

Les principes de fonctionnement des capteurs de lacet sur véhicules automobiles

Cette famille de capteur est apparue en 1995 avec les premiers systèmes de contrôle de stabilité de la trajectoire (ESP). Les principes physiques mis en jeu étant peu connus dans le milieu de l'automobile (ils appartiennent plutôt à la "culture" aéronautique) ils nous a paru utile de les expliquer brièvement. De plus nous éviterons les développements mécaniques théoriques, d'autres sites étant accessibles pour les spécialistes.

Principe général

Les contraintes de coûts interdisaient les centrales inertielles, utilisées en aéronautique, pour des applications automobiles ; c'est donc un autre principe que celui du gyroscope à rotor qui a été mis en œuvre.

Le phénomène utilisé est la propriété qu'a un système oscillant de maintenir sa direction de vibration fixe par rapport à un repère absolu (en l'absence d'efforts extérieurs appliqués à ce système).

C'est par l'application de ce principe que Léon **Foucault** détectait en 1851, avec son expérience du pendule, la rotation de la terre et démontrait alors l'inertialité du plan oscillant d'un résonateur. Les gyroscopes vibrants sont donc les descendants de cet illustre pendule.

Mise en œuvre

Première génération

La première génération de capteurs BOSCH utilisait comme système oscillant un cylindre mis en vibration sur sa fréquence propre et stabilisé sur celle-ci par des actionneurs piézo-électriques. Cette vibration installe 4 nœuds et 4 ventres de vibration à la surface du cylindre (cf figure 1). L'inertialité de ce mode de vibration fait que les nœuds ont tendance à rester fixes dans un repère absolu lorsqu'une rotation est appliquée au cylindre. 4 capteurs situés près des nœuds permettent alors de mesurer la valeur de la rotation par l'intensité et le déphasage des signaux reçus.

Dans l'application Bosch le cylindre creux est en acier et vibre à une fréquence d'environ 15 kHz le capteur complet dans son boîtier représente 120cm³ et 210g

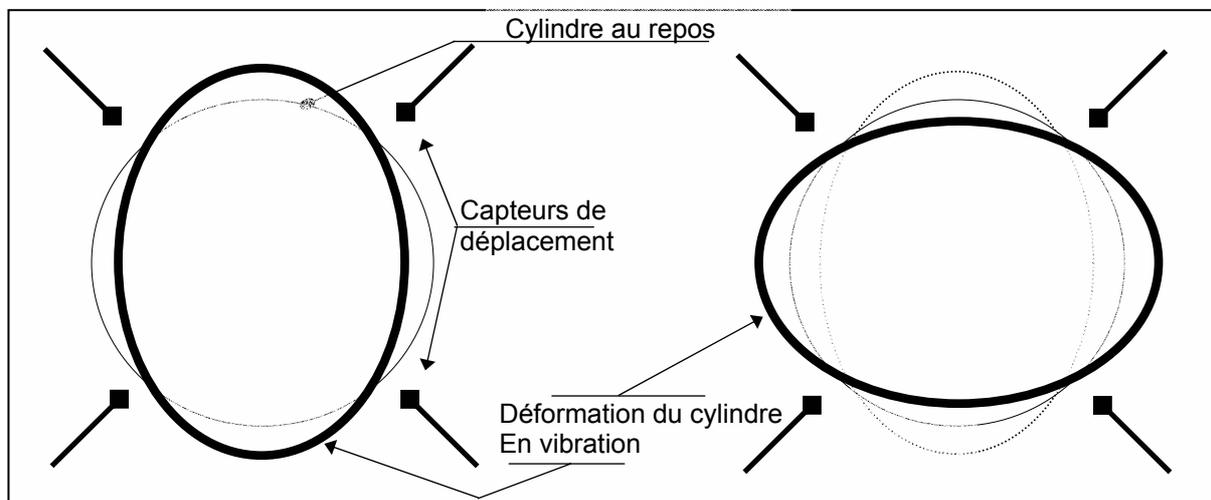
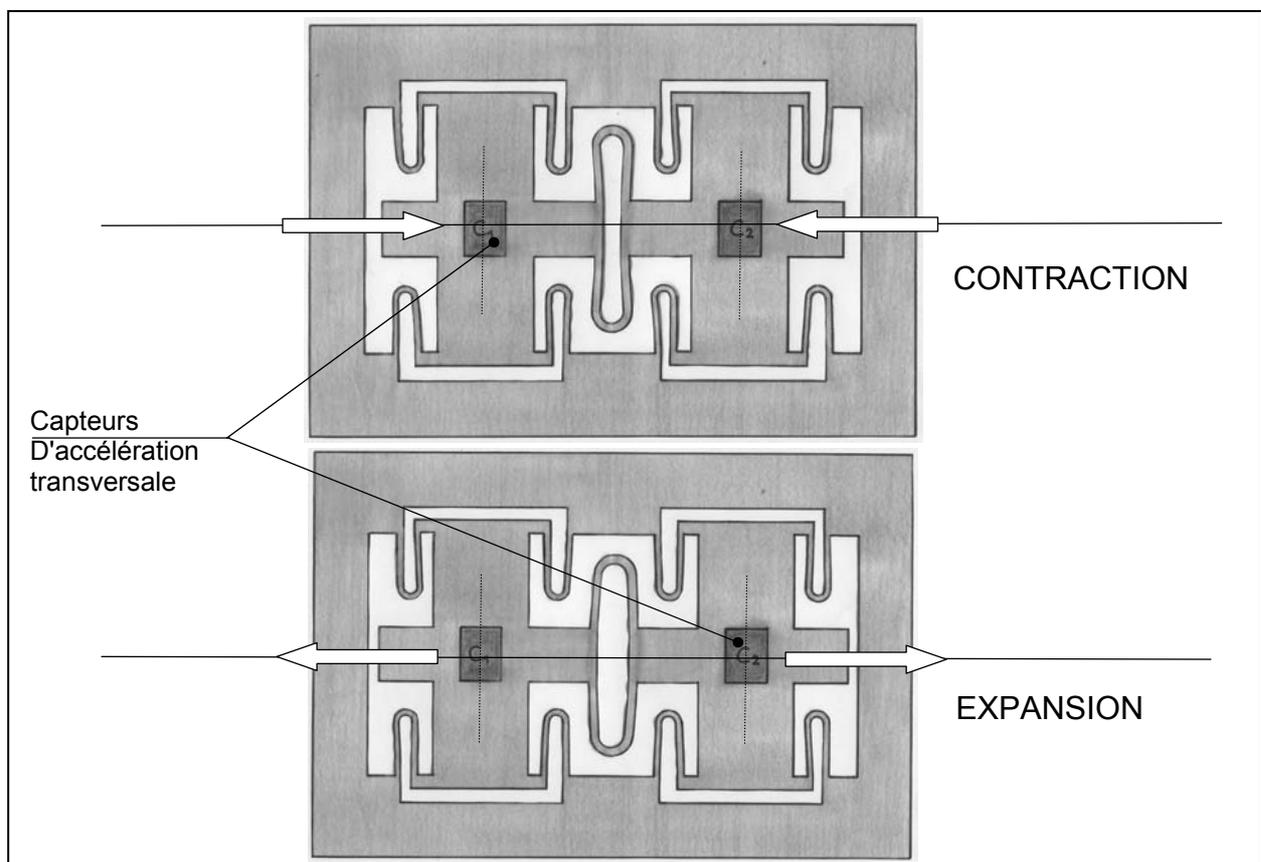


Figure 1 : positions extrêmes prises par le cylindre au cours de sa vibration

Trois années après la sortie des premiers systèmes ESP, les progrès de la micro-électronique permettaient une miniaturisation telle que les capteurs de lacet actuels représentent environ 45 cm^3 et 70 g. Leur principe est cependant légèrement différent bien qu'ils appartiennent toujours à la même famille.

Deuxième génération

Le système oscillant est composé de 2 masses sismiques gravées directement dans une plaquette de silicium (elles ont une épaisseur de $50 \mu\text{m}$!). Leur suspension élastique est elle même gravée dans la plaquette et sert de substrat pour les zones conductrices qui acheminent les informations et les alimentations sur la surface de la plaquette. Les deux masses vibratoires sont mises en oscillation en opposition de phase (cf figure 2) et entretenues dans ce régime par des éléments piézo-électriques (non représentés). Chacune des masses reçoit sur sa surface un capteur de mesure d'accélération qui réagit dans une direction perpendiculaire à l'axe vibratoire ; ces



deux capteurs sont également réalisés par découpe dans des plaquettes de silicium.
Figure 2

Examinons maintenant les effets d'une mise en rotation de cet ensemble vibrant et les informations que nous pouvons en recueillir. Il nous faut faire appel à quelques notions de mécanique pour montrer les effets de Coriolis dans le cas de ce système, ce qui suit illustrera le phénomène plutôt que de le démontrer pour rester accessible au plus grand nombre de lecteurs.

Rappel : notion d'accélération de Coriolis

Les équations de la mécanique permettent de montrer que, par exemple, un point matériel auquel on applique une rotation constante et une translation également à vitesse constante se voit tout de même soumis à une accélération dite "de Coriolis" due à la combinaison de ces deux mouvements (cf figure 3).

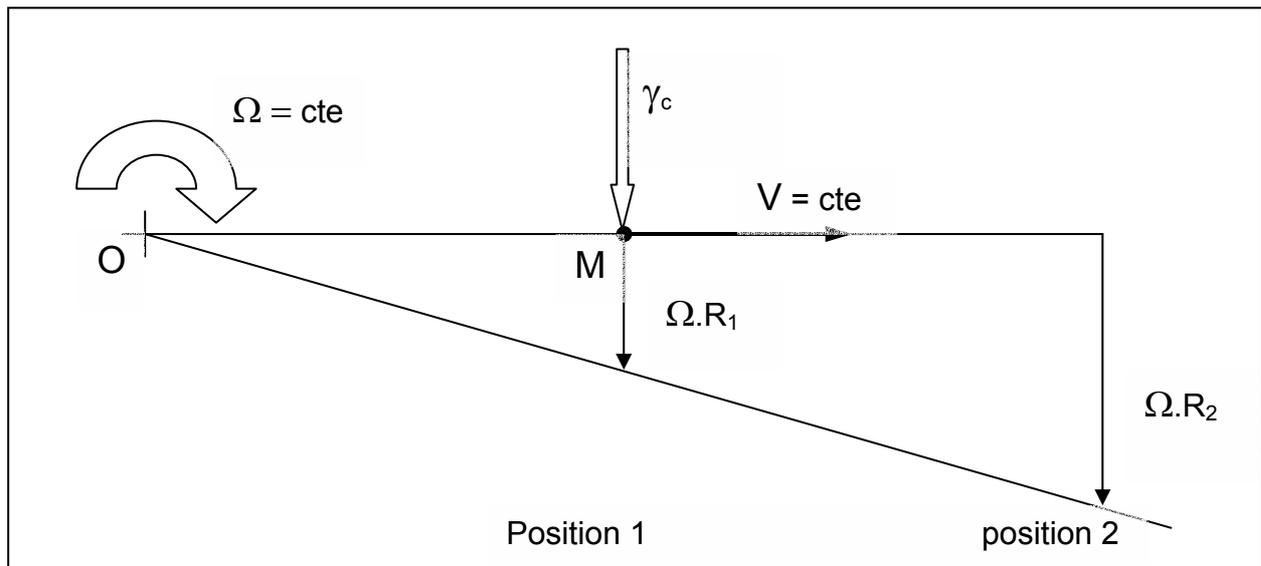


Figure 3

Considérons le point M soumis à un déplacement à vitesse constante le long de la droite OM et une rotation de cette droite centrée en O de vitesse constante Ω . Lorsque M passe de la position 1 à la position 2 la composante de vitesse normale à OM augmente : le point M est bien soumis à une accélération γ_c elle aussi normale à OM . Cette accélération, présente alors que les deux composants du mouvement sont uniformes, illustre l'effet Coriolis.

Appliquons maintenant ce raisonnement au système défini en figure 2. Nous le retrouvons maintenant soumis à une rotation de vitesse Ω .

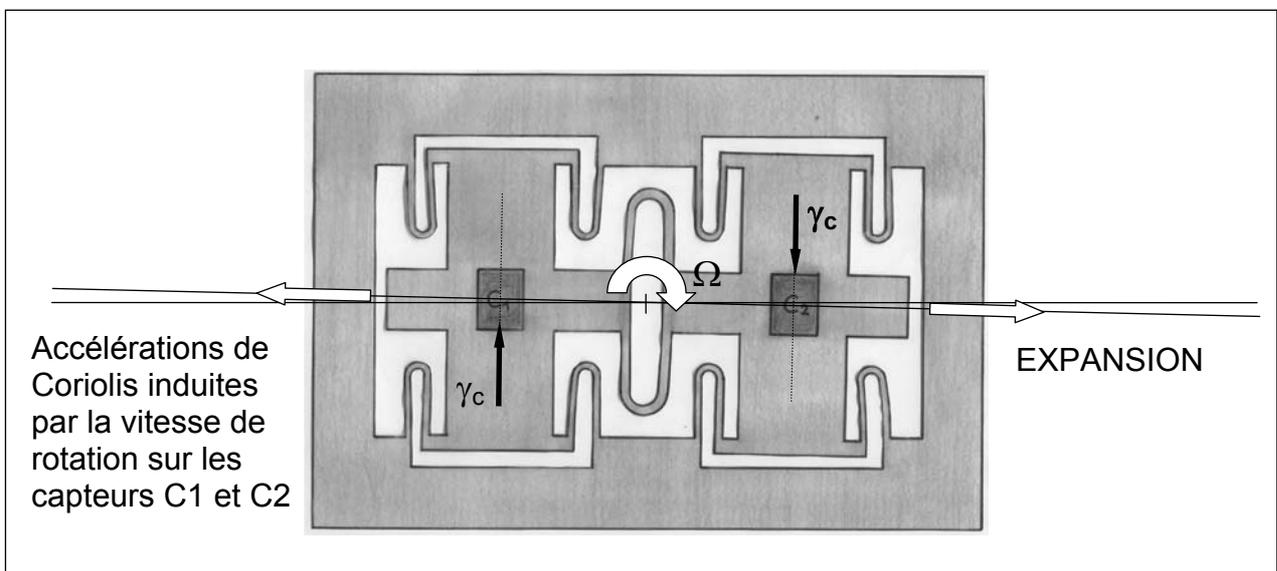


Figure 4

La figure 4 montre comment la rotation appliquée à l'ensemble vibrant génère des accélérations latérales γ_c sur les accéléromètres, ceci par application du même raisonnement qu'à la figure 3, les vitesses de déplacement étant dues ici à l'éloignement des 2 masses sismiques.

Ces accélérations vont s'inverser lors de la contraction de l'ensemble vibrant, ce que montre la figure 5

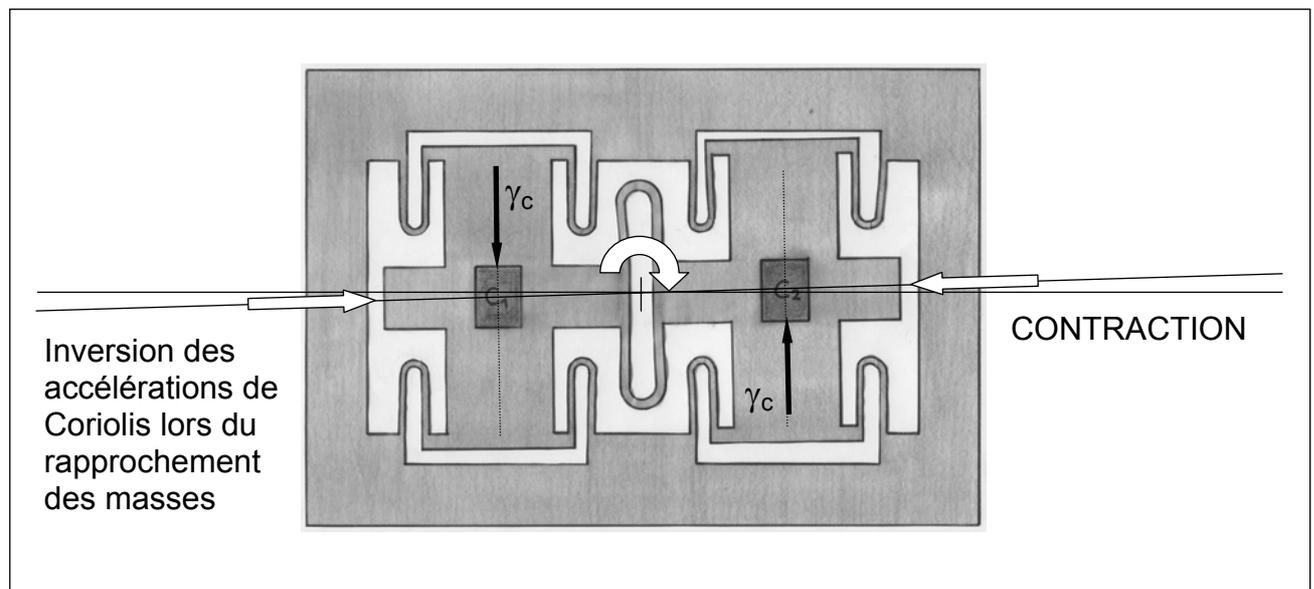


Figure 5

Les signaux reçus par les accéléromètres dépendent uniquement de la valeur de Ω et ceci sans que la confusion avec des accélérations communiquées au boîtier soit possible car seuls les effets de Coriolis créent cette opposition de phase entre les signaux des capteurs C1 et C2 (les valeurs $d\gamma/dt$ de la caisse sont elles-mêmes négligeables par rapport aux valeurs enregistrées sur C1 et C2).

Le mode d'utilisation de ce pendule crée donc un GYROMETRE car c'est la vitesse de rotation qui est enregistrée (le terme gyroscope est utilisé pour la mesure des angles de rotation).

Conclusion

Ce capteur, d'une grande sensibilité, va donc permettre au calculateur ESP de viser une consigne idéale de vitesse de lacet. Il agira sur le lacet du véhicule par les actionneurs de freins.

Une prochaine info technique vous montrera en quoi la vitesse de lacet est bien le meilleur paramètre de stabilité de la trajectoire et sur quelles bases est générée la vitesse de lacet "idéale" du calculateur.