

fonctionnement: «À la base, c'est un micro-sandwich: un filtre à haute efficacité doublé d'un système d'échange de chaleur. [...] La couche au contact de la peau est poreuse, perméable à la transpiration qui rafraîchit le corps... c'est le processus normal, ou presque, de l'évaporation. Les deux autres couches comprennent [...] des filaments d'échange calorique et des précipitateurs de sel. Le sel est récupéré. [...] Les mouvements du corps, et surtout la respiration, ainsi qu'un certain effet osmotique suffisent à fournir l'énergie nécessaire au pompage. [...] L'eau recyclée circule et aboutit dans des poches de récupération d'où vous l'aspirez grâce à ce tube fixé près de votre cou. [...] L'urine et les matières fécales sont traitées dans le revêtement des cuisses.»

Le nom de cette tenue évoque bien sûr la distillation, procédé attesté depuis le 1^{er} siècle de notre ère et faisant partie des techniques inventées par les alchimistes, encore en usage en chimie moderne (alliage, calcination, sublimation et distillation). La distillation permet de séparer un mélange homogène de liquides dont les températures d'ébullition sont différentes. En chauffant le mélange et/ou en diminuant la pression qui le surplombe, les liquides qu'il contient se vaporisent successivement en commençant par le plus volatil. La vapeur obtenue est condensée par refroidissement sur les parois rafraîchies d'un tube de captage au bout duquel s'écoule le distillat. Ainsi, la préparation d'une eau-de-vie passe par la distillation du résultat de la fermentation des fruits par des levures afin d'en extraire l'alcool. Cela semble tout à fait opportun de nommer «distille» (*stillsuit* en anglais) une tenue qui semble capable de purifier l'eau évacuée par le corps en lui ôtant les sels et autres impuretés qu'elle contient.

Comme l'eau douce risque de devenir une denrée rare sur Terre et qu'elle est très coûteuse à embarquer à bord des stations orbitales ou des futures missions humaines vers Mars, il ne fait aucun doute qu'un tel système de recyclage individuel pourrait s'avérer fort utile. Mais cela fonctionnerait-il comme nous l'indique Kynes?

L'EAU CORPORELLE

Notre corps contient 65% d'eau dont la plus grande part siège à l'intérieur des cellules. Nous perdons en moyenne 2,5 litres par jour sauf bien sûr en cas d'effort physique intense ou de conditions météorologiques extrêmes: 1,5 litre d'eau est évacué sous forme d'urine, 0,5 litre est transpiré en sueur, 0,3 litre s'échappe sous forme de vapeur d'eau dans la respiration et 0,2 litre se retrouve dans les selles. L'eau ainsi perdue est récupérée par l'alimentation (1 litre) et par les boissons (1,5 litre). L'eau douce est absolument indispensable à notre survie car sans aucun apport, rappelons-le, nous ne pouvons vivre plus de trois jours.

VIVRE SANS EAU, EST-CE POSSIBLE ?

Sur Arrakis, la survie de chacun dépend de l'eau, un bien précieux extrêmement rare sur cette planète désertique. Mais une espèce imaginée par Frank Herbert déroge à la règle, le Shai-hulud (ou ver des sables) pour lequel l'eau est un poison mortel. La fiction est néanmoins rattrapée par la réalité. Sur Terre, il existe des extrémophiles capables de se passer d'eau. Par quels mécanismes parviennent-ils à survivre dans ces conditions ?

L'eau couvre 70 % de la surface de notre planète, et dans sa forme liquide, elle joue un rôle crucial chez les êtres vivants : ce solvant assure le transfert de matière et d'énergie à l'intérieur même des cellules et entre elles. Ainsi, le corps humain est constitué de 65 % d'eau, mais cette fraction s'élève jusqu'à 98 % chez les méduses ! Bien que l'eau semble indispensable, de nombreuses formes de vie sont capables de s'en passer au moins pendant un temps : c'est le cas des espèces dites « anhydrobiotiques » comme les levures, les plantes à fleurs avec leurs graines, les bactéries, les champignons avec leurs spores, et bien d'autres. Les artémies, de petits crustacés, sont capables de résister à la dessiccation pendant quinze ans sous la forme de cystes (ou kystes).

Concernant l'hygrométrie, le record sur Terre est, comme sur Arrakis, détenu par un ver : le nématode *Tylenchus* peut rester trente-neuf ans sans eau et sans aucun dommage pour l'organisme. En général, ces vers se plissent, s'enroulent sur eux-mêmes et

s'agglutinent tandis que leurs fonctions vitales ralentissent, voire s'arrêtent. Leurs tissus se déshydratent et l'eau intracellulaire est remplacée par des protéines spécifiques (protéines de choc thermique) et du tréhalose, un sucre non réducteur très visqueux qui permet de conserver un volume intracellulaire minimum tout en limitant les agrégats de biomolécules.

Le tréhalose est aussi à l'œuvre chez les artémies, mais semble absent chez les tardigrades, qui peuvent rester plusieurs décennies dans un état de dessiccation quasi totale après avoir perdu 97 % de leur eau. Ces animaux microscopiques sont par ailleurs capables de résister à des températures et des pressions extrêmes, à une forte salinité, au vide spatial et à une radioactivité hors norme. En 2017, Thomas Boothby, de l'université de Caroline du Nord, aux États-Unis, et ses collègues ont montré qu'en cas de sécheresse, les tardigrades produisent des protéines intrinsèquement désordonnées, qui forment une matrice vitrifiée protégeant les cellules. Les Shai-huluds ont-ils développé une stratégie similaire ? Quoi qu'il en soit, ces extrémophiles, réels ou fictifs, suggèrent que l'eau n'est peut-être pas obligatoire pour imaginer d'autres formes de vie ailleurs dans l'Univers.

T. C. Boothby et al., *Molecular Cell*, vol. 65, pp. 975-984, 2017;
M. Watanabe, *Applied Entomol. Zool.*, vol. 41(1), pp. 15-31, 2006.



LES TARDIGRADES

On les surnomme parfois « oursins d'eau ». Pourtant, ces animaux peuvent vivre sans eau pendant de longues périodes, au moins cinq ans pour la plupart des espèces. Ils se mettent alors dans un état dit « de cryptobiose », où leur métabolisme est presque à l'arrêt.

> Si la présence d'eau dans les urines ou les selles est manifeste, c'est le médecin italien Santorio Santorio (1561-1636) qui mit en évidence la perspiration, c'est-à-dire la perte d'eau sans sueur apparente par évaporation directe à travers la peau et les alvéoles pulmonaires (vapeur d'eau contenue dans l'air expiré). Cette évaporation participe à la dissipation des 70 à 90 watts de chaleur produite par notre métabolisme au repos.

La transpiration (ou sudation) est un phénomène plus visible que la perspiration et, comme cette dernière, se produit au niveau des pores de la peau. Les glandes sudoripares situées dans la peau «puisent» l'eau dans les capillaires sanguins qui les entourent, et produisent la sueur dont la composition est proche de celle d'une urine très diluée. Celle-ci est ensuite évacuée par les pores cutanés. En prenant l'énergie nécessaire à son évaporation dans la chaleur corporelle, la sueur joue un rôle important dans la régulation thermique de notre corps en cas d'effort ou de chaleur (c'est aussi le processus d'évaporation de l'eau mouillant notre corps qui provoque la sensation de froid en sortant d'une douche). La sudation peut alors atteindre des valeurs aussi hautes que 1,5 litre par heure ! D'où l'importance de boire beaucoup lorsque l'on exerce une activité physique intense ou lorsqu'il fait très chaud. Dans ces situations, les animaux transpirant moins, comme le chien, halètent pour évaporer de l'eau par la surface de leur langue afin de maîtriser leur température interne.

Les humains ont deux sortes de glandes sudoripares qui diffèrent par leurs fonctions et par la composition de la sueur qu'elles produisent. Les glandes eccrines sont les plus nombreuses (on en compte de trois millions à six millions) et couvrent presque tout le corps. Elles se situent surtout sur la paume des mains, la plante des pieds et le front. On comprend donc pourquoi le distille dispose d'une capuche et couvre aussi les mains et les pieds. Les glandes apocrines, que l'on trouve notamment sous les aisselles, produisent une sueur plus riche en molécules organiques (dont des phéromones). Leur transformation par des bactéries produit l'odeur typique de la transpiration. Thufir Hawat, le Mentat des Atréides, ne mâche d'ailleurs pas ses mots à propos de l'odeur d'un distille : «[...] ils puent autant les uns que les autres dès qu'ils sont en lieu clos. C'est à cause de ce vêtement qui récupère l'eau de leur corps. Ils appellent ça un "distille".»

Le fonctionnement du distille n'est bien sûr pas détaillé par Frank Herbert, mais il semble difficile qu'il atteigne les performances décrites. D'emblée se pose le problème de la récupération de la sueur : elle passe à travers une membrane poreuse pour être ultérieurement filtrée. Mais si la sueur est directement

captée sous forme liquide, elle ne jouera plus son rôle refroidissant faute de pouvoir s'évaporer, ce qui est fâcheux. Les plongeurs portant une combinaison intégrale en néoprène savent bien qu'il est dangereux de rester trop longtemps au soleil : sans évaporation de la sueur pendant une période prolongée, ils courent un risque très important d'hyperthermie provoquant étourdissements, nausées, vomissements et maux de tête. D'ailleurs, dans le film *Dune* de David Lynch (1984), les figurants jouant les Fremen portaient un costume très près du corps et peu «respirant» qui limitait l'évaporation de la sueur. Dans le désert mexicain où furent tournées les scènes sur Arrakis, tous s'accordèrent à dire que l'expérience fut très éprouvante.

COMMENT LE DISTILLE POURRAIT-IL FONCTIONNER ?

Si le distille permet l'évaporation de la sueur et le refroidissement naturel du corps, il doit aussi évacuer l'air saturé en vapeur d'eau en contact avec la peau pour le remplacer par de l'air sec à la bonne température. Dans le cas contraire, l'évaporation, et donc le refroidissement, s'arrêterait : c'est pour cette raison qu'il est utile d'aérer une pièce dans laquelle sèche du linge. Reste ensuite à condenser l'humidité avant de la traiter. La façon la plus évidente consiste à refroidir la vapeur d'eau : c'est ce qui se passe lors de la formation d'un brouillard par refroidissement d'un air humide.

Dans cette situation, capter les fines gouttelettes d'eau contenues dans le nuage et la brume est réalisable grâce à un long filet de polypropylène constitué de mailles très fines. Cette méthode est expérimentée dans les régions arides du Chili et du Pérou, où l'accès à l'eau potable demeure difficile mais le brouillard régulier. Elle fut aussi utilisée par les Romains dans le pourtour méditerranéen grâce à des tumulus pierreux plutôt qu'avec des filets. Cela ressemble tout à fait aux «pièges à vent» que Kynes père et fils installent sur Arrakis pour capter l'humidité de l'air.

Dans le distille, la déshumidification de l'air capté au voisinage de la peau doit aussi se



Sur la Station spatiale internationale, les eaux usées sont recyclées à plus de 90%