



Dans le roman *Dune*, le personnage de Liet Kynes (ici dans l'adaptation cinématographique de Denis Villeneuve) joue un rôle central. Cette planétologue a une compréhension profonde d'Arrakis et veut terraformer ce monde. L'eau est donc un élément essentiel dans son projet.

faire par condensation. Mais dans ce processus, la vapeur d'eau libère très exactement la quantité d'énergie qui a été nécessaire à son évaporation ! Cela provoque alors le réchauffement de la surface sur laquelle les gouttes se forment. Pour que la condensation n'annule pas l'effet refroidissant de la transpiration, il faut que le distille soit doté d'un dispositif d'évacuation rapide de cette chaleur, sinon son porteur risque de mourir de chaud. Pour cela, le distille doit être constitué d'un matériau ayant à la fois une forte conductivité thermique (de sorte à faciliter le transfert de chaleur vers l'extérieur), une grande émissivité radiative (pour rayonner efficacement la chaleur sous forme de lumière infrarouge), et posséder une grande surface d'échange avec l'air ambiant, comme on le voit sur les radiateurs d'automobile ou sur ceux utilisés pour refroidir les composants électroniques. Afin d'éviter que la surface extérieure du distille ne soit couverte d'ailettes disgracieuses et gênant les mouvements de son porteur, on peut imaginer que cette surface soit fractale de sorte à augmenter l'aire d'échange avec l'extérieur sans trop augmenter le volume du distille.

La découverte faite par le physicien Jean-Charles Peltier (1785-1845) en 1834 pourrait aussi s'avérer utile. Il s'agit d'un effet thermoélectrique dans lequel un courant électrique provoque une différence de

température. Il se produit dans des matériaux conducteurs de natures différentes liés par des jonctions. L'une des jonctions se refroidit alors légèrement, pendant que l'autre se réchauffe. L'effet Peltier est utilisé comme technique de réfrigération dans des secteurs où une grande fiabilité est requise (dans le domaine spatial, par exemple), mais aussi pour des applications plus courantes comme les glacières et les réfrigérateurs de camping. La partie externe du distille pourrait alors être constituée d'une jonction Peltier, la partie intérieure froide condensant la vapeur d'eau, la partie extérieure se chargeant d'évacuer la chaleur produite par la condensation.

LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES

En plus de la sueur, le distille est aussi capable de récupérer l'eau des excréments humains. Sécrétée par les reins après filtration du sang, l'urine est composée à 95% d'eau, le reste étant essentiellement de l'urée (2%), des sels dissous et des molécules organiques (elle en contient plus de 3000 différentes !). Le recyclage de l'eau des urines a bien sûr été largement étudié par les agences spatiales, par exemple afin de réduire le coût d'approvisionnement en eau de la Station spatiale internationale (*International Space Station* ou ISS). Le recyclage de toutes les eaux usées à plus de 90% n'évite pourtant pas l'envoi en orbite de près de six tonnes d'eau chaque année.

Dans l'ISS, l'urine est d'abord distillée à basse pression dans un cylindre en rotation pour pallier l'absence de gravité apparente. L'eau obtenue est ensuite mélangée avec celle provenant d'autres sources (douche ou vapeur d'eau condensée dans l'air) avant de transiter à travers une série de filtres. Enfin, les contaminants organiques et les micro-organismes sont détruits en passant dans un réacteur catalytique qui les oxyde avant une ultime filtration. L'eau obtenue peut être bue, mais elle sert également à la production de dioxygène par électrolyse.

Les selles sont aussi riches en eau : elles en contiennent environ 80%, le reste étant essentiellement des fibres de cellulose ou musculaires non digérables. Contrairement à l'urine, les selles sont plus difficiles à recycler car elles sont susceptibles de contenir des germes contaminants. Des recherches menées pour l'établissement d'une future colonie martienne ont montré que, finalement, assez peu d'eau pourrait être récupérée des selles. Cela, sans compter les problèmes psychologiques que cela poserait certainement à l'équipage qui devrait la consommer (dans la Station spatiale internationale, les astronautes russes refusent déjà de boire l'eau issue du recyclage des urines). Naturellement, si l'unique alternative est la mort par déshydratation, leur opinion pourrait changer...

> Dans sa description du distille, Kynes mentionne un filtre à haute efficacité ayant une structure en microsandwich, ce qui évoque les méthodes les plus récentes de purification d'eau par ultrafiltration ou par nanofiltration. Dans la première méthode, l'eau passe sous pression à travers une membrane constituée d'un faisceau de fibres creuses conçues dans un matériau polymère dont les pores ont une taille de l'ordre d'un centième de millionième de mètre (0,01 micromètre). Les seules substances capables de passer sont donc celles dont la taille est inférieure à celle des pores. L'ultrafiltration permet ainsi d'éliminer toutes les particules en suspension, les bactéries et les virus, ainsi que les plus grosses molécules organiques. Pour retenir les plus petites molécules, on ajoute du charbon actif dans l'eau à traiter. Celles-ci s'adsorbent sur les grains de charbon, lesquels, trop gros pour passer à travers les pores, sont retenus par la membrane. La nanofiltration fonctionne comme l'ultrafiltration, mais en utilisant une membrane dont la porosité est dix fois plus faible, de l'ordre du milliardième de mètre (un nanomètre, d'où son nom). Cette membrane est en céramique et se présente sous la forme de longs prismes hexagonaux percés de multiples canaux dans le sens de la longueur.

Ces dispositifs d'ultra et de nanofiltration équipent la station scientifique française Concordia, située en Antarctique. Elles sont complétées par un autre procédé, l'osmose inverse, déjà utilisée pour le dessalement de l'eau de mer. Ce système, financé par l'Agence spatiale européenne, permet de recycler les eaux usées d'environ 25 personnes vivant en autarcie complète pendant les neuf mois d'hivernage.

COMMENT ALIMENTER LE DISTILLE ?

La purification de l'eau nécessite évidemment de l'énergie: un système d'ultrafiltration commercial consomme environ 1 kilowattheure pour purifier un mètre cube d'eau, valeur qui monte à 3 kilowattheures pour un dispositif utilisant l'osmose inverse. La quantité d'eau à traiter étant d'environ quelques litres par jour, cela conduit, en se donnant un peu de marge, à une puissance nécessaire de l'ordre de 200 milliwatts pour la seule purification, à laquelle il faut ajouter la consommation du système de pompage et de refroidissement. D'après Kynes, le distille fonctionne uniquement grâce à l'énergie du corps humain, notamment celle des mouvements. Est-ce vraiment envisageable ?

En 2013, quatre étudiants de l'université de Rice, au Texas, ont imaginé des chaussures qui transforment en électricité l'énergie produite par le choc des talons sur le sol. Une idée qui semble tout à fait intéressante quand on se rappelle que ce sont des pompes situées sous le talon qui sont censées faire circuler l'eau dans

Moins de 1% de l'eau terrestre est à la fois douce et liquide

le distille. Le prototype a une puissance moyenne de 400 milliwatts, mais sur un sol dur et dans des conditions de laboratoire plutôt que sur le sable des déserts d'Arrakis ! Et quand on sait que les Fremen doivent soigneusement choisir le rythme de leur marche pour ne pas attirer l'attention des vers des sables, il faut craindre que la production d'énergie par ce biais ne soit pas suffisante. On peut aussi récupérer l'énergie liée aux mouvements de l'ensemble du corps (du tronc, des bras ou des jambes : cette question est désormais à l'ordre du jour pour alimenter les dispositifs numériques qui envahissent nos vies, du téléphone portable au vêtement connecté).

L'ordre de grandeur de la puissance mécanique de la majorité des mouvements est de l'ordre de 1 à 10 watts, à comparer aux 20 à 100 milliwatts nécessaires aux objets connectés, et aux 200 milliwatts pour notre distille.

Si la puissance disponible semble être suffisante, la récupérer de façon efficace n'est pas si simple. Il existe deux grandes familles de récupérateurs de l'énergie d'une personne, caractérisées par la nature de l'énergie mécanique convertie. Un système inertiel contient une masse en déplacement libre sous l'effet des accélérations du corps de l'utilisateur. Un générateur transforme l'énergie cinétique de la masse en électricité. La seconde famille est constituée de systèmes qui exploitent directement les contraintes, les déformations ou les frottements. La source d'énergie mécanique est alors la force musculaire de la personne. Dans un système inertiel, l'ergonomie impose de réduire au maximum le volume et la masse du récupérateur d'énergie, ce qui limite de fait la quantité d'énergie mécanique convertible. En revanche, pour les systèmes directs, la limite est fixée par la quantité d'énergie maximale qu'il est possible de prélever sans entraver le mouvement. En pratique, ces dispositifs de récupération de l'énergie mécanique du corps ne sont capables de fournir, au mieux, qu'une puissance de l'ordre de quelques dizaines de milliwatts.

C'est un peu juste, mais il ne semble malgré tout pas totalement impossible de faire fonctionner un distille à l'énergie humaine : bien joué, monsieur Herbert !

BIBLIOGRAPHIE

Recyclage de l'eau à bord de la Station spatiale internationale :
http://bit.ly/PLS517_ISS

M. Geisler, Récupération d'énergie mécanique pour vêtements connectés autonomes, mémoire de thèse, 2017
(http://bit.ly/PLS517_vetements).

L'eau : attention, fragile !
Dossier Pour la Science
n° 58, janvier 2008.