

## Capteurs de vibrations piézoélectriques

### L'idée de base

Le piézoélectrique est basé sur le concept simpliste de l'éponge. Une éponge sèche ne présente aucune prédisposition particulière, dès lors que l'eau la touche, l'éponge tend à prendre du volume et lorsqu'elle est pressée elle restitue l'eau dont elle est gorgée. En réalité le mot piézoélectrique vient de cette capacité à transformer l'énergie, du grec : presser.

Les matériaux piézoélectriques sont de différentes natures, le quartz cristallin est le plus connu, une excitation mécanique va l'obliger à fournir une sortie en pico Coulombs, une excitation électrique va le forcer à se déformer. Une piézite de synthèse en titano-zirconate de plomb ( $\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ , abrégé en PZT) va offrir le même résultat, tout comme les plastiques piézoélectriques en  $\text{PVF}_2$  ou PVDF.

La suite est un peu plus complexe, le matériau doit-être muni d'électrodes pour restituer la mesure ou recevoir l'énergie électrique. Dans le cadre d'un plastique, le concept est simpliste, dans le cadre de quartz ou de matériau de synthèse c'est un peu plus complexe.

Dans tous les cas l'élément sensible permet une mesure de la force correspondant à l'équation  $F = M\gamma$  où M est la masse et  $\gamma$  l'accélération.

### Montage de l'élément sensible

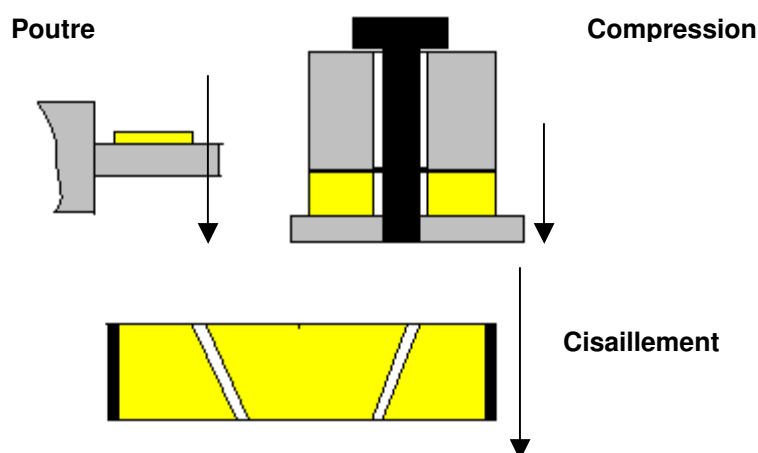
L'élément sensible doit être monté sous la forme corps d'épreuve équipé. Le montage le plus simple est dit sous forme de poutre.

La poutre maintenue à une extrémité va ployer sous l'effet de l'accélération. Le dispositif est sensible parce qu'élastique mais le manque de rigidité de la mécanique engendre différents problèmes dont des soucis de bande passante, de précision et de dérives thermiques.

Le dispositif en compression comprend une base, l'élément piézoélectrique, une masse sismique et une vis de précontrainte. L'assemblage est efficace puisque le mouvement de la masse sismique précontrainte sera transmis intégralement au quartz et que la bande passante sera importante.

Un autre dispositif consiste à utiliser un mode en cisaillement, le quartz ou le matériau de synthèse est taillé en cône 'male' pour une partie et en cône 'femelle' pour l'autre, la masse sismique est un anneau de précontrainte qui vient serrer les deux parties ensemble. La mesure résultera du frottement sur les parties en cisaillement. La bande passante est importante et la précision excellente, la sensibilité est moindre que dans les deux autres configurations mais la précision importante.

Enfin, les matériaux souples, comme les plastiques permettent des agencements plus fantaisistes.



En gris les éléments mécaniques hors ceux utiles à la pré-charge. Sur le modèle en compression, la masse sismique est au dessus du quartz en jaune. Une vis vient pré-charger le quartz en noir. En dessous, pour le modèle en cisaillement, un anneau, en noir, est utilisé pour la précontrainte du quartz en jaune. Le montage fait passer un axe centrale de montage.

Dans tous les cas, la valeur instantanée résultant de l'accélération sera lisible en charge ou en tension.

## **Pourquoi utiliser un accéléromètre sans électronique intégrée ?**

La réponse est assez simple : avec un plastique piézoélectrique la conversion et l'amplification ne sont pas indispensables. Pour les quartz et matériaux de synthèse, lorsque les températures excèdent 120°C la question ne se pose pas, eux seuls tiennent les environnements sévères. En environnement de laboratoire, les amplificateurs de charges permettent des réglages fins permettant des mises à l'échelle fines, des filtrages, des intégrations pour la vitesse et le déplacement de sorte à perdre un minimum via les calculs etc ...

Enfin lorsque l'on possède des amplificateurs de charge, remplacer les accéléromètres existants offre des perspectives de précisions et des possibilités de tenues thermiques sans équivalence avec les accéléromètres ' ICP '.

## **Deux concepts distincts**

Avec les accéléromètres sans électronique incorporée, deux idées s'opposent : celle conventionnelle de l'amplificateur de charge polyvalent mais coûteux et celle du convertisseur de charge entre accéléromètre et conditionneur classique.

Le classique est un instrument de laboratoire permettant des mesures fines et offrant de nombreux avantages puisque le signal source, connu, permet avec un réglage pointu de sensibilité d'adapter la chaîne de mesure aux besoins. Comme il n'existe pratiquement pas de déperdition entre le signal capteur et le signal tension exploitable, les filtres et les calculs sont plus faciles.

Le second concept est exploitable lorsque les températures au droit du capteur dépassent 120°C, un convertisseur de charge transforme, à courte distance, le signal charge en signal similaire à ceux des ICP. L'électronique est alors à température ambiante ( ceci à valeur pour les températures basses – cryogénie ou hautes – 260°C voire 400°C ).

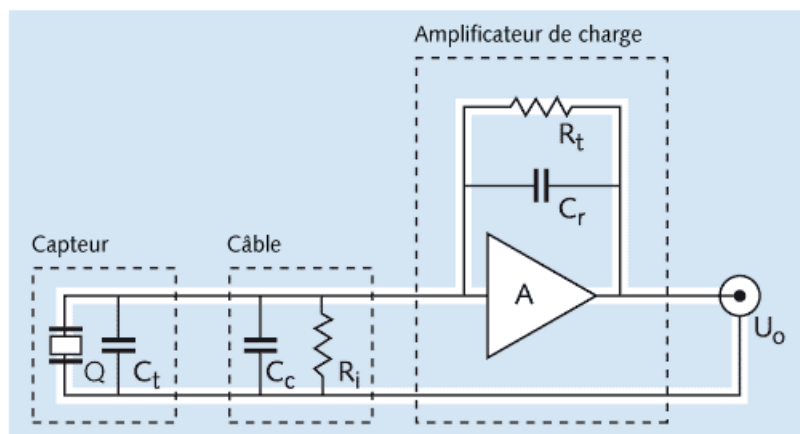
Ce concept est également utilisé pour des mesures imposant une économie énergétique, moyens de télémessure embarcables par exemple. Dans ce cas le capteur est autosuffisant et seule l'électronique est consommatrice d'énergie.

## **Amplificateur de charge**

Les amplificateurs de charge convertissent la charge délivrée par un capteur piézoélectrique en une tension proportionnelle, laquelle sert de grandeur d'entrée pour les processus de surveillance et de régulation. Un amplificateur de charge se compose essentiellement d'un amplificateur inverseur à fort gain et une contre-réaction capacitive. L'entrée est équipée d'un MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) ou d'un JFET (Junction Field Effect Transistor) pour assurer la haute résistance d'isolation nécessaire et garantir un courant de fuite aussi faible que possible. Lorsque l'amplification intérieure A atteint un niveau suffisant, le quotient  $1/AC_r$  tend vers zéro. La capacité du câble et du capteur perdent ainsi leur influence et la tension de sortie est alors uniquement fonction de la charge à l'entrée de l'amplificateur de charge et du condensateur de gamme:

$$U_0 = -Q/C_r$$

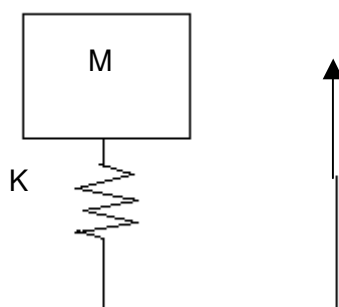
L'amplificateur joue le rôle d'intégrateur et compense en continu la charge électrique produite par le capteur par une charge équivalente mais opposée sur le condensateur de gamme. La tension produite via le condensateur de gamme est proportionnelle à la charge produite par le capteur et donc également proportionnelle à la grandeur physique mesurée. L'amplificateur de charge convertit donc une charge électrique Q en entrée en une tension proportionnelle  $U_0$  en sortie qui peut être facilement traitée. La plupart des amplificateurs de charge de Columbia permettent ainsi un réglage de la sensibilité et de la plage de mesure du capteur. Le rapport entre mesurande et signal de sortie est toujours une expression en nombre entier et l'affichage de la valeur de mesure s'effectue directement en unités mécaniques du mesurande.



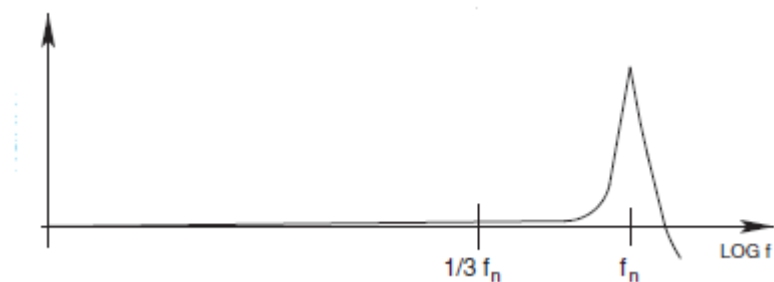
- $U_0$ : tension de sortie  
 A: facteur d'amplification  
 $C_t$ : capacité du capteur  
 $C_c$ : capacité du câble  
 $C_r$ : condensateur de plage ou de contre-réaction  
 $R_t$ : résistance de constante de temps  
 (ou résistance d'isolement du condensateur de plage)  
 $R_i$ : résistance d'isolement en entrée (câble et capteur)  
 Q: charge électrique générée par l'élément piézoélectrique

### Montage d'un accéléromètre

L'accéléromètre perçoit un déplacement de la surface sur laquelle il est fixé. Le signal analogique produit est alors proportionnel à ce mouvement. La capacité de coupler le mouvement à une information choc ou vibration dépend des capacités de l'accéléromètre à mesurer le phénomène mais aussi de la méthode de montage de l'instrument sur la surface à mesurer. Pour obtenir des résultats fiables et précis et assurer la fidélité des mesures, plus particulièrement en hautes fréquences, le montage est capital.



La masse M est représentée par la masse sismique qui va solliciter le cristal, le ressort, K est représenté par l'empilage masse cristal. De là les caractéristiques dynamiques ou réponse en fréquence découlent directement.



Le tracé de droite est obtenu en traçant la courbe de la sortie de l'accéléromètre en fonction de la fréquence pour des niveaux constant d'accélération à chaque fréquence. De tels systèmes possèdent une fréquence de résonance  $f_n$  ( fréquence naturelle ) caractérisé par une crête importante à la fréquence de résonance. Le système masse ressort du capteur est modifié par la liaison mécanique entre capteur et structure.

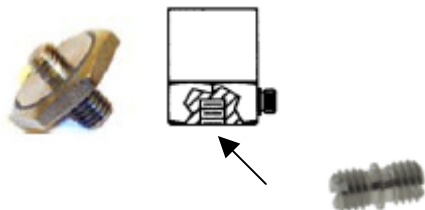
$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

- $f_n$  = fréquence naturelle en (Hz)  
 K = constante ressort ( $\text{Kg/cm}^2$ )  
 M = masse sismique

La courbe montre que la réponse est suffisamment plate jusqu'à  $1/3$  de la fréquence naturelle. Ceci n'est vrai que si aucun dispositif masse ressort 'secondaire' ne vient s'intercaler entre le capteur et la surface à mesurer. Si un dispositif masse ressort secondaire vient s'intercaler alors la fréquence naturelle est plus faible et d'évidence la bande passante exploitable différente.

### Montage par goujon

Le montage par goujon est d'évidence le plus fiable, les goujons sont calculés et réalisés pour assurer une liaison quasi parfaite lors du montage.



Pour améliorer le lien entre capteur et surface à mesurer, l'ajout d'une fine couche de graisse de silicone améliore la liaison en éliminant les imperfections de surface de montage.

Il existe plusieurs possibilités de montages par goujons, le plus populaire est celui avec un goujon démontable comme montré à droite ci-dessus. Les dégradations dues aux montages/démontages ou au vieillissement détériorent le goujon qui peut-être changé ou supprimé pour un collage du capteur. Le vieillissement de la surface de base du capteur causant des imperfections de contact peut-être réparée.

Du même type, l'embase intermédiaire, isolée ou non représentée ci-dessus à gauche, permet les mêmes montages / démontages et peut-être remplacée lors du vieillissement. La troisième possibilité réside dans le montage par goujon, il s'agit d'un montage avec goujon solidaire et non démontable. De loin la meilleure solution mais avec l'inconvénient de ne pas pouvoir remplacer le goujon et ou rectifier la base du capteur.

Les goujons sont, habituellement, réalisés en cuivre de béryllium traité thermiquement pour la capacité du matériau à supporter des contraintes importantes et pour son faible module d'élasticité.

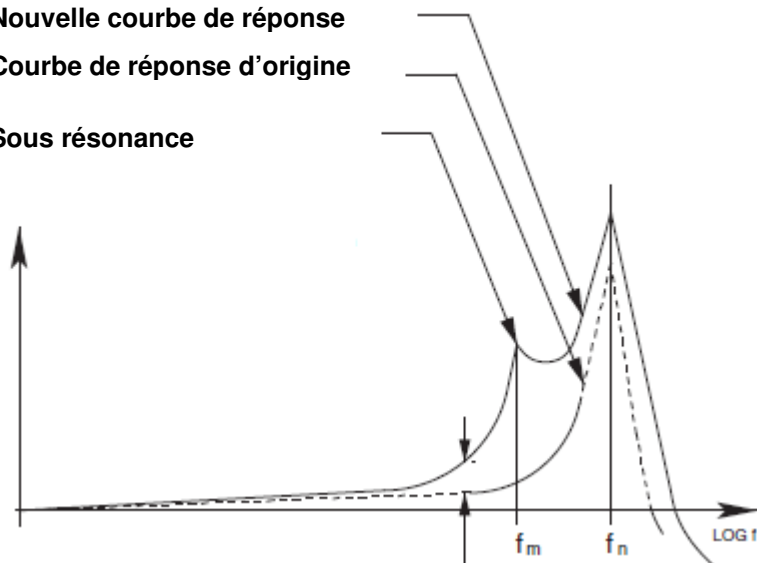
Lorsqu'un goujon amovible est utilisé, il est important de le visser d'abord dans le capteur pour qu'il pénètre totalement au fond de son logement avant de monter l'ensemble dans le trou taraudé.

Lorsque la surface de montage n'est pas plane, la réponse en fréquence est modifiée.

### Nouvelle courbe de réponse

#### Courbe de réponse d'origine

#### Sous résonance



### Erreur due à la surface

Une première résonance intervient avant la fréquence naturelle d'origine modifiant la bande passante du capteur.

### **Autres types de montages**

Il est facile de comprendre que le montage et la surface de montage revêtent une importance capitale. Les montages par collage sont plutôt efficaces même si la couche de colle peut créer un système masse ressort parasite. D'ordinaire, les couches de colles sont extrêmement fines et réduisent les problèmes.



Les autres type de montages via des structures intermédiaires sont réalisées, blocs pour réaliser des mesures trois axes, montages par aimants, dispositifs utilisant des serreflex etc ...

D'autres possibilités peuvent-être envisagées, par exemple avec de la cire ou du plâtre dentaire.

### **Raccordement électrique**

Vous aurez noté que les capteurs à électroniques intégrées ou ICP n'ont pas encore été abordés. La raison en est assez simple, l'ICP est un accéléromètre construit sur le même principe que les instruments produisant une charge électrique, la différence essentielle est l'ajout d'un convertisseur ou d'un amplificateur de charge dans le boîtier du capteur. Une autre différence, de taille, réside dans le fait que le transport d'une charge électrique en pico Coulomb est bien plus difficile à gérer que de véhiculer un courant ou une tension ( cas des ICP ).

Le raccordement électriques est donc un point important.

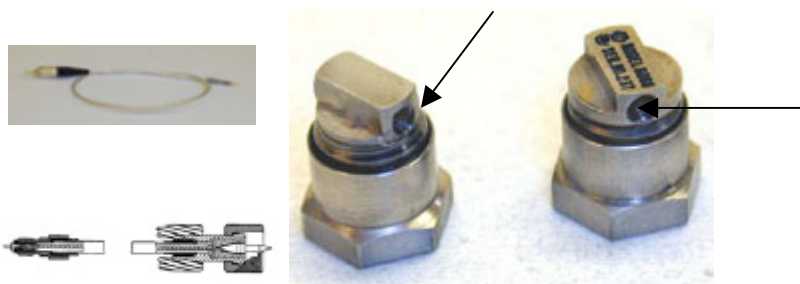


Les capteurs de vibration possèdent souvent une sortie via un connecteur coaxial ' microdot '. Usuellement le capteur possède une embase femelle sur laquelle vient se visser un connecteur mâle. Les capteurs en sortie pc/g fournissent un signal intéressant mais fragile, les câbles de liaison sont sujet aux effets triboélectriques ou, pour faire plus simple, au bruit induit par les mouvements de câbles. Le mouvement relatif du câble par rapport au capteur ou au connecteur peut générer des signaux de sortie importants aux fréquences où les mouvements du câble sont amplifiés par sa résonance. Naturellement, plus le câble est miniature plus l'effet est important. Pour résoudre ce problème, le montage du câble est très important. Il sera préféré une sortie de câble amenée directement au plus près du capteur sur la structure avec un collage ou un montage au plus près du capteur. Ceci évite les flexions de câbles induisant des soucis.

Dans le cas d'un accéléromètre possédant une sortie sur le dessus, le câble sera ramené en créant une boucle, proche de la base du capteur puis fixé. Pour les capteurs à sortie radiale, dès que possible, le câble sera solidariser à la structure au plus proche de la sortie capteur. Dans certains cas il sera possible lorsque la structure sujette aux vibrations est proche d'une structure affranchie des vibration, de solidariser le câble à la structure fixe.

Dans tous les cas, le lien entre capteur et câble est délicat. Un exemple flagrant, les capteurs micro miniatures possèdent souvent un câble intégré, la sollicitation mécanique se traduit par la rupture du câble au droit de son entrée dans le capteur. Il est évident que ce type de cassure prédispose les capteurs à la poubelle.

Mais il est possible d'éviter ceci. Certains capteurs possèdent un micro connecteur pour éviter les sorties intégrées.

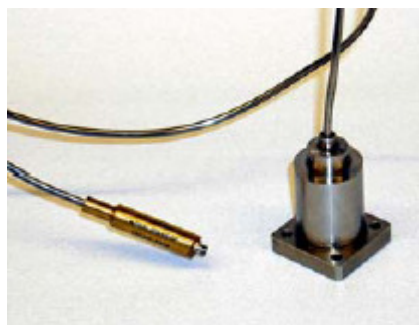


L'illustration ci-dessus montre, à gauche le câble # 2-56 / #10-32 et, en dessous son dessin en coupe. A droite on note les filetages prévus sur le capteur pour visser le connecteur #2-56. Le connecteur se visse sur un carré de quelques millimètres qui dépasse du logement connecteur. Mécaniquement la rupture peut se produire au sortir du carré, il suffit de dévisser le connecteur et de remplacer le petit câble sans besoin de mettre le capteur au rebut.

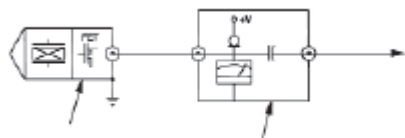
Les câbles coaxiaux existent en version basse température ( très souples ) et en version haute température wrappés. Les câbles hautes températures sont plus rigides et plus résistants, moins sujets aux mouvements. Les connecteur microdot sont très délicats à monter parce que petits et parce que muni d'une couche de graphite qu'il faut ôter avant l'assemblage par sertissage. Cela étant ces précautions ne justifient pas toujours les prix pratiqués par certains constructeurs.

Les capteurs ICP utilisent des câbles similaires souvent en version basse température. Les câbles véhiculent des tensions puisque les capteurs sont alimentés de 18 à 30 Volt avec de 2 à 20 mA et le signal de sortie est déjà en milliVolt par g donc moins sensible aux perturbations.

Pour des applications particulières : capteurs immergés, très haute température etc ... le câble de sortie intégrale est utilisé mais il s'agit d'un câble gainé de métal, soudé au droit de son entrée dans le capteur et permettant le départ du connecteur de plusieurs centimètres à plusieurs mètres.



### Capteur à électronique intégrée



### **Accéléromètre Electronique ICP**

Dans la mesure ou l'élément piézoélectrique répond à l'équation  $Q = CV$ ,  $V = Q/C$  ou  $V$  est la tension,  $Q$  la charge et  $C$  la Capacité du quartz. Le capteur est alors doté d'un transistor à effet de champ ou MOSFET pour convertir le signal tension haute impédance du quartz en une sortie tension basse impédance compatible avec la plupart des électroniques. Le signal le plus important est obtenu sans ajout de capacité aux bornes du quartz, pour ajuster la sortie il convient d'ajouter une capacité. Une

fois le réglage effectué, le capteur est intégré dans son boîtier et le gain fixé une fois pour toute. La sortie est proposée en mV/g.

L'électronique est alors une simple source de courant. Cette électronique utilise une alimentation en tension continue soit piles, batterie etc ...une diode à courant constant ou circuit à courant constant et un moyen de bloquer sinon éliminer la tension de biais continu existant sur la broche centrale du connecteur de sortie de sorte à ce que le signal puisse être simplement couplé à un instrument de lecture.

Le reste n'est qu'adaptation électronique pour réaliser des réglages, filtres et autres traitements.

L'avantage des capteurs à électronique incorporée est de permettre de s'affranchir des amplificateurs de charge et de pouvoir se connecter simplement sur des électroniques moins coûteuses. Autre avantage, les longueurs de câbles peuvent-être importantes et le soin apporté aux câbles est moins crucial que dans le cadre d'un capteur à sortie ' charge '.

Les capteurs à électroniques incorporées supportent des environnements industriels sévères comme les chocs et vibrations, l'humidité et des températures jusqu'à 120 °C.

En contre partie, pour obtenir de bons résultats il convient de polariser le capteur avec une valeur de courant maximum soit de l'ordre de 20 mA. La conséquence est une consommation électrique qui n'est pas forcément un atout lorsque l'on exploite des moyens fixes ou tournants alimentés par piles.

Cependant les capteurs à électroniques intégrées permettent de tricher sur les faibles bandes passantes et d'effectuer au moyen de l'électronique, une adaptation permettant de passer de très basses fréquences voire le ' presque continu '.



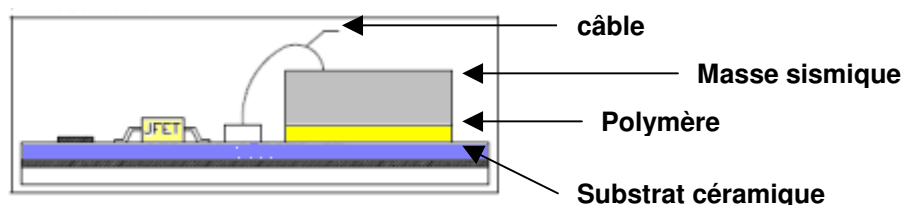
Le comportement quasi statique d'un capteur de vibration est lié à la constante du temps de décharge, il s'agit du temps nécessaire au capteur pour évacuer 63 % de la valeur prélevée initialement.

Cette constante de temps de décharge lié à la constante de temps de l'électronique permet de maintenir le dernier signal de sortie perçu alors qu'il n'existe plus de sollicitation mécanique.

### **Plastiques piézoélectriques**

Evoqués au début de cette discussion, les éléments sensibles piézoélectriques sont en marge des éléments sensibles classiques.

Le plastique est extrudé puis étiré et polarisé pendant cet étirement. Chaque face du plastique possède alors une polarité et ceci sur toute la longueur et la largeur du film extrudé. Comme tout élément piézoélectrique il convient, pour récupérer le signal, de disposer des électrodes. Toutes parties du plastique entre deux électrodes est ' capteur '.



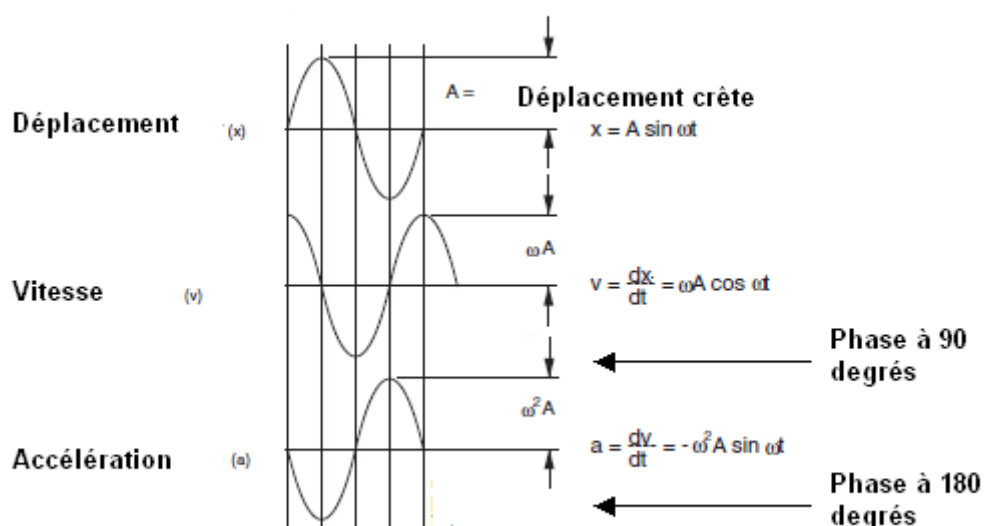
Le polymère pourrait être utilisé en l'état mais pour simplifier le conditionnement un JFET est encapsulé avec les autres composantes du capteur.

Il en résulte un petit capteur bon marché et facilement exploitable offrant une sortie 10 mV par g dans une plage de fréquence de 2 Hz à plus de 10 KHz.

### Les mesures

Les vibrations font partie intégrante de notre univers. Le moindre mouvement entraîne des vibrations d'amplitude et de durée variables, depuis l'oscillation lente d'un pont suspendu excité par le vent jusqu'au choc engendré à l'atterrissage par un avion, en passant par le bruit des moteurs de nos voitures. Cet environnement vibratoire est ressenti par l'ensemble des équipements que nous utilisons dans la vie courante et peut engendrer des dysfonctionnements allant jusqu'à la destruction du matériel en question.

Les mesures accélérométriques sont utilisées pour le lien qui uni la **Force** à la **Masse** puisque **F = My** de là, si l'accélération est une sinusoïde simple, il sera possible de déduire déplacement et vitesse comme noté ci-dessous :



L'amplitude et la fréquence des phénomènes vibratoires simples ou complexes permettent de suivre des phénomènes mécaniques particuliers.

Pour exemple, prenons la maintenance prédictive.

D'autres paramètres que les vibrations peuvent être pris en compte mais la mesure vibratoire est la plus utilisée. En effet la machine émet nombre de signaux mais les vibrations demeurent l'image ou la conséquence des phénomènes qui les provoquent.

En mesurant un niveau global il est impossible d'analyser un problème on utilise donc le signal complexe pour calculer un spectre en utilisant le procédé mathématique nommé transformée de Fourier ou FFT **F**ast **F**ourier **T**ransform.

L'analyse spectrale permet de décrypter les informations et d'identifier les causes responsables de vibrations.

Dans le spectre, le balourd, le défaut d'alignement, l'engrènement des réducteurs ou multiplicateurs, l'état des roulements, l'état des paliers lisses, les efforts subits pas ces paliers, les efforts électromagnétiques des moteurs électriques, le desserrage de pièces, le glissement de courroies etc ... seront identifiables séparément.



Il peut-être utile de créer une analyse des signatures vibratoires de la machine en parfait état avant de positionner des capteurs puis d'analyser régulièrement les événements pour pouvoir déterminer les mesures qui prédisent une détérioration du fonctionnement et le dysfonctionnement.

Pour faire plus simple, une vibration est un bruit mécanique caractérisé par une amplitude à une fréquence donnée : Les pas d'un animal, d'un enfant ou d'un homme n'ont pas les mêmes fréquences ni les mêmes amplitudes sur un sol connu. L'analyse permet donc de déterminer par écoute acoustique l'intrusion sur un site. Autre exemple, la fuite sur une conduite peut-être écoutée par mesure vibratoire sur la structure.

Analyse modale : Les méthodes d'analyse modale sont des méthodes d'investigation qui ont été mises en œuvre pour établir et ou améliorer la connaissance *du modèle dynamique des structures réelles*. En effet, les paramètres significatifs permettant de représenter le comportement dynamique d'une structure linéaire quelle que soit sa complexité sont « concentrés » dans un nombre de paramètres modaux réduits : fréquences propres, amortissements et formes propres associés. Le comportement dynamique de la structure sous des conditions d'excitation particulières en l'absence de toute modélisation ne requiert que la seule connaissance de ces paramètres. C'est la raison pour laquelle l'analyse modale expérimentale est devenue grâce aux progrès de l'informatique et de l'instrumentation, une méthode privilégiée d'investigation dans le domaine de la dynamique des structures.

### **Etalonnage**

L'étalonnage d'un accéléromètre consiste à déterminer avec précision sa sensibilité dans une plage de fréquence ciblée. La méthode comparative est, sans doute, la plus utilisée. La méthode dite ' back to back ' consiste à monter, de part et d'autre d'un coupleur, l'accéléromètre mesure et l'accéléromètre référence. En excitant le coupleur en amplitude et en fréquence, on admet que les deux capteurs verrons des signaux similaire. De ce fait, si la référence est fiable, le résultat permettra de déterminer les caractéristiques de l'instrument devant être étalonné.

Mais il existe d'autres possibilités avec les pots vibrants et des instruments étalons :



Le standard de calibration ci-dessus ( par exemple ) est un accéléromètre qui suivant le modèle propose 1,5 pc/g ou 7,0 pc/g +/- 1,5 pc/g.

La linéarité en amplitude est exprimée en trois temps :

+/- 0,5 % max. de 0,5 à 20 g

+/- 1,0 % max. de 20 à 100 g

+/- 1,5 % max. de 100 à 300 g

Comme la linéarité en fréquence :

+/- 0,5 % max. de 5 Hz à 1000 Hz

+/- 2 % max. de 1KHz à 3 KHz

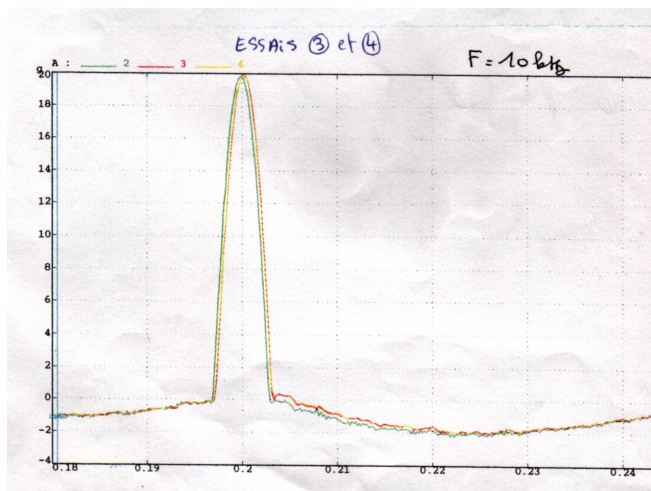
+/-5 % max. de 3 KHz à 10 KHz

Les fréquences de résonances doivent-être élevées, de l'ordre de 50 à 60 KHz suivant les capteurs de cette série.

Les données environnementales sont particulièrement serrées bien que les étalonnages soient le plus souvent réalisés à l'ambiante.

L'étalonnage peut-être réalisé autrement dans certains cas spécifiques. Lorsque les accéléromètres sont associés à des électroniques particulières et que le comportement d'ensemble peut différer du comportement individuel du capteur, il est possible d'embarquer sur un pot vibrant plus volumineux et

plus puissant, d'une part l'instrument réalisé avec le capteur devant-être étalonné et, d'autre part un accéléromètre de référence. Les balayages en fréquence et en amplitude permettront de faire une corrélation entre les profils de sortie du capteur en test et le profil de sortie du capteur référence.



Le résultat du test ci-dessus montre 3 courbes identiques ( vert, rouge, jaune ), l'une de ces courbes est générée par un accéléromètre de référence, les deux autres sont produites avec des accéléromètres conditionnés dont les signaux mesure sont transmis, sans fils avec un moyen de télémesure. Dans ce cas, accéléromètres et électronique de conditionnement et transmission sont intégrés à un boîtier qui a été fixé sur le pot vibrant alors que le capteur de référence prend la mesure directement sur le pot. On note les mêmes résultats lors de l'un des balayages.

## Conclusions

Il n'existe pas de bons ou de mauvais accéléromètres mais des instruments répondant à des applications.

Aujourd'hui, les accéléromètres piézoélectriques avec ou sans électroniques incorporées existent sous différentes formes et dotés de caractéristiques différentes pour des coûts ridicules jusqu'à des coûts d'instruments de mesure.

Les différences résident dans les technologies utilisées mais aussi dans le savoir faire des constructeurs. De l'approvisionnement au tri des composants jusqu'à l'étalonnage et au contrôle final un nombre d'opérations est indispensable pour un instrument de mesure et toutes les étapes doivent-être concentrées sur un seul site pour contrôler la qualité du produit. L'expérience et la qualité voire le talent des équipes de conception et réalisation ne peuvent-être remplacés par des procédures écrites, même suivies à la lettre, par des techniciens fussent-ils chevronnés.

L'instrumentation de qualité n'est pas une affaire de production de masse mais un travail d'orfèvre quasi artisanal qui est le seul à donner des résultats probants. Cela étant, les coûts de la qualité se retrouvent dans le prix des capteurs finis.

## Glossaire

**Alimentation en courant :** Une alimentation conçue pour les accéléromètres et intégrant une source d'alimentation et un élément fournissant un courant constant. Ces électroniques sont caractérisées par une sortie très stable à courant constant et une impédance dynamique élevée.

**Amplificateur de charge :** Une électronique possédant une entrée en Pc/g et transformant cette valeur, sans la dénaturer, en tension.

**Bande passante :** Les valeurs de fréquences les plus hautes et les plus basses pour et entre lesquelles la sensibilité demeure dans une plage d'erreur spécifiée. Ces valeurs de fréquences sont usuellement données à +/- 5 % mais peuvent-être énoncées à - 3 dB.

**Biais du capteur :** Pour un capteur ICP, un biais tension existe sur le conducteur central de sortie et la mesure se superpose à ce biais. L'alimentation extrait le signal de ce biais.

**Bruit triboélectrique :** Les charges générées par l'interaction des couches isolantes à l'intérieur des câbles lors de leurs flexions générées par les vibrations et les chocs.

**Constante de temps de décharge :** Le temps nécessaire pour le signal de sortie d'un capteur ou d'un système à se décharger de 37 % de sa valeur originale. Ce paramètre détermine la réponse basse fréquence.

**Dérive de la phase :** Différence d'angle de phase entre l'entrée mesurée et le sortie exploitable du signal en tension.

**Dérive du zéro :** Le changement du niveau de sortie tension d'un accéléromètre après un choc.

**Etendue de mesure :** L'étendue de mesure ou pleine échelle est la plage choisie et pour laquelle l'instrument a été étalonné.

**Fréquence de résonance :** nommée aussi fréquence naturelle. Les la plus basse fréquence de second ordre du système masse ressort qui correspond à l'équation  $f_n = 1/2\pi \sqrt{K/M}$ . A cette fréquence l'amplitude augmente considérablement.

**Linéarité :** L'écart de linéarité représente l'écart entre la meilleure ligne droite théorique et la moyenne des valeurs de sortie du capteur, elle s'exprime en pourcentage de la pleine échelle.

**Mode charge :** qualifie un accéléromètre n'utilisant pas d'électronique incorporée.

**PicoCoulomb :** Mesure de la charge électrostatique en sortie d'un accéléromètre piézoélectrique.

**Plage d'utilisation en température :** Les plages de températures sont fonction des capacités de l'assemblage de capter raisonnablement les phénomènes quelle que soient les températures environnantes. Un capteur ICP sera limité par l'électronique à 120°C, un capteur en mode charge peut, usuellement, monter jusqu'à 260°C et certains capteurs atteignent 400°C voire plus

**Poids :** Pour tous les capteurs le poids revêt une importance considérable. En effet l'équation  $F = My$  interdit sur des structures légères, l'usage d'ajout de masse. Cela étant la masse du cristal régit la masse globale du capteur et la masse du cristal est proportionnelle, dans le sens croissant à la sensibilité.

**Réponses aux transitoires thermiques :** C'est le temps nécessaire pour que la valeur de sortie d'un capteur soit perturbée par une variation soudaine de température.

**RMS :** ' Root Mean Square ' en théorie ceci correspond à 0,707 fois la valeur crête pour l'amplitude donc pour obtenir la valeur crête sur une électronique ne donnant que la valeur RMS, il convient de multiplier par 1,414.

**Sensibilité :** La sensibilité réside dans la possibilité du capteur à répondre aux sollicitations mécaniques. Cette sensibilité s'exprime, en mode charge en pc/g et en ICP mV/g.

**Sensibilité transverse :** La sensibilité transverse est la susceptibilité au mesurande dans la direction perpendiculaire à l'axe de mesure.

