



© Alain Harzog, en haut : Simon Henein

imbriqué dans un chariot secondaire, les deux soutenus par des systèmes de lames. Un déplacement Δx du chariot primaire dans la direction X se traduit par une force de rappel proportionnelle à Δx et entraîne aussi le chariot secondaire; de même, le déplacement Δy du chariot secondaire dans la direction Y perpendiculaire à X se traduit par une force de rappel proportionnelle à Δy (voir l'encadré page précédente). Ces lames sont dimensionnées de telle sorte que le chariot secondaire est rappelé avec la même force par unité de longueur (la même constante de ressort) dans la direction X et dans la direction Y , de sorte qu'il parcourt les ellipses attendues.

Le système ainsi construit est linéaire et isotrope : il respecte les conditions du cahier des charges et constitue une matérialisation du système solaire isochrone imaginé par Newton suffisamment fidèle pour constituer une base de temps horlogère. Le concept d'isotropie est à l'origine du nom *IsoSpring* que nous avons donné à cet oscillateur, par contraction des mots anglais *isotropic* (« isotrope ») et *spring* (« ressort »).

Le mouvement des chariots est une pure translation, donc ils ne changent pas d'orientation durant leur déplacement : le système se comporte comme si la « planète » (la masse mobile centrale, c'est-à-dire le chariot primaire) était une masse ponctuelle. Les lames sont en outre naturellement très rigides dans

LA BASE DE TEMPS *IsoSpring* a été mise à profit pour réaliser le prototype d'un mouvement d'horloge énergétiquement beaucoup plus efficace qu'un mouvement d'horloge à échappement. Il reste à le miniaturiser pour le faire entrer dans le boîtier d'une montre-bracelet.

BIBLIOGRAPHIE

L. Rubbert et al., *Isotropic springs based on parallel flexure stages*, *Precision Engineering*, vol. 43, pp. 132-145, 2016.

S. Henein et al., *IsoSpring : vers la montre sans échappement*, actes de la Journée d'étude de la SSC (Société suisse de chronométrie), pp. 49-58, 2014.

C.-P. Sesin, *Mesure du temps*, *Dossier Pour la Science* n° 37 [« La science au Moyen Âge »], pp. 114-115, octobre-janvier 2003.

L. Defossez, *Les savants du XVII^e siècle et la mesure du temps*, éditions du Journal Suisse d'Horlogerie et de Bijouterie, 1946.

la direction verticale, de sorte qu'elles contraignent le mouvement à rester dans le plan d'oscillation. Ainsi, lorsque le mécanisme est placé horizontalement, la gravité reste toujours perpendiculaire au mouvement et n'affecte donc pas la dynamique du système.

Par ailleurs, le mouvement de l'oscillateur est entretenu par une manivelle télescopique reliée au ressort de barillet, c'est-à-dire au ressort moteur du mécanisme d'horlogerie. Ce dispositif remplace l'échappement en restituant de manière continue à l'oscillateur l'énergie qu'il perd par frottement. La consommation énergétique du mouvement est considérablement réduite pour deux raisons. D'une part, l'utilisation de ressorts à lames, qui évite l'emploi d'axes susceptibles de frotter, augmente le facteur de qualité d'un ordre de grandeur (c'est-à-dire le multiplie par 10). D'autre part, le remplacement de l'échappement par une simple manivelle télescopique (voir l'encadré page précédente) se traduit par un rendement de cet étage de transmission de l'ordre de 80 % à 95 %, à comparer aux 35 % des échappements classiques...

Un mécanisme horloger continu et silencieux

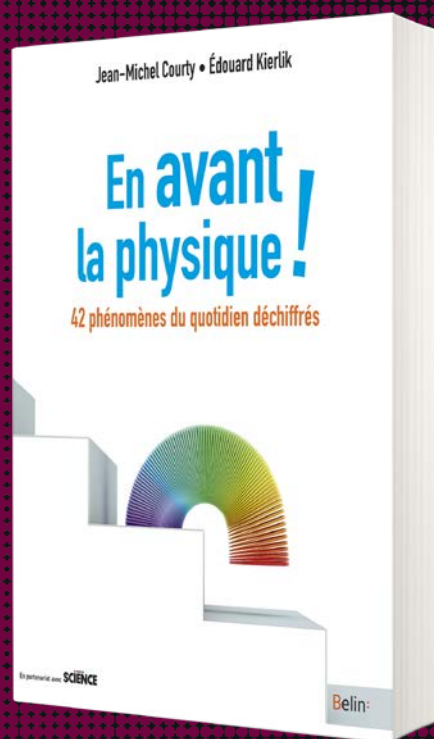
En 2015, notre équipe a construit un prototype d'horloge fonctionnelle dotée d'un oscillateur *IsoSpring* à deux chariots oscillants dont la performance chronométrique et le rendement sont prometteurs (voir la figure à gauche ci-dessus). Sur le plan conceptuel, le projet *IsoSpring* se résume à passer des oscillateurs horlogers classiques, tous à un degré de liberté (l'oscillation porte sur une seule variable angulaire), à des oscillateurs à deux degrés de liberté (l'oscillation porte sur deux variables indépendantes). Ceux-ci produisent des trajectoires cycliques, unidirectionnelles et continues, et rendent ainsi l'échappement caduc.

Nous poursuivons le projet en testant diverses architectures. Nous avons par exemple construit un prototype d'horloge dont l'oscillateur est une sphère, dont le mouvement promet d'être moins sensible à la gravité. Tout cela présage un saut quantitatif de la réserve de marche et de la précision chronométrique des horloges, grâce à l'univers isochrone de Newton qui nous a inspiré un microcosme horloger continu et silencieux. ■

Le nouvel opus de deux vulgarisateurs hors pair !

Une bouteille qui chante. Un verre de chocolat soluble qui tinte. Un carillon dont les cloches homothétiques couvrent toute la gamme. Un escalier qui joue du clairon. Une sculpture qui filtre certains sons... Et en avant la physique !

18,5 x 24,5 cm - 192 pages - 24 euros



Séismes et tsunamis, comment les expliquer ? Et pourra-t-on un jour les prédire ?

Une découverte passionnante de la lente évolution de nos connaissances sur les séismes, qui se lit comme un roman !

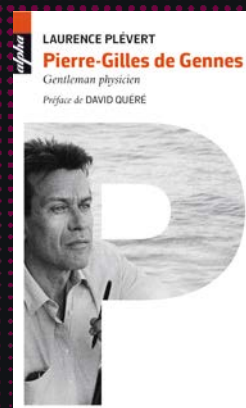
15 x 22 cm - 288 pages - 19,50 €

Et aussi...

Dans notre collection de livres de poche



10 x 17 cm - 304 pages - 9,90 €



10 x 17cm - 392 pages - 9,90 €