

> 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.

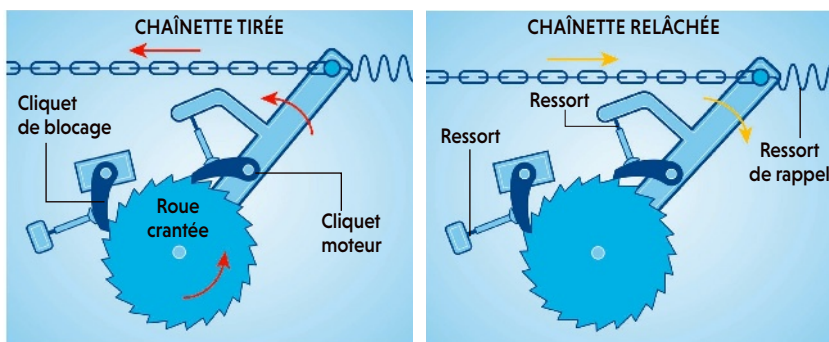
Ainsi, la force exercée par la vapeur sur les couvercles de ce soufflet (produit de la pression par la superficie) varie de 36 newtons par degré. En pratique, l'un de ces couvercles est mobile: le soufflet se dilate lorsque la température augmente, et se contracte quand celle-ci diminue. Un ressort modérateur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

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

**COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION
DÈS MAINTENANT !**



N° 515 (sept. 20)
réf. PL515



N° 514 (août 20)
réf. PL514



N° 513 (juill. 20)
réf. PL513



N° 512 (juin 20)
réf. PL512



N° 511 (mai 20)
réf. PL511



N° 510 (avril 20)
réf. PL510



N° 509 (mars 20)
réf. PL509



N° 508 (fév. 20)
réf. PL508



N° 507 (jan 20)
réf. PL507



N° 506 (déc. 19)
réf. PL506



N° 505 (nov. 19)
réf. PL505



N° 504 (oct. 19)
réf. PL504

À retourner accompagné de votre règlement à :

Next2C – Service abonnements Pour La Science – 26 BD Président Wilson CS 40032 – 67085 Strasbourg CEDEX – email : pourlascience@abopress.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science,
au tarif unitaire de 9,90 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres
correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. 01 x 9,90 € = 9,90 €
2^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
3^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
4^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
5^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
6^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €

TOTAL À RÉGLER _____ €

Groupe Pour la Science – Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris
Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

Offre valable jusqu'au 31/12/2020 en France Métropolitaine uniquement. Pour l'export, rendez-vous sur notre site internet boutique.pourlascience.fr. Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques.

Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____

Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) _____

Signature obligatoire :



RETROUVEZ TOUS LES ANCIENS NUMÉROS SUR
BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR