

■ LES AUTEURS



Simon HENEIN et Ilan VARDI sont respectivement professeur de microtechnique et mathématicien au sein du laboratoire Instant-Lab de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, en Suisse.

nouvelle base de temps qui élimine le dispositif à l'origine du fameux tic-tac des montres mécaniques actuelles : l'échappement. Cet organe a pourtant été la grande avancée qui a permis le développement de l'horlogerie mécanique au Moyen Âge. L'objectif d'*IsoSpring* est d'aboutir à une montre mécanique au mouvement intrinsèquement continu, plus précis, plus autonome et d'une réalisation plus simple.

La mesure du temps a son origine dans les cycles naturels : les 24 heures d'une journée correspondent au mouvement apparent du Soleil autour de la Terre ; les quelque 30 jours du mois au cycle lunaire ; les 365 jours de l'année au cycle des saisons. Dès l'Antiquité, on a cherché à s'affranchir de ces phénomènes. Plusieurs principes de garde-temps ont été inventés, tels le sablier ou encore l'horloge à eau. Celle que construisit le savant chinois Su Song au XI^e siècle avait des performances chronométriques impressionnantes et comportait d'ailleurs déjà une forme d'échappement.

En Europe, c'est au Moyen Âge qu'a été inventé l'échappement, un mécanisme qui discrétise le temps, en d'autres termes qui le hache. Dans les montres-bracelets, sa forme commune d'aujourd'hui est l'échappement à ancre, du nom d'une pièce à deux bras terminés par des doigts – nommés palettes. Du fait du mouvement de va-et-vient du balancier-spiral – l'oscillateur qui donne la base de temps à la montre – les palettes libèrent puis arrêtent régulièrement une roue dentée, la roue d'échappement (voir l'encadré page 52).

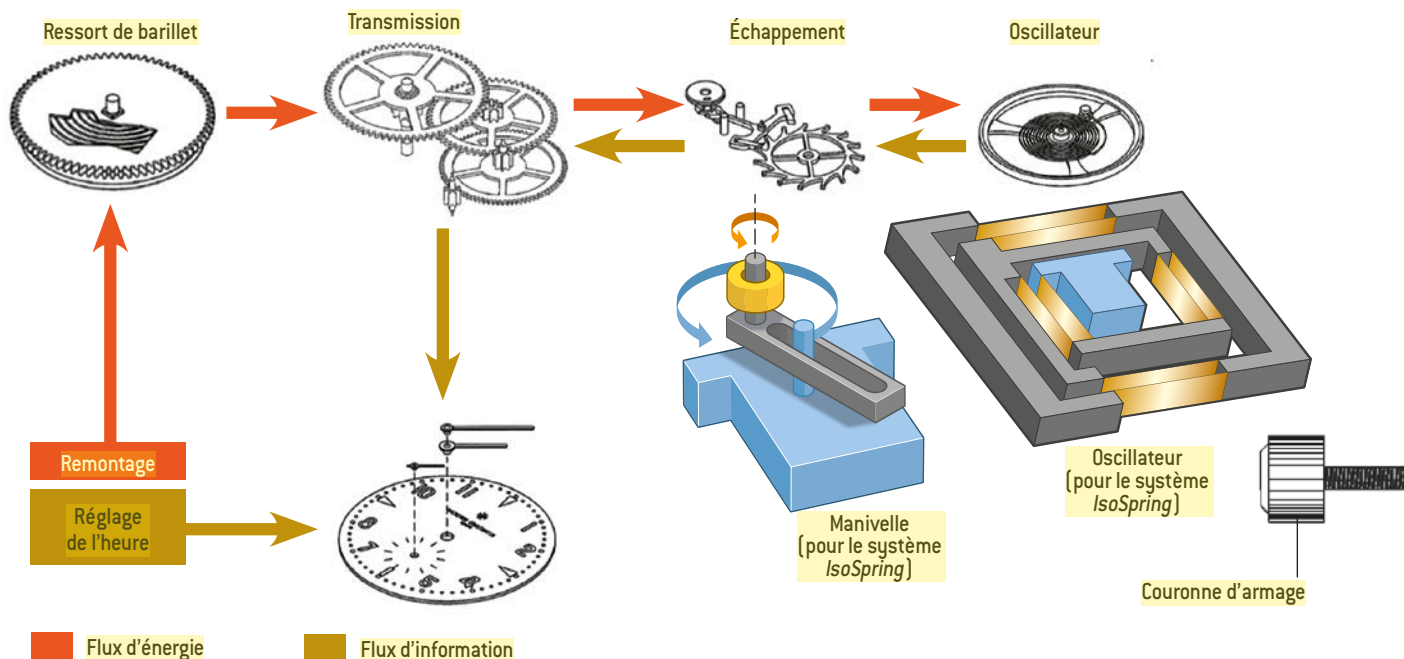
L'échappement, cause du tic-tac

Ainsi, l'échappement arrête le mouvement puis le relâche par à-coups. Les artisans ont affiné son fonctionnement au fil des siècles jusqu'à parvenir à des mouvements dotés d'une précision chronométrique de quelques minutes par jour. Pour autant, l'efficacité de l'échappement est limitée

LE FONCTIONNEMENT DE LA MONTRE MÉCANIQUE

Dans les horloges et montres mécaniques, l'énergie, fournie par un ressort armé ou une masse suspendue, est transmise à un échappement dont la cadence est contrôlée par un régulateur. Jusqu'au XVII^e siècle, le régulateur était un foliot, un balancier qui, par le biais du train d'engrenage, est accéléré de manière alternée par la force du ressort ou du poids. L'inconvénient de ces horloges anciennes était que leur précision dépendait directement de l'intensité de la force motrice. Huygens

a remplacé le foliot par un oscillateur beaucoup plus précis : le pendule. Dans une montre mécanique, l'oscillateur est un balancier-spiral. Toutes les horloges et montres mécaniques dépendent de l'échappement qui entretient les oscillations du régulateur et permet de les compter pour afficher l'heure. Dans le nouveau mécanisme développé par l'équipe des auteurs, l'échappement et le balancier-spiral sont remplacés par une manivelle et un oscillateur à deux chariots (*en couleur*).



par les frottements des palettes et par son fonctionnement intermittent.

Une grandeur nommée facteur de qualité permet d'apprécier à quel point le frottement limite le mouvement d'un oscillateur horloger. Ce facteur est défini comme le nombre d'oscillations qu'effectue un oscillateur libre (découplé du ressort qui le meut normalement) avant que son amplitude angulaire ne représente plus que 4,3% de l'amplitude d'origine. L'oscillateur horloger d'une montre-bracelet est son balancier-spiral, dont le facteur de qualité est de seulement 200. À titre de comparaison, le facteur de qualité d'une banale montre à quartz valant moins de 10 euros dépasse les 100 000 et celui de l'horloge de clocher la plus précise du monde, le Big Ben de Londres, est de 9 300...

En outre, après la création de premières montres mécaniques à la Renaissance, une très longue évolution a été nécessaire avant d'atteindre le niveau de performance des montres-bracelets actuelles. Retraçons-la

brèvement, afin de bien saisir le principe à l'origine d'*IsoSpring*. La plus grande révolution horlogère est l'introduction par le physicien néerlandais Christiaan Huygens, en 1656, de l'oscillateur comme base de temps. Huygens a mis en application le concept d'isochronisme découvert par Galilée en 1609, à savoir que la période d'un pendule dépend très peu de l'amplitude de ses oscillations quand celles-ci sont petites.

Huygens avait aussi découvert le principe de l'oscillateur harmonique, un cas d'oscillateur idéal pour lequel la force de rappel est proportionnelle au déplacement, ce qui, dans le cas du pendule gravitaire, n'est approximativement vrai que pour les petites oscillations. Or l'Anglais Robert Hooke a montré, de son côté, que des forces de rappel proportionnelles au déplacement apparaissent lors des déformations élastiques de la matière. Cette observation s'applique en particulier aux lames élastiques, ce qui a conduit au ressort spiral d'horlogerie (inventé par Huygens et par Hooke), qui ramène le balancier vers sa position d'équilibre à la fin de chaque période.

Du temps solaire au temps mécanique

La mise à profit des oscillateurs en horlogerie a fait passer la précision chronométrique de 15 minutes par jour (soit une précision d'environ 1%) pour le mouvement sans ressort régulateur employé auparavant, à 10 secondes par jour (précision d'environ 0,01%) pour les oscillateurs. En d'autres termes, on a amélioré la précision d'un facteur 100. Les horloges sont ainsi devenues plus précises que le suivi du Soleil, qui produit des jours dont la durée varie de plus ou moins 30 secondes selon les périodes de l'année.

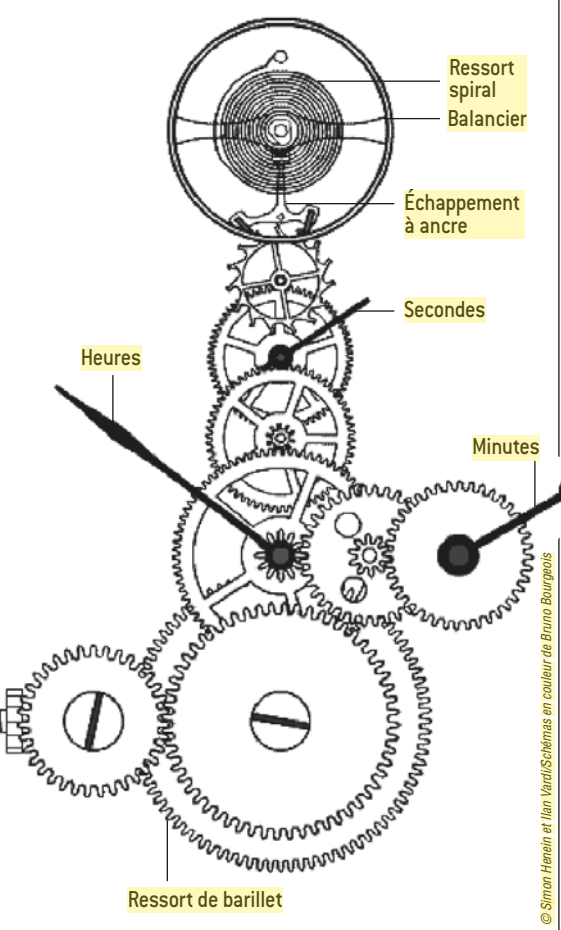
Sans une théorie scientifique du temps – à savoir l'équation de l'oscillateur et sa solution mathématique –, il est clair que cette avancée majeure de l'horlogerie n'aurait pas été possible. Et en introduisant un temps civil, désormais découplé des cycles naturels, l'horlogerie a acquis un rôle capital dans la société.

Le va-et-vient des oscillateurs du XVII^e siècle nécessitait des échappements performants et fiables. Les échappements à détente et à ancre ont été inventés et perfectionnés au XVIII^e siècle par les horlogers

Le commerce des montres

La montre mécanique, considérée par beaucoup comme désuète depuis l'avènement des montres électroniques, se porte pourtant bien sur le plan commercial. Si la Suisse ne produit qu'environ 2 % des montres en nombre de pièces, elle encaisse plus de la moitié des revenus mondiaux grâce aux montres mécaniques haut de gamme, dont le prix est des milliers de fois supérieur à celui d'une montre à quartz.

Cette dernière, inventée à Neuchâtel en 1967, est plus précise que la montre mécanique, mais elle ne séduit pas les amateurs de produits de luxe. Ceux-ci cherchent un objet plus artisanal, avec lequel ils pourront créer un lien émotionnel.



© Simon Henin et Jean Verdi / Schémas en couleur de Bruno Bourgeois