

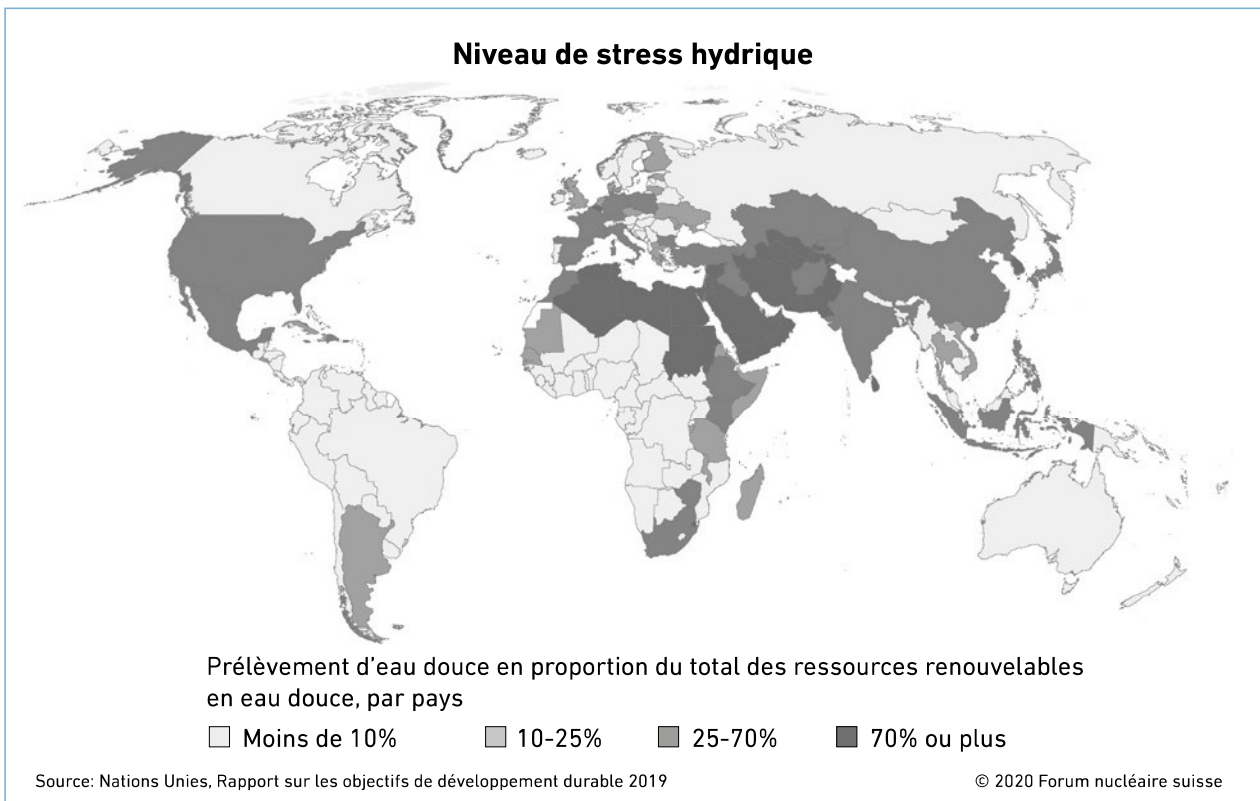
Le dessalement d'eau de mer à l'énergie nucléaire, une option pour l'avenir

L'eau douce est un bien précieux. Bon nombre de pays en manquent, les précipitations ne suffisant pas à couvrir les besoins de leur population. Comme la croissance démographique mondiale impose de trouver de nouvelles ressources en eau, le dessalement d'eau de mer devrait gagner en importance. Il en découlera de nouveaux besoins en énergie, que le nucléaire constitue un bon moyen de couvrir. Les technologies nucléaires permettent aussi d'utiliser plus efficacement les ressources en eau disponibles.

Les Islandais ne se soucient guère de leur approvisionnement en eau, car la nature met à leur disposition pas moins de 1,4 million de litres d'eau par personne et par jour. Il en va tout autrement au Koweït, où la quantité d'eau issue des précipitations ne s'élève en moyenne qu'à 16 litres par jour et par habitant. Selon les Nations Unies (ONU), l'homme ne peut guère utiliser que 40% des précipitations qui s'abattent sur la planète, le reste disparaissant par évaporation. Si la quantité d'eau disponible était répartie également entre tous les habitants

du globe, chacun d'entre eux disposerait de 16'000 litres d'eau par jour, soit de 5800 m³ d'eau par an.

Les exemples de l'Islande et du Koweït montrent que l'eau douce n'est pas uniformément répartie dans le monde. De fait, quelque 2 milliards de personnes vivent dans des pays où le stress hydrique est élevé, et environ 4 milliards (soit les deux tiers de la population mondiale) souffrent de graves pénuries d'eau pendant au moins un mois par an. L'ONU parle de stress hydrique



lorsque la quantité d'eau disponible dans un pays est inférieure à 4600 litres par jour et par habitant (1700 m³ par an), de pénurie d'eau lorsque cette quantité est en-deçà de 2700 litres par jour et par habitant, et de pénurie d'eau absolue lorsqu'elle passe au-dessous du seuil des 1400 litres par jour et par habitant. Selon cette définition, 49 pays sont touchés par le stress hydrique à différents degrés, 9 d'entre eux souffrant de pénurie d'eau et 21 de pénurie d'eau absolue. Les pays qui connaissent un niveau élevé de stress hydrique sont tous situés en Afrique du Nord ou en Asie (occidentale, méridionale et centrale).

Exploiter les ressources en eau non conventionnelles

Le «Rapport sur les objectifs de développement durable 2019» de l'ONU indique qu'au siècle dernier, la consommation d'eau dans le monde a augmenté plus de deux fois plus vite que le taux de croissance démographique. Cette croissance, conjuguée au développement socioéconomique, à l'évolution des modes de consommation et au changement climatique, accroît la demande en eau. Les sources d'eau dites conventionnelles telles que les précipitations et la fonte des neiges ne suffisent plus à couvrir les besoins des habitants des régions pauvres en eau.

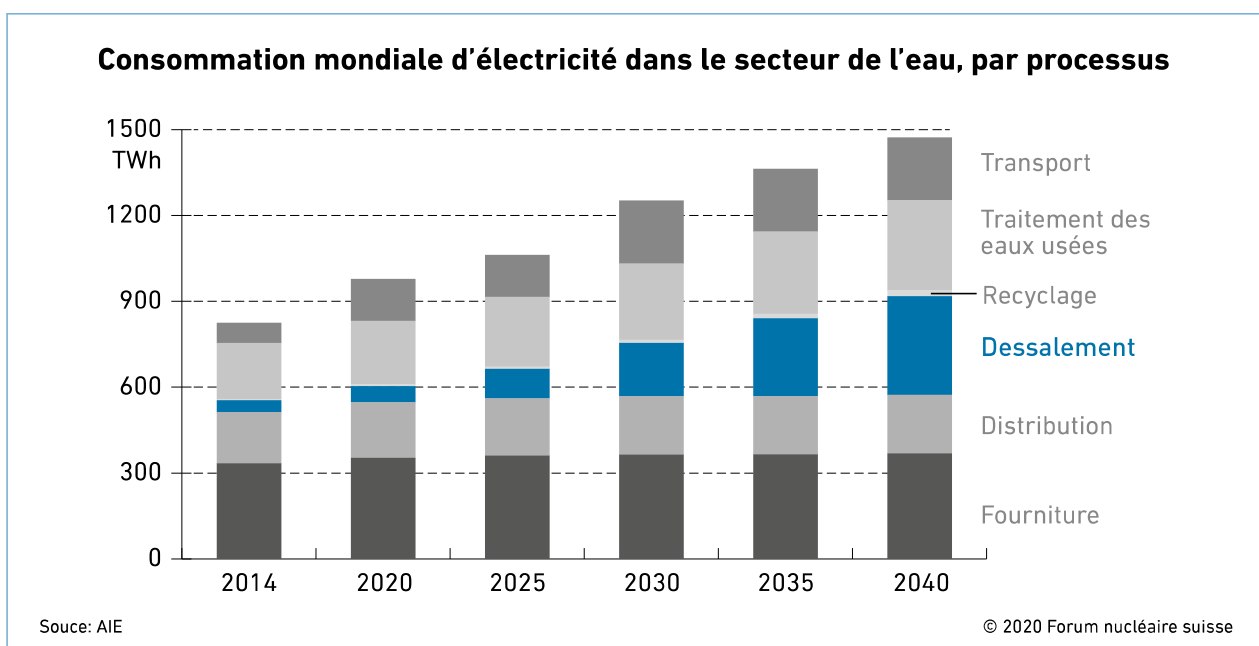
Cette évolution est en conflit direct avec l'objectif «Eau propre et assainissement», le sixième d'une liste de

17 objectifs de développement durable établie par l'ONU. Pour réduire la pression exercée sur les ressources en eau douce, tous les pays et toutes les régions doivent donc, selon l'ONU, exploiter davantage les ressources en eau non conventionnelles, c.-à-d. par exemple recycler les eaux usées, utiliser directement les eaux de drainage dans l'agriculture, ou dessaler l'eau de mer.

Mais l'utilisation d'eau et le traitement des eaux usées requièrent de l'électricité. Une grande partie du courant utilisé l'est pour la fourniture (36%), la distribution et le transport (35%) de l'eau ainsi que pour le traitement des eaux usées (23%). Selon une étude de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), ces différentes opérations représentaient approximativement 4% de la consommation mondiale d'électricité en 2014. L'AIE estime que la consommation d'électricité du secteur de l'eau va pratiquement doubler d'ici à 2040. Le principal moteur de cette évolution est le dessalement de l'eau.

Le dessalement d'eau: vue d'ensemble

Environ 16'000 usines de dessalement sont en service dans le monde. Ensemble, elles produisent quelque 95 millions de m³ d'eau dessalée par jour. À titre de comparaison, le volume d'eau transporté par le Rhin à la hauteur de Bâle est de 86 millions de m³ par jour (moyenne 2019).



Construites principalement dans des régions riches en pétrole mais pauvres en eau, en particulier au Moyen-Orient, les usines de dessalement ont au départ surtout fait appel à des technologies thermiques. Avant les années 1980, les 84% de l'eau dessalée dans le monde étaient produits soit par la technologie MSF (Multi-Stage Flash Distillation), soit par la technologie MED (Multi-Effect Distillation). Par la suite, la technologie des membranes, en particulier l'osmose inverse (OI), s'est développée. En 2000, on dessalait déjà 11,5 millions de m³ d'eau par jour par OI, soit le même volume qu'avec les technologies thermiques, et toutes ces technologies assuraient ensemble les 93% de la production d'eau dessalée de l'époque. Le nombre et la capacité des installations de dessalement par OI ont depuis lors augmenté exponentiellement, tandis que ceux des installations thermiques ne croissaient que très faiblement. Aujourd'hui, 65,5 millions de m³, soit deux bons tiers de l'eau dessalée, sont produits chaque jour par OI. Une grande partie du reste de l'eau dessalée est issue des technologies thermiques MSF et MED. Ensemble, les trois technologies précitées comptent pour quelque 94% de la production mondiale d'eau dessalée.

Besoin d'énergie accru

Selon l'ONU, l'approvisionnement en eau et le traitement des eaux usées sont responsables de 3 à 7% des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Une grande partie de ces émissions est due soit à l'énergie requise par le fonctionnement des systèmes, soit aux processus biochimiques à l'œuvre lors du traitement des eaux et des eaux usées.

Comme indiqué plus haut, l'AIE s'attend à ce que la consommation d'électricité due au dessalement augmente fortement, passant à environ 345 TWh à l'horizon 2040, contre un peu plus de 40 TWh en 2014.

Le nucléaire, un fournisseur d'énergie sobre en carbone

Les centrales nucléaires sont utilisées depuis un certain temps déjà pour le dessalement de l'eau de mer. Elles produisent ainsi de la chaleur et de l'électricité décarbonées. La première installation de dessalement couplée à une centrale nucléaire a été mise en service par l'ex-Union soviétique en 1973 sur le site d'Aktau (aujourd'hui en territoire kazakh). Le réacteur



L'usine de dessalement de la tranche nucléaire de Karachi, en bord de mer, au Pakistan.

Photo: PAEC

à neutrons rapides d'Aktou, un BN-350 d'une puissance électrique nominale de 135 MW, approvisionnait trois installations MED qui ensemble produisaient 145'000 m³ d'eau dessalée par jour. Il a été arrêté définitivement en avril 1999. Selon l'AIEA, le Kazakhstan s'emploie toutefois à relancer le dessalement nucléaire sur son territoire, en collaboration avec la Russie.

Par la suite, différents pays ont eux aussi commencé à utiliser des tranches nucléaires pour le dessalement d'eau de mer en plus de la production d'électricité. Il s'agit notamment de l'Inde, du Japon et du Pakistan. Ainsi, l'Inde exploite une installation OI (en service depuis 2002) et une installation MSF (en service depuis 2008) sur le site de Kalpakkam. Au Pakistan, la tranche Candu de Karachi fournit non seulement de l'électricité à la région, mais aussi, depuis début 2011, de la chaleur à une installation MED. Quant au Japon, il dispose d'une expérience de plus de 150 années-réacteur en matière de fourniture d'énergie nucléaire aux usines de dessalement. Avant le séisme de 2011, ce pays utilisait aussi bien des réacteurs à eau sous pression que des réacteurs à eau bouillante pour le dessalement d'eau de mer. Après le séisme, les centrales nucléaires du pays ont été progressivement retirées du réseau et, aujourd'hui, seul un petit nombre d'entre elles est à nouveau en service. Plusieurs pays prévoient de construire des installations de dessalement nucléaires. Ce type de projet existe non seulement dans les trois pays mentionnés plus haut, mais aussi en Arabie saoudite, en Argentine, en Chine, en Corée du Sud, en Égypte et en Russie.

Depuis plus de deux décennies, l'AIEA s'engage en faveur du dessalement d'eau de mer par l'énergie nucléaire. L'organisation estime que le dessalement nucléaire, au bénéfice d'une expérience de plus de 200 années-réacteur, constitue une option viable pour répondre à la demande croissante d'eau potable. Elle met à la disposition des États membres intéressés des programmes de calcul pour les aider à évaluer l'intérêt du dessalement nucléaire. Ces programmes leur permettent d'effectuer des analyses économiques et thermodynamiques du couplage de différentes ressources énergétiques avec différents procédés de dessalement. L'AIEA a aussi publié plusieurs rapports techniques mettant en évidence les aspects dont il faut tenir compte pour un couplage optimal. Ces documents abordent également la question de la sûreté et de la compatibilité environnementale du dessalement nucléaire, et présentent de nouvelles technologies possibles pour ce mode de dessalement. (M.B./D.B. d'après UNESCO, «The United Nations World Water Develop-

ment Report 2020»; Jones et al., «The state of desalination and brine production: A global outlook», 2019; le site Internet de l'AIEA; et d'autres sources)

Utilisation efficace de l'eau grâce aux techniques isotopiques

L'agriculture compte pour quelque 70% de la consommation d'eau douce dans le monde. Moins de la moitié de cette eau est utilisée efficacement. Le reste se perd par évaporation, infiltration et ruissellement. Cette eau – qu'elle provienne des précipitations ou de l'irrigation – transporte des nutriments, des pesticides et des produits chimiques dans les eaux de surface et dans les nappes phréatiques, ce qui nuit à la qualité des eaux et des milieux.

Les techniques isotopiques et nucléaires contribuent à améliorer la gestion des sols et de l'irrigation en instaurant des pratiques d'utilisation de l'eau plus efficaces. Ces techniques s'intègrent peu à peu dans la gestion de l'eau agricole, car des isotopes tels que l'oxygène 18 et le deutérium peuvent aider à déterminer la provenance et les déplacements de l'eau dans les plantes et les sols. Par exemple, les scientifiques peuvent utiliser des isotopes pour mesurer la quantité d'eau qui est consommée par une plante, celle qui est «transpirée» par cette dernière, et celle qui s'évapore du sol. Ces informations permettent d'élaborer des stratégies visant à améliorer la production végétale, à réduire les pertes d'eau et à prévenir les dommages causés aux sols, aux eaux et aux écosystèmes.