique

On y trouve ceux qui fonctionnent suivant l'un des effet suivants (Asch p3) :

- effet thermoélectrique (Seebeck)
- effet pyroélectrique
- effet piézoélectrique
- effet inductifs
- effet photoélectrique
- effet photovoltaïque
- effet Hall ...

4.1.3 Capteurs passifs

Ceux là ont une impédance qui dépend de la valeur du mesurande. On doit les intégrer dans un circuit pour mesurer cette impédance. On appelle cette obligation le **conditionnement**. Il faut en particulier alimenter le capteur pour pouvoir mesurer cette impédance.

La variation d'impédance peut être due à des propriétés électriques (permittivité, nombre de porteurs de charges, résistivité ...) ou bien dépendre de la géométrie (*geo*).

On y trouve ceux qui fonctionnent suivant l'un des effet suivants (Asch p6) :

- métaux (résistivité dépend de la température)
- semi-conducteurs (résistivité dépend du flux optique qui ajoute des porteurs)
- jauges de contraintes (*geo*) (résistivité)

La plupart des dispositifs ne sont aptes qu'à traiter des signaux sous forme de tension électrique. Pour mesurer l'impédance d'un capteur passif et ses variations, on utilise un conditionneur afin de la convertir en une tension dont l'amplitude ou la fréquence sont déterminées par la sortie du capteur. Les types de conditionneur les plus fréquemment utilisés sont :

- le montage potentiométrique : le capteur est associé à une source et à une autre impédance (qui n'est pas forcément du même type) en série. La valeur de l'impédance du capteur s'obtient par un pont diviseur ;
- le pont d'impédance dont l'équilibre permet la détermination de l'impédance du capteur (ou dont le déséquilibre quantifie les variations de l'impédance de ce dernier) ;
- le circuit oscillant dont la fréquence est fixée par l'impédance du capteur.

4.1.4 Capteurs composites

Certains capteurs sont dits intégrés : le capteur proprement dit (actif ou passif) est intégré avec l'électronique associée sur un substrat de silicium. Ceci permet d'une part la miniaturisation et d'autre part la fabrication en grande série, avec une meilleure fiabilité, à coût réduit.

Parfois, le mesurage n'est pas direct et on doit passer par un **Corps d'épreuve**. Il a pour rôle de traduire la mesurande en un **mesurande secondaire** que le capteur peut traiter.

Exemple : Un micro est un **capteur actif composite**. Il est **actif** car il transforme le mesurande (surpression sur la membrane) en tension électrique.

Le **corps de contrôle** est la membrane qui transforme cette pression en déplacement, le **mesurande secondaire**; qu'un ensemble aimant permanent/bobine transforme en tension.

4.2 Caractéristique métrologiques des capteurs

Voir Asch p17-45

4.2.1 limite d'utilisation du capteur

Asch p26

- **Domaine nominatif d'emploi** : domaine normal d'utilisation du capteur, c'est l'intervalle de valeurs que peut prendre le mesurande(+grandeurs d'influences) en régime permanent sans affecter les propriétés intrinsèques du capteur.
- **Domaine de non détérioration** : en dehors du domaine normal d'utilisation du capteur, c'est l'intervalle de valeurs que peut prendre le mesurande(+grandeurs d'influences) en régime permanent qui change les propriétés intrinsèques du capteur. Mais, de façon réversible.
- **Domaine de non destruction** : domaine en dehors duquel le capteur ne voit modifié de manière permanente. Il lui faudra un nouvel étalonnage.

4.2.2 Sensibilité

Asch p26–29

C'est le rapport S entre la variation de la réponse du capteur et celle du mesurande :

$$S = \frac{\Delta s}{\Delta m} \quad (6)$$

On distingue la sensibilité en régime statique (où on le calcule pour des mesurandes constants. et celle en régime fréquentiel où le mesurande est sinusoïdal (c'est la fonction de transfert du capteur)

4.2.3 Rapidité - Temps de réponse

Asch p39

La rapidité apprécie comment la réponse du capteur suit dans le temps la valeur du mesurande. Elle est reliée au temps de réponse

Le temps de réponse est l'intervalle de temps qui s'écoule après une variation brusque du mesurande (échelon) pour que la réponse diffère de la valeur du mesurande de moins de ϵ .

Exemple : Pour un échelon de 0 à m , le temps de réponse à 95% est le temps à attendre pour avoir $s \in [0.99m; 1.01m]$.

Il faut toujours mentionner la valeur de l'intervalle ϵ quand on donne un temps de réponse.

4.2.4 Discrétion ou finesse

Asch p45

la finesse désigne l'impact qu'a de mettre le capteur sur la valeur du mesurande.

Exemple : pour un micro, La rigidité de sa membrane accroît la finesse car peu d'énergie est transférée à la membrane. Cependant, augmenter la discrétion va souvent diminuer la sensibilité.

4.3 Rappels métrologiques :

Quand on fait une mesure, on cherche à atteindre la valeur vraie. On obtient une valeur mesurée.

- La justesse J , Une mesure est d'autant plus juste que la moyenne (sur un grand nombre de mesures) des valeurs mesurées $\langle v \rangle$ est proche de la valeur vraie V :

$$J = \langle v \rangle - V \quad (7)$$

- La fidélité quantifie la dispersion des mesures autour de la valeur moyenne . Une mesure est fidèle lorsque la valeur mesurée est toujours la même.

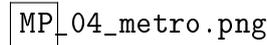


Figure 3: Par Original téléversé par Romary sur Wikipédia français.
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20708965>

Exemple : Si je fais un capteur qui donne toujours $1V$ en sortie, il est très fidèle mais peu juste.

Un capteur est **précis** si il est à la fois fidèle et juste.

4.4 Retour de 2018

Agrégation 2018 - Note : 15/20 - choix avec Milieux magnétiques. J'ai présenté le capteur de position angulaire, la jauge de contrainte et l'accéléromètre. En application, j'ai mesuré le module d'Young d'une réglette en fer grâce aux deux derniers capteurs et j'ai comparé les valeurs obtenues. J'ai beaucoup insisté à parler des caractéristiques types sur chaque capteur (temps de réponse, précision, fidélité, etc) ainsi que des exemples concrets d'utilisation et je crois que cela a été très apprécié. Ils m'ont posé beaucoup de questions sur le fonctionnement des capteurs et les raisons de leur saturation : tout est dans le Asch (exemple : le potentiomètre sature pour des raisons électroniques, non pas parce que le curseur arrive en bout de bobine). Je crois qu'ils ont également apprécié que je trace la fonction de transfert de l'accéléromètre en le plaçant sur un pot vibrant, ça permet de parler du fonctionnement dynamique des capteurs. Enfin, il faut vraiment que vous sachiez comment fonctionnent tous vos appareils : j'ai perdu des points parce que je n'avais pas eu le temps de regarder le fonctionnement du pont qui contient le boîtier de lecture de la jauge de contrainte. En bref je trouve que c'est un sujet "cadeau" parce que la physique est assez simple, il n'y a rien de fondamental, il est facile de faire des choses originales et de justifier proprement ses choix comme l'exigent si souvent les rapports de montage.

4.5 Modes propres de la poutre

Poutres encastrées p 1.

Dans le régime des petites déformations : section S

Equilibre d'une tranche dx :

\vec{F}
 $\vec{M}_{(G)}$
 (petits angles)

Au dessus de la ligne neutre étiré ; en dessous comprimée
 Déformation : $\epsilon_{yy} = \frac{y}{R}$ donc $\sigma = E \frac{y}{R}$
 donc $F = \int_S \sigma_{yy} ds = \frac{E}{R} \int_{-b/2}^{b/2} b y dy$
 donc $\vec{M}_{(G)} = \int_S \sigma_{yy} y ds = \frac{E}{R} \int y^2 b dy \vec{e}_z$
 donc $\vec{M}_{(G)} = \frac{E \cdot J}{R} \vec{e}_z$

Om a : $J = \frac{ba^3}{12}$
 et $\frac{1}{R} = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)^2}} \right) \approx \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$ (petites déformations)
 moment d'inertie en flexion.

Equilibre sur dx

$\vec{T}(x)$, $\vec{T}(x+dx)$, $\vec{M}(x)$, $\vec{M}(x+dx)$, G

PFD (sur y) : $\rho S dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = T(x+dx) - T(x)$
 $\frac{\partial T}{\partial x} dx$

TMC en G : $0 = T(x) dx + M_{(G)}(x+dx) - M_{(G)}(x)$
 on néglige l'énergie cinétique de rotation donc $T = -\frac{\partial M}{\partial x}$

donc $\frac{\partial^2}{\partial t^2} + \frac{EJ}{\rho S} \frac{\partial^4}{\partial x^4} y = 0$

Poutres encastées p 2.

→ Résolution: séparation: $y = f(x)g(t)$

$$f \frac{\partial^2 g}{\partial t^2} + g \frac{E J}{\rho S} \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} = 0 \Leftrightarrow \frac{\partial^2 g}{\partial t^2} = - \frac{E J}{\rho S} \frac{\partial^4 f}{\partial x^4}$$

donc pour la dépendance temporelle:

$$\frac{\partial^2 g}{\partial t^2} = \omega^2 \quad \text{donc } g = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t)$$

(constante)

(Pour f , il y a du sh et ch et sin et cos: $\frac{\partial^4 f}{\partial x^4} = \frac{\rho S}{E J} \omega^2 f$)

A et C I Le mode fondamental correspond à *

$\alpha_1 = 1,875$ (le second $\alpha_2 = 4,694$)

$$\text{où } \omega_k = \frac{\alpha_k^2}{L^2} \sqrt{\frac{E J}{\rho S}}$$

* (il faut écrire le CI et CL. On obtient un système. Il y a des solutions (non 0) pour $\det(\text{système}) = 0$

$\Leftrightarrow \cos(\alpha) \cdot \text{ch}(\alpha) - 1 = 0$
à résoudre numériquement!