

> à profit les variations de température de l'air ambiant. Mais s'il paraissait pertinent d'exploiter un effet de dilatation thermique (qu'ils combattaient par ailleurs pour garantir la précision de l'horloge), encore fallait-il déterminer le matériau à utiliser.

On a envisagé et testé de nombreuses possibilités: déformation d'un bilame formé de deux solides se dilatant différemment, dilatation d'un gaz, d'un liquide... C'est finalement l'évaporation/condensation d'un liquide, le chlorure d'éthyle (C_2H_5Cl), qui a été retenue pour l'Atmos 2.

Cette horloge comporte un soufflet de 10 centimètres de diamètre contenant du chlorure d'éthyle en équilibre permanent avec sa vapeur. Le maintien de cet équilibre liquide-vapeur autorise des variations de pression bien plus importantes que pour un gaz à pression et température ambiantes: alors que, dans ce dernier cas, l'augmentation de pression sous l'effet de l'élévation de température est d'environ $1/300^\circ$ d'atmosphère par degré Celsius, soit 3,4 hectopascals par degré, elle est de l'ordre de 46 hectopascals par degré (soit 13 fois plus) au voisinage de $20^\circ C$ pour le chlorure d'éthyle.

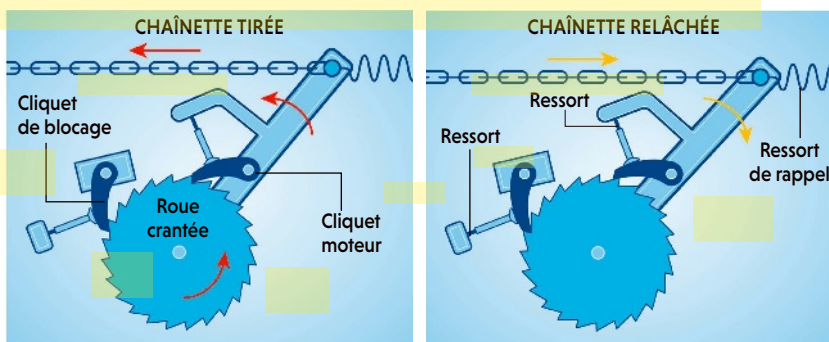
Ainsi, la force exercée par la vapeur sur les couvercles de ce soufflet (produit de la pression par la superficie) varie de 36 newtons par degré. En pratique, l'un de ces couvercles est mobile: le soufflet se dilate lorsque la température augmente, et se contracte quand celle-ci diminue. Un ressort modérateur limite les déplacements du couvercle à environ 1,63 millimètre par degré.

Reste à relier mécaniquement ce couvercle mobile au ressort moteur de l'horloge, ce qui est plus facile à dire qu'à faire (voir l'encadré page 89). Il appuie sur un disque métallique repoussé par des ressorts et au centre duquel est fixée une chaînette. Celle-ci, après être passée par une poulie, vient s'enrouler sur un tambour qui remonte le ressort moteur spiral par l'intermédiaire d'un mécanisme à cliquets (voir l'encadré ci-dessus).

Quand le soufflet se contracte, le disque suit le couvercle mobile du soufflet, tire la chaînette du tambour enrouleur et remonte l'horloge par l'intermédiaire du cliquet engagé sur une dent de la roue entraînant le tambour, auquel est fixée la partie extérieure du ressort spiral. Quand le soufflet se dilate, le disque métallique donne du mou à la chaînette; un petit ressort de rappel ramène le tambour pour maintenir la tension de la chaîne, tandis

LE MÉCANISME À CLIQUETS

Dans les horloges Atmos, la chaînette tirée ou relâchée par le soufflet est reliée à un mécanisme à cliquets. Lorsque la chaînette est tirée (flèche rouge), le cliquet moteur pousse la roue crantée et la fait tourner (ce qui permet de tendre le ressort spiral de l'horloge); dans cette situation, le cliquet de blocage n'intervient pas. Lorsque la chaînette est relâchée et se déplace donc dans l'autre sens (flèche orange), la roue crantée reste immobile grâce à l'action du cliquet de blocage (et maintient ainsi la tension du ressort spiral).



qu'un autre cliquet maintient le ressort spiral tendu.

Comme le diamètre du cylindre sur lequel s'enroule la chaînette est de 1,4 centimètre et que le couple nécessaire pour tendre le ressort spiral est, comme mentionné plus haut, de 1,33 newton centimètre, la force nécessaire pour remonter le ressort moteur est d'environ 2 newtons. Une variation de température de $0,05^\circ C$ suffit donc pour l'engendrer!

DEUX CLICS PAR JOUR SUFFISENT

Reste à déterminer quelles variations de température (amplitude et rythme) suffisent à assurer le bon fonctionnement de l'horloge. Pour que l'action de rechargement en énergie soit efficace, il faut que le mouvement du soufflet permette d'actionner au moins un cran du cliquet fixé sur le tambour de la chaîne, c'est-à-dire d'engager une dent sur le cliquet qui recharge le ressort moteur.

Étant donné le nombre de dents par tour (180) et l'amplitude du mouvement du couvercle du soufflet, on calcule qu'il suffit d'une variation de température de $0,12^\circ C$ pour provoquer ce clic. Et comme la dissipation énergétique de l'horloge nécessite un rechargement de 2 clics par jour, on voit qu'une variation de $1^\circ C$ permet de faire fonctionner l'horloge pendant 4 jours! Les variations journalières de température sont donc plus que largement suffisantes, y compris dans une pièce climatisée... sauf à avoir une régulation de température digne d'un laboratoire de recherche! ■

BIBLIOGRAPHIE

D. Moline et J. Wagner, **Operating principles, common questions, and performance data for an atmospheric driven Atmos clock**, *Watch & Clock Bulletin*, vol. 57(1), n° 413, janvier-février 2015 (téléchargeable sur <https://bit.ly/2EzvSti>).

J. Lebet, **Living on Air: History of the Atmos Clock**, Jaeger-LeCoultre, 1997.