

> gravés, dans du silicium massif, les éléments mécaniques, certains recouverts d'or pour conduire l'électricité. Ces éléments sont rattachés au support (et *in fine* à l'objet en mouvement) par de petites tiges faisant office de ressorts.

Chaque composant comporte une masse pilote et une masse d'épreuve (voir ci-contre). Le pilote, directement attaché au support, est conçu pour vibrer selon un seul axe, notons-le X. Cette vibration est excitée électriquement par des électrodes, et est très peu sensible au mouvement de l'objet. La masse d'épreuve, elle, est attachée (via des tiges-ressorts) au pilote de façon à pouvoir vibrer selon un axe perpendiculaire (qu'on notera Y) à celui des vibrations du pilote.

### FORCE DE CORIOLIS SUR UN MOUVEMENT VIBRATOIRE

En l'absence de rotation, le pilote entraîne la masse d'épreuve dans son mouvement d'oscillation selon X, sans autre effet supplémentaire. Mais si l'objet est en rotation autour de l'axe Z perpendiculaire aux deux premiers, le pilote comme la masse d'épreuve, tous les deux en mouvement à cause des vibrations imposées selon X, subissent une force de Coriolis selon Y.

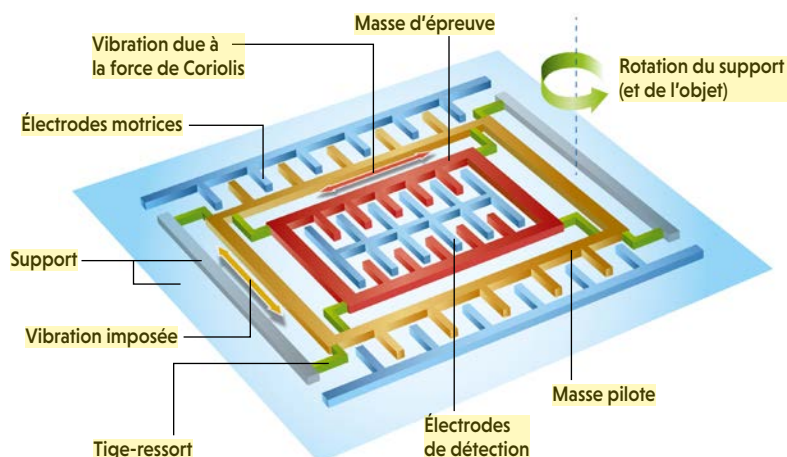
Cette force de Coriolis est sans effet sur le pilote, contraint à se mouvoir selon X. En revanche, la masse d'épreuve, libre de vibrer dans la direction Y, se met à osciller avec une amplitude proportionnelle à celle de la force (ici périodique) de Coriolis, elle-même proportionnelle à la vitesse angulaire de rotation. L'amplitude de l'oscillation de la masse d'épreuve est mesurée grâce aux propriétés électriques du condensateur formé par cette masse et des électrodes fixées au support. Et de cette amplitude, on déduit la vitesse angulaire de rotation.

Les fréquences de vibration utilisées sont d'habitude comprises entre 10 kilohertz et 1 mégahertz, avec une sensibilité qui atteint aujourd'hui 0,01 degré par seconde par racine de hertz (c'est-à-dire qu'en mesurant durant une seconde, on a une sensibilité de 0,01 degré par seconde sur la vitesse angulaire).

Et si la rotation s'effectue autour d'un autre axe que Z? Cette éventualité est évidemment à prendre en compte puisqu'on ignore *a priori* selon quel axe s'effectue la rotation; de plus, cet axe peut varier au cours du temps. C'est pourquoi un gyromètre complet est composé de plusieurs dispositifs, dont les pilotes ont des directions de vibration distinctes. En combinant

## MICROGYROMÈTRE ÉLECTROMÉCANIQUE

**L**e dispositif de base des microgyromètres est le plus souvent constitué d'une masse pilote qui effectue des vibrations imposées selon une direction et qui entraîne une masse d'épreuve ne pouvant se déplacer, par rapport au pilote, que dans une direction perpendiculaire. S'il y a rotation, la masse d'épreuve subit alors une force de Coriolis périodique qui la fait vibrer selon cette direction. L'excitation des vibrations pilotes et la détection des vibrations de la masse d'épreuve sont réalisées au moyen d'électrodes, le déplacement de la masse par rapport aux électrodes modifiant la capacité électrique du système masse-électrodes.



les signaux fournis par chacun des composants du gyromètre, on détermine alors la vitesse de rotation et son axe.

De plus, pour améliorer la sensibilité du système et éliminer l'effet des mouvements parasites, on peut associer deux composants dont les pilotes vibrent selon la même direction, mais en opposition de phase. Un mouvement de translation agira alors de la même façon sur les deux dispositifs, contrairement à un mouvement de rotation.

En pratique, il existe de nombreuses conceptions différentes de ces gyromètres miniatures, certaines permettant par exemple la mesure directe des variations d'angle, et non pas de la vitesse angulaire. Cette variété accroît encore la polyvalence de ces dispositifs.

En permettant de mesurer avec précision l'orientation de l'objet dans l'espace, les microgyromètres sont ainsi au cœur de tous les mécanismes de stabilisation et de contrôle actif, qu'il s'agisse des caméras, de l'assistance à la tenue de route pour les voitures, de l'équilibre des gyropodes ou de celui des drones multihélices. Par exemple, si les hélices d'un drone n'exercent pas exactement la même force verticale, l'appareil s'incline immédiatement et se précipite vers le sol. Une déstabilisation si rapide que, en l'absence d'asservissement, le pilote n'aurait pas le temps de réagir. ■

### BIBLIOGRAPHIE

V. M. N. Passaro et al.,  
**Gyroscope technology and applications : A review in the industrial perspective**, *Sensors*, vol. 17(10), article 2284, 2017.