

ISEN

ALL IS DIGITAL!

QUEST



yncréa

Noms : Alexandre GUERRIER, Baptiste JOUANNE, Margot RIOU, Zelman BRUN, Louisa DANGER

Classe : A3

Groupe : B3

Module : FHES

Responsable du module : Emmanuelle ATHIMON

Titre du document : Rapport Scientifique Controverses - LE DESSALEMENT DE L'EAU, SOLUTION MIRACLE OU VAIN ?

Date et heure d'envoi : 19/11/2023 à 23h55

Nombre de mots :

- En adressant ce document à l'enseignant, je certifie que ce travail est le mien et que j'ai pris connaissance des règles relatives au référencement et au plagiat.

Le dessalement de l'eau : solution miracle ou vaine/désespérée ?

SOMMAIRE

LEXIQUE.....	3
INTRODUCTION	4
Définition des grandes lignes du sujet.....	4
Définition des termes clés et concepts scientifiques	4
Contexte macroscopique et historique	6
Explications techniques	7
Enjeux économiques	10
Une solution pour les « riches »	10
Privatisation de l'eau	11
Le marché de l'eau	12
Enjeux écologiques	13
Un impact sur les écosystèmes	13
Des solutions pour limiter cet impact.....	16
Enjeux sanitaires.....	18
L'eau de mer, une eau plus saine ?.....	18
Le danger de la faible composition minérale	19
Enjeux géopolitiques.....	23
Tensions pour cet accès	23
Accès à l'eau globalisé	26
CONCLUSION	27

LEXIQUE

Dessalement : Défini dans l'introduction.

Eau douce : Défini dans l'introduction.

Saumure : Défini dans l'introduction.

Stress hydrique : Défini dans l'introduction.

Les mangroves : “forêt impénétrable à base de palétuviers, poussant dans la vase des littoraux tropicaux “ [1]

Benthique : “Relatif au fond des eaux ; qui vit au fond des eaux.” [2]

Cytotoxicité : « Qualité de certaines cellules à être toxiques envers d'autres qui sont altérées. » [3]

Génotype : « Ensemble des gènes d'un organisme. » [4]

Aberration chromosomique : « Anomalie génétique portant sur la structure ou le nombre de chromosomes. »

Effluents : « Fluide résiduaire, traité ou non traité, d'origine agricole, industrielle ou urbaine, rejeté directement ou indirectement à partir d'un plan d'eau naturel ou une structure humaine dans l'environnement. » Les eaux usées sont des effluents par exemple.

Oligo-élément : « Élément contenu dans un sel minéral nécessaire à la vie d'un organisme, mais en quantité très faible. » [5]

Cardiopathie ischémique : Maladie du cœur caractérisée par un manque d'oxygène. [6]

Possibilité de faire Ctrl+click-gauche sur les termes qui vont apparaître dans le document pour venir à leur définition ici ou ci-après dans l'introduction

INTRODUCTION

Définition des grandes lignes du sujet

L'eau est une ressource naturelle, indispensable à la vie humaine. Elle n'a pas de substitut. L'agriculture, l'industrie et d'une façon plus générale beaucoup d'activités humaines reposent sur cette ressource. Or l'eau est inégalement répartie sur Terre, ce qui en fait un problème et un défi pour une partie du monde.

L'eau salée, en revanche, est présente en abondance dans les mers et les océans. Le dessalement apparaît donc comme une solution évidente. Transformer l'eau de nos océans en ressource utilisable a progressivement été rendu possible techniquement. La mise au point de procédés puis la création d'usines a prouvé que l'Homme pouvait technologiquement accomplir ce miracle : disposer d'eau douce à volonté. Mais est-ce réellement un miracle ?

Définition des termes clés et concepts scientifiques

a) Dessalement

Transformation d'eau salée en eau douce. Le dessalement de l'eau ou désalinisation est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment). Il existe plusieurs méthodes de dessalement.

b) Eau douce

L'eau douce se caractérise par une faible concentration en sels dissous, ce qui la rend utilisable, principalement pour l'agriculture (irrigation) et la boisson (eau potable). Elle est indispensable à la vie et représente moins de 3% de la totalité de l'eau sur Terre. Seulement 1 % de cette eau douce se trouve sous forme liquide et en surface, dans les cours d'eau et les lacs donc utilisable directement par l'Homme. Le reste étant sous forme de glace, de neige ou stocké dans des roches [7].

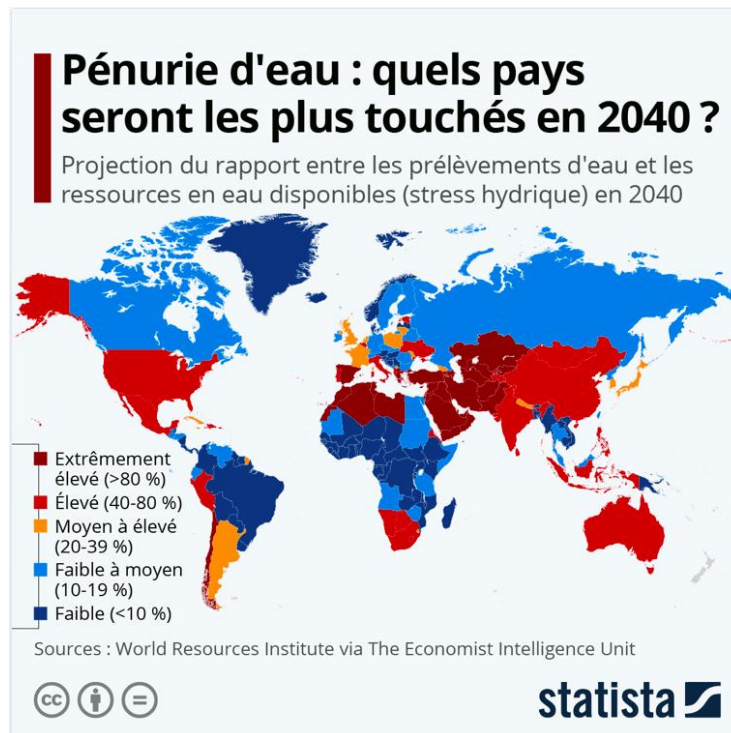
c) Saumure

Il s'agit d'une solution concentrée en sels dissous dans l'eau. Dans le cadre des techniques de dessalement, il s'agit du résidu. C'est, concrètement, un bouillon très salé et très dense comportant (suivant les procédés utilisés pour le traitement de l'eau) des produits chimiques pouvant avoir un impact écologique s'il est rejeté dans la nature.

d) Stress hydrique

Il s'agit d'une situation critique qui surgit lorsque la demande en eau d'une population dépasse les ressources disponibles.

Le terme de stress hydrique est présent dans certaines zones géographiques, à certaines périodes. [7]



©[8] Prévision du stress hydrique dans le monde en 2040

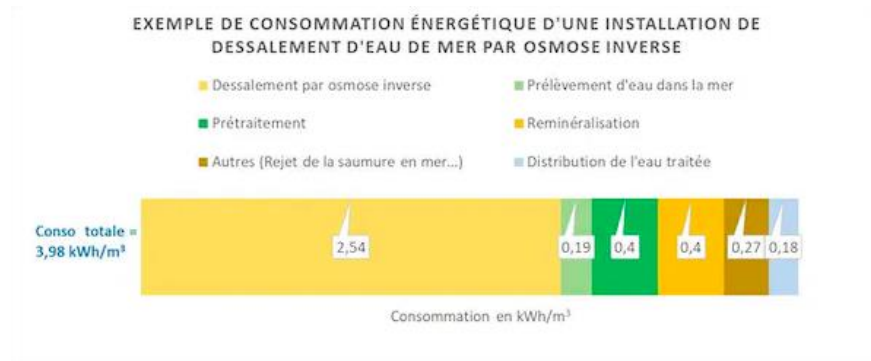
e) Reminéralisation

Il est nécessaire de procéder à un ajout de minéraux dans l'eau qui a été préalablement dessalée pour la rendre potable et bénéfique pour la santé. En effet, une eau à faible teneur en minéraux présente des inconvénients : les minéraux dans l'eau consommée sont essentiels à la vie humaine et leur carence cause des risques de maladies, entre autres cardiovasculaires. L'OMS recommande 10mg/L de magnésium et 30mg/L de calcium pour une eau potable. Par ailleurs, l'eau peu minéralisée a un fort potentiel corrosif : elle provoque la corrosion des métaux des conduites, des chauffe-eaux... [9].

f) Mesures ordres de grandeur et coût

D'après des estimations, le dessalement utilisant l'osmose inverse utilise 100 TWh d'énergie électrique par an. [10]

En 2019, l'ONU estimait que 95 millions de mètres cube d'eau douce étaient produits tous les jours dans les usines de dessalement provoquant la formation de 141,5 millions de mètres cube de saumure. [11]



©[12] Consommation énergétique d'une usine de dessalement

Contexte macroscopique et historique

L'histoire du dessalement d'eau de mer par distillation remonte à l'Antiquité, pour fournir en eau potable des habitants du bord de mer et des navigateurs sur de longs trajets. Différents procédés ont été proposés au fil des siècles mais c'est au XXe siècle que l'avancement des nouvelles technologies, le développement et l'exploitation du pétrole ont conduit au dessalement à grande échelle. Les usines produisent alors l'eau douce grâce au procédé de distillation. La première grande usine de dessalement par osmose inverse voit le jour en 1960. C'est cette dernière technique qui se développera rapidement dans les années 1980 et qui est aujourd'hui la méthode la plus utilisée. [13]

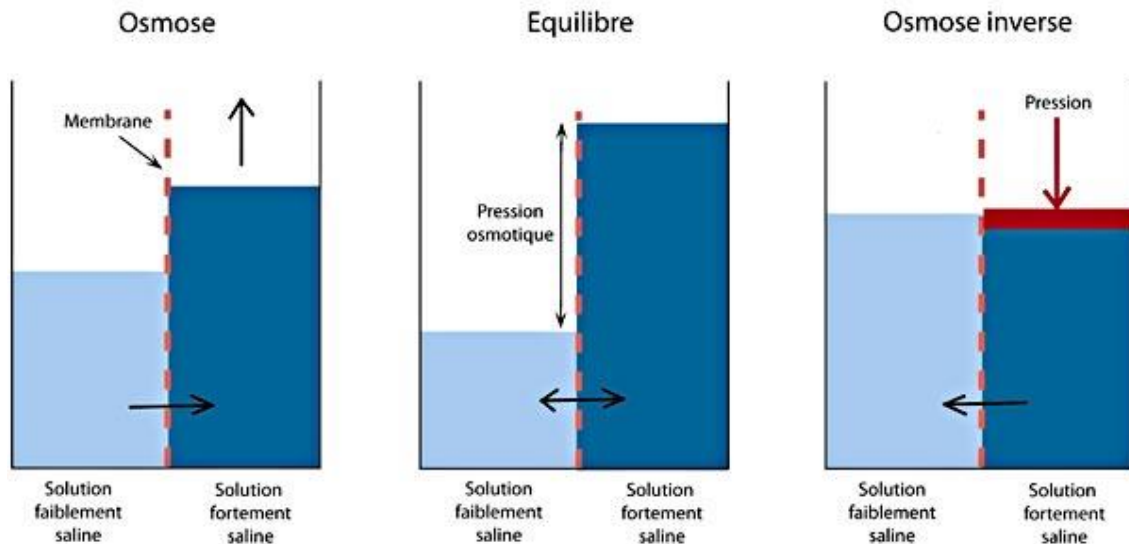
Depuis le XXe siècle, on assiste à une augmentation considérable de la demande en eau, en raison bien sûr de la croissance démographique et du développement de l'agriculture, mais aussi à cause du changement climatique qui affecte la disponibilité en eau.

Du fait des causes du stress hydrique ainsi que par les possibilités industrielles et énergétiques, certaines régions du globe sont plus concernées que d'autres par le dessalement. Voici une carte du monde des pays qui utilisent le dessalement à grande échelle.

Explications techniques

Osmose inverse ou par traitement membranaire

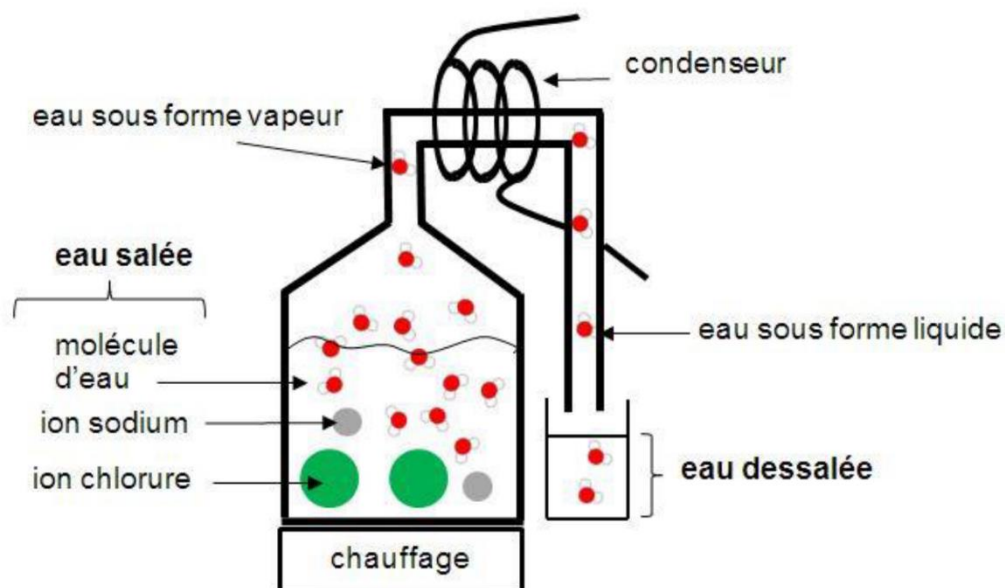
Elle implique l'utilisation de membranes semi-perméables pour séparer le sel et les impuretés de l'eau de mer sous haute pression (50 à 70 bars), permettant à l'eau douce de passer à travers la membrane. De plus la pression change en fonction de la concentration en sel de l'eau.



©[14] Fonctionnement de l'osmose inversée

Distillation ou dessalement thermique

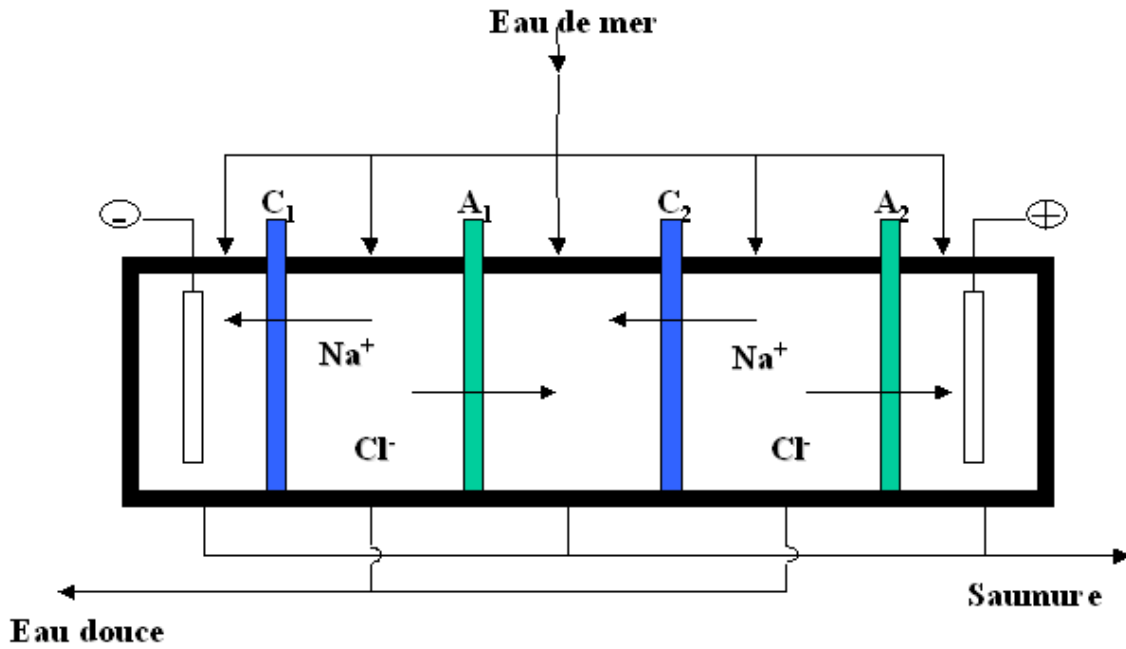
Chauffer l'eau de mer pour la vaporiser, puis condenser la vapeur pour obtenir de l'eau douce issue de la vapeur.



©[15] Distillation de l'eau salée

Électrodialyse

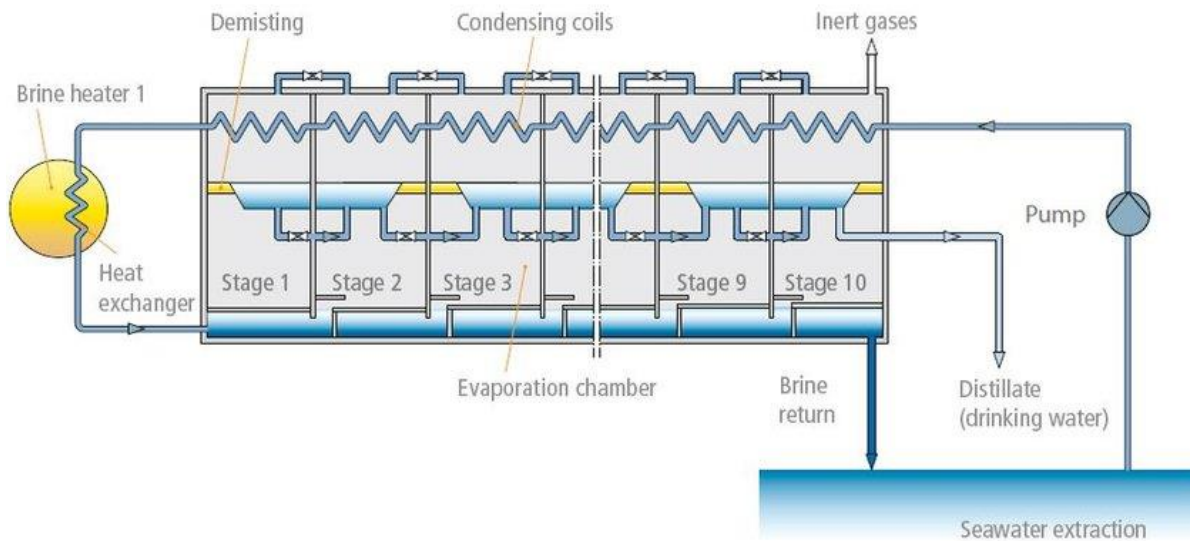
Membranes chargées électriquement pour séparer les ions du sel de l'eau de mer. Les ions passent à travers les membranes sous l'influence d'un champ électrique, laissant de l'eau douce derrière.



©[16] Fonctionnement de l'électrodialyse

Évaporation flash

Faire passer de l'eau de mer à travers une série de tubes ou de plaques chauffantes sous vide. L'eau s'évapore, laissant le sel derrière, puis la vapeur est condensée pour obtenir de l'eau douce.



©[17] Schéma de l'évaporation flash

Enjeux économiques

Une solution pour les « riches »

La consommation d'eau issue du dessalement représente un défi économique croissant. Entre 2010 et 2019, une augmentation annuelle de 7% de la capacité mondiale de dessalement a été observée [18]. Le coût de cette eau dessalée est plus élevé qu'une eau de source classique : 1€/m³ pour l'osmose inverse à 9€/m³ pour la distillation. De plus, ces coûts peuvent encore augmenter en cas de reminéralisation [19]. Bien que 150 pays possèdent la capacité à dessaler de l'eau, seulement une dizaine d'entre eux représentent la majorité de la capacité mondiale. La moitié de la production est issue de trois entreprises : Veolia, Suez et DOOSAN. Nous retrouvons donc peu d'entreprises, parmi elles un leader mondial français (Veolia) du traitement de l'eau et des déchets qui apporte de nouvelles technologies pour le dessalement. [18]

Parallèlement, de nouvelles innovations arrivent sur le marché. Par exemple, une bouteille capable de rendre l'eau de mer potable. Une solution moins coûteuse et portable. [18] Même si ce n'est actuellement qu'un concept, le marché de l'innovation est ouvert et laisse de grandes possibilités.

Le coût d'installation et d'utilisation des méthode de dessalement est plus élevé que celui qu'entraînerait d'autres méthodes d'économie d'eau. En Algérie par exemple, une étude de cas a montré une différence de coût de 35 millions d'euros sur 20 ans en faveur de l'irrigation localisée.

Les deux méthodes ont des avantages et des inconvénients. L'irrigation localisée est plus économique et permet de sauvegarder plus d'eau qu'avec le dessalement. Cependant, cela nécessite une sensibilisation des agriculteurs ainsi que des investissements supplémentaires au niveau des infrastructures d'irrigation.

Le dessalement, quant à lui, permet une production constante d'eau douce et ne dépend pas de la localisation des sources d'eau douce, mais seulement des côtes. Cependant, le coût initial élevé des usines est répercuté sur le prix de l'eau consommée. [20]

On constate que pour les pays disposant de ressources financières suffisantes, la méthode du dessalement est privilégiée. Étant donné que ces pays possèdent l'énergie et l'argent pour son fonctionnement, la technique du dessalement est directement implémentée car le coût de la production et de la consommation n'est pas significatif pour le pays ou sa population. Par exemple, l'Arabie Saoudite était en 2013 le premier producteur d'eau dessalée au monde avec 9.2 millions de mètres cubes par jour. [21]

Privatisation de l'eau [22]

Les entreprises privées étant motivées par la rentabilité, elles ont la capacité d'investir de manière conséquente dans le secteur de l'eau. Cet apport financier peut se traduire par le développement plus rapide d'innovations qui ont pour but d'optimiser la distribution de l'eau. Ainsi, l'eau serait fournie de manière plus efficace ce qui réduirait le gaspillage.

La privatisation peut également stimuler la concurrence ce qui pousse les entreprises à améliorer la qualité de leur service. En effet, pour pouvoir se démarquer, les entreprises privées sont incitées à investir davantage pour avoir une meilleure infrastructure et obtenir de l'eau de meilleure qualité.

Ces avantages démontrent que la privatisation du secteur de l'eau peut contribuer à une modernisation des moyens de production (du moins lorsque les entreprises sont bien régulées et mettent en avant le développement durable).

La privatisation de l'eau peut offrir certains avantages, mais elle soulève aussi des préoccupations majeures en ce qui concerne l'accès à l'eau, l'exploitation des ressources et la souveraineté.

Les entreprises privées cherchant à réaliser des bénéfices, il est logique qu'elles fixent leurs prix les plus hauts possibles, ce qui rend l'eau moins accessible pour les populations à faibles revenus. Cette situation peut aggraver les inégalités déjà existantes et donc les tensions au sein de pays en voie de développement.

De plus, le profit à un instant donné rentre parfois en conflit avec la durabilité, ce qui peut entraîner une surexploitation des ressources mettant en péril des écosystèmes marins. Cela peut, à long terme, avoir pour conséquence de rendre l'accès à l'eau encore plus complexe pour les générations futures.

Enfin la privatisation pose des questions de souveraineté nationale. En effet, la gestion de cette ressource précieuse par des entreprises parfois étrangères réduit le contrôle de l'état. Cela peut dans le pire des cas compromettre la sécurité d'un pays car il ne serait plus en mesure de répondre directement aux besoins de sa population.

Le marché de l'eau [22]

La qualification juridique de l'eau, (manière dont l'utilisation de l'eau est réglementée par le droit), joue un rôle crucial. Ce cadre légal est essentiel pour assurer que l'eau, une ressource naturelle indispensable, soit utilisée de manière équitable et durable. La mise en place de lois et de réglementations permet non seulement de protéger les intérêts des différents consommateurs (ménages, industries, agriculture) mais elle contribue également à prévenir les abus et à garantir un accès équitable à cette ressource.

Néanmoins, des conflits d'intérêt peuvent surgir lorsque les réglementations ne parviennent pas à concilier les besoins variés des utilisateurs. En outre, une législation inappropriée peut accroître les inégalités d'accès à l'eau, en particulier dans les régions où l'eau potable est déjà rare. De plus, les règles juridiques doivent impérativement prendre en compte les spécificités environnementales de l'eau pour éviter les atteintes à l'environnement, telles que la pollution et la surexploitation des ressources hydriques.

La soumission de l'eau aux règles du commerce international présente à la fois des opportunités et des défis. L'ouverture de l'eau au commerce international favorise son échange et sa distribution à l'échelle mondiale. Cela peut stimuler l'innovation et la concurrence, ce qui a le potentiel à terme d'améliorer l'efficacité et la qualité des services. De plus, l'accès aux marchés mondiaux peut faciliter la distribution de l'eau dans des régions confrontées à des pénuries.

Cependant, l'inscription de l'eau dans le commerce international comporte également des risques significatifs. La marchandisation de l'eau peut entraîner une privatisation accrue des services d'eau, créant des problèmes quant à l'accès équitable à cette ressource. Ce qui va à l'encontre du principe de l'eau en tant que droit humain.

Enjeux écologiques

Un impact sur les écosystèmes

D'un point de vue environnemental, le dessalement de l'eau pose plusieurs problèmes. À l'heure du réchauffement climatique, la question du rejet de gaz à effet de serre est à étudier. En effet, les usines de dessalement de l'eau rejettent du CO₂ du fait de la provenance de leur énergie, bien souvent fossile. Elles ne rejetteraient pas moins de 120 millions de tonnes de dioxyde de carbone d'après un rapport du IFRI. [23] Du fait du réchauffement climatique, le développement de ces usines s'accélère, c'est pourquoi la Banque mondiale met en garde contre l'évolution de ce secteur qui pourrait d'ici 2050, rejeter environ 400 millions de tonnes de CO₂.

L'autre principal problème lié à l'écologie est la question des rejets de ces usines dans la nature. Après que l'eau ait été dessalée, les usines déversent dans la mer de la saumure, qui possède dans sa composition des produits chimiques tels que des antifongiques ou chloriques, le tout nuisant aux espèces marines. [24]

En effet, la saumure rejetée dans la mer a de nombreuses répercussions sur la vie aquatique :

1) Augmentation de la Salinité :

La saumure ayant une concentration saline plus élevée que l'eau de mer, son rejet dans celle-ci va induire une augmentation de la salinité de manière localisée, affectant la faune et la flore marine.

Effets sur la Biodiversité Marine :

Il est important de noter que les écosystèmes marins sont adaptés à une certaine salinité, qui est stable dans le temps. Une augmentation instantanée de cette dernière due au rejet de la saumure peut causer un stress osmotique chez les organismes marins. Cela peut amener à une diminution de la diversité biologique, car seules les espèces s'adaptant à des niveaux de salinité plus élevés survivront.

Les espèces n'ayant pas la capacité de se mouvoir sont particulièrement vulnérables, comme les coraux, les plantes, ou encore certains invertébrés benthiques.

Impacts sur les écosystèmes côtiers :

Les mangroves, les marais salants et les herbiers marins sont des habitats côtiers pouvant être affectés par une hausse de salinité. Ces habitats sont des lieux essentiels à la survie de nombreuses espèces marines car ce sont des sites de reproduction. Ils permettent également la protection des côtes contre l'érosion et l'absorption du CO₂. Une dégradation de ces zones peut donc entraîner des répercussions en cascade sur la biodiversité marine. [25]

2) Hausse de la température :

Il est important de noter que même si la température de la saumure produite par un dessalement thermique comme la distillation multi-étages (MED) ou le flash multi-étages (MSF) sera plus élevée que celle de l'eau de mer c'est aussi le cas pour des procédés de dessalement par osmose inverse (RO), dans lequel elle peut être réchauffée par les pompes et les processus de transfert d'énergie.

La saumure est rejetée à une température supérieure à celle de l'eau de mer, provoquant une hausse locale de la température de l'eau de mer environnante. Cela engendre ainsi plusieurs risques pour les organismes marins :

- Des chocs thermiques, car les organismes marins sont adaptés à des températures qui évoluent peu.
- Une migration des espèces : le changement de température peut pousser certaines espèces à migrer vers des eaux plus froides, ce qui peut déséquilibrer les écosystèmes et créer des conflits entre les espèces autochtones et celles qui ont migré.
- Une modification des cycles de vie : ces derniers sont souvent rythmés par la température de l'eau.
- Une disparition des coraux, de planctons et de nombreux poissons. [26]
- Une hypoxie : la température de l'eau étant corrélée avec sa capacité à contenir de l'oxygène, plus celle-ci augmente et plus sa capacité à contenir du dioxygène diminue créant un risque de suffocation pour les espèces marines. [27]

3) La Pollution des eaux

Le processus de dessalement, celui d'osmose inverse entre autres, utilise des produits chimiques afin de minimiser le problème d'encrassement des membranes. Ces produits une fois utilisés, se retrouvent dans la saumure, et peuvent être :

- Les acides et les bases : elles sont utilisées afin d'ajuster le pH de l'eau alimentant le système pour préserver au mieux le matériel.
- Les biocides : ils sont utilisés afin d'empêcher le développement d'algues et de micro-organismes pour protéger les membranes.
- Les anti-scalants : ils aident à prévenir la formation de tartre, qui peut bloquer les systèmes.
- Les agents de coagulation : ils aident à rassembler et éliminer les particules en suspension dans l'eau.

Le chemin des polluants dans l'environnement :

Une fois rejetés dans la mer, ces produits vont être néfastes à plusieurs échelles :

- La toxicité directe, ce qui inclut les dommages causés par l'exposition à ces produits même à faible concentration, pouvant entraîner des maladies ou la mort d'organismes. Les organismes intoxiqués rentrent dans la chaîne alimentaire, impactant celle-ci ce qui peut entraîner des répercussions en chaîne.
- Ensuite, même si les organismes survivent à l'intoxication, les produits ou sous-produits une fois métabolisés, peuvent s'accumuler dans les tissus et provoquer des maladies, nuisant à la survie de l'espèce.
- Enfin, le déversement de biocides dans la mer va faciliter la sélection et l'émergence de souches microbiennes résistantes aux antibiotiques. [28]

4) Conséquences sur les sédiments marins

La saumure, étant plus saline que l'eau de mer, elle possède une densité plus importante que cette dernière ce qui a pour conséquence qu'elle va couler et s'accumuler dans les fonds marins, ce qui va influencer les fonds marins.

Premièrement, la densité de la saumure va avoir pour effet de créer une couche qui va limiter l'échange d'oxygène entre les sédiments et l'eau, pouvant provoquer l'asphyxie de la faune benthique.

Deuxièmement, l'accumulation et la stagnation de cette saumure va modifier les flux sédimentaires ainsi que la topographie des fonds marins. Enfin, la modification de ces sédiments peut provoquer la libération de polluants qui étaient contenus à l'intérieur. Il peut s'agir par exemple de métaux lourds qui deviennent ainsi biodisponibles et peuvent alors intoxiquer la faune marine. [29]

Des solutions pour limiter cet impact

Aujourd'hui de plus en plus de pays font une transition écologique pour limiter leur impact sur l'environnement. Cela permet donc à chacun de chercher des solutions contre la pollution des différentes usines notamment celles d'énergie, et par procuration les usines de dessalement qui sont fortement énergivores.

En plus de cela, différents projets ont vu le jour afin d'essayer de mettre en place une agriculture ainsi qu'une aquaculture alimentée par de la saumure afin de limiter son rejet dans la mer. Les résultats sont plutôt encourageants pour deux espèces de poissons notamment, *Sparidentex hasta* (dorade sobaity) et *Oreochromis spilurus* (tilapia) qui en quatre mois, ont vu leur poids augmenter de 200% et leur taille de 60%. [30] Cette solution permettrait de réduire l'impact de la saumure sur les mers dans lesquelles elle est rejetée tout en améliorant le rendement de certaines cultures et élevages.

Il existe également d'autres solutions qui pourraient être mises en place afin d'atténuer les impacts environnementaux de la saumure comme la dilution de celle-ci avec de l'eau de mer ou des eaux déjà utilisées dans d'autres processus, en extraire le sel puis l'utiliser dans l'industrie. [31]

On pourrait aussi mettre en place des systèmes de refroidissement ou des systèmes d'échanges de chaleur pour réduire sa température.

Pour ce qui est de l'utilisation des produits chimiques, il faudrait augmenter l'utilisation de technologies qui nécessitent moins ou pas de produits polluants comme les membranes autonettoyantes [32] ou les traitements UV. [33]

Quant aux problèmes liés aux sédiments, il faudrait étudier les sites dont la topographie permet une meilleure dispersion de la saumure afin d'en limiter la stagnation et les dépôts.

Enfin certains s'opposent au dessalement ou à l'installation de nouvelles usines de dessalement, car ils estiment qu'en optimisant les réseaux de distribution de l'eau, la diminution de la perte d'eau pourrait répondre à la demande en eau. Par exemple Ken Livingstone, l'ancien maire de Londres s'était opposé à un projet de construction d'une usine de dessalement sur la Tamise. Cette dernière n'apporterait que pollution au sein des eaux du fleuve. Alors qu'en réparant les fuites présentes dans le système de distribution d'eau de la ville c'est près de 915 000 m³ d'eau par jour qui serait économisés. [34]

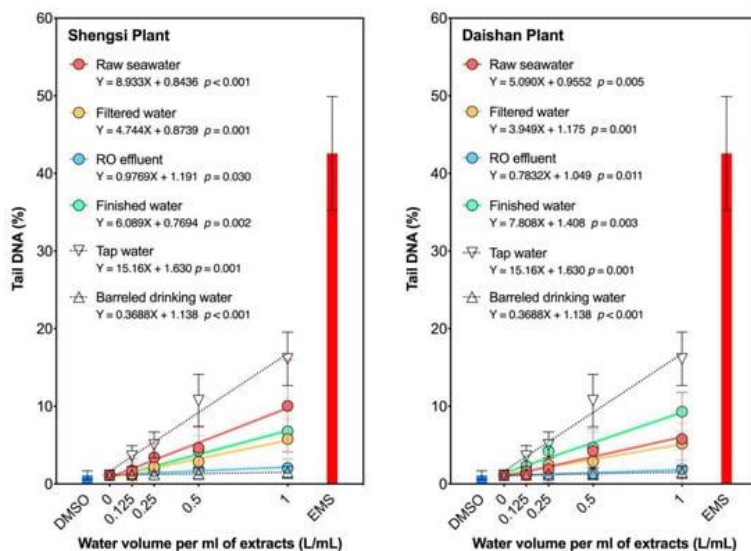
Enjeux sanitaires

L'eau de mer, une eau plus saine ?

L'eau de mer présente une forte concentration en brome et iodure pouvant provoquer la formation de sous-produits de désinfection (SPD). Ces SPD se retrouvent dans les systèmes de production et de distribution d'eau potable. Or, ils possèdent une cytotoxicité élevée qui, suite à une consommation à long terme peut entraîner l'apparition de tumeurs/cancers et parfois même la mort. Il est donc crucial d'évaluer la qualité de l'eau désalinisée avant qu'elle entre dans les foyers.

Souvent, les paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau ne permettent pas à eux seuls de visualiser leur(s) effet(s) sur les organismes. Il est nécessaire de mesurer ces potentiels changements à l'échelle cellulaire voire génotypique. Les essais biologiques utilisés analysent différents paramètres génétiques comme les mutations ou les aberrations chromosomiques.

Une étude a été menée sur deux usines de dessalement par osmose inverse en Chine : l'usine de Shengsi et l'usine de Daishan. Des échantillons d'eau de mer, d'eau filtrée, d'effluents des usines, d'eau désalinisée, d'eau du robinet et d'eau en bouteille ont été comparés via la technique d'électrophorèse sur gel unicellulaire (SCGE). Cette méthode utilise des cellules eucaryotes et plus précisément leur ADN pour détecter les dommages à l'ADN. Les résultats obtenus sont observables sur la figure [...] [35]



©[36] Schéma de la génotoxicité d'échantillons d'eau

La génotoxicité des échantillons d'eau de différents volumes a été évaluée en mesurant le pourcentage d'ADN de queue (tail DNA%). Une équation de régression linéaire a été utilisée pour décrire la relation entre le volume de l'échantillon d'eau et sa génotoxicité. La pente de la ligne (valeur m) a été utilisée pour quantifier la génotoxicité par unité de volume des échantillons d'eau.

L'eau du robinet provenait du laboratoire de l'Université de Xiamen, tandis que l'eau en bouteille provenait d'une marque disponible dans le commerce.

Les scientifiques ont constaté que les échantillons d'eau filtrée et traitée issues de la désalinisation présentaient une génotoxicité plus importante que l'eau en bouteille ou l'eau de mer, dans le cas de l'usine de Daishan. En revanche, la génotoxicité des effluents de l'osmose inverse, autrement dit, la saumure, était relativement faible. Ce résultat suppose que les procédés et traitements employés dans l'osmose inverse éliminent activement les éléments mutagènes de l'eau.

Enfin, les niveaux de génotoxicité de tous les échantillons d'eau étaient inférieurs au niveau de génotoxicité de l'eau courante qui entre déjà dans notre consommation. Ceci suggère que la génotoxicité de l'eau de mer dessalée est relativement faible. Des expérimentations supplémentaires ont aussi révélé que la génotoxicité par unité de volume diminuait après filtration et traitement qui sont des techniques utilisées en osmose inverse. Cependant, elle augmentait après l'ajout de chlore. Les scientifiques ont donc émis l'hypothèse que les méthodes d'osmose inverse pouvaient réduire la génotoxicité de l'eau de mer tandis que la chloration pouvait l'augmenter. [35]

Le danger de la faible composition minérale

Une autre expérience menée au Qatar a étudié les risques pour la santé liés à la consommation d'eau dessalée à long terme. Les propriétés physico-chimiques, l'apport d'anions, de carbonates et des principaux oligo-éléments présents dans l'eau ont été mesurés dans des échantillons d'eau en bouteille provenant d'usine de dessalement et d'usine de traitement des eaux. Les échantillons ont ensuite été triés et comparés en fonction de leur origine.

Les premiers résultats affirment que la consommation d'eau dessalée est sans danger, concernant la teneur en minéraux majeurs. Au contraire, la consommation d'eau dessalinisée diminuerait l'exposition aux métaux lourds tels que l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr) ou encore le plomb (Pb). Ces éléments ont la « particularité de pouvoir s'accumuler dans l'organisme ». [37] Lorsque la dose seuil est atteinte, ces métaux entraînent des conséquences néfastes affectant principalement nos systèmes neurologiques, immunologiques, hépatiques ainsi que nos appareils reproducteurs.

Néanmoins, les résultats soulignent un apport insuffisant en calcium (Ca), magnésium (Mg) et en ions fluorure (F-) dans l'eau dessalée, accentuant le risque de carence. Selon l'IOM (Institute of Medicine) L'eau dessalée apporterait respectivement 3%, 5 à 6%, et 4% de la dose de calcium, magnésium, et fluorure recommandée. Or, ces atomes sont essentiels dans de nombreuses fonctions biologiques. Le calcium, par exemple, joue un rôle dans la contraction musculaire, la minéralisation du squelette, la coagulation sanguine, la libération d'hormones ou encore l'activation d'enzymes [38]. D'après l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) « l'eau potable contribue entre 1 et 5% à l'apport alimentaire total de plusieurs micronutriments. La contribution est beaucoup plus élevée pour le Ca et le Mg, jusqu'à 20%, ainsi que pour le F-, jusqu'à 80% des besoins alimentaires quotidiens » [39].

Les scientifiques craignent l'augmentation de cardiopathie ischémique (IHD), de diabète sucré (DM) et de cancer colorectal (CCR) associée à cette hypomagnésémie. Une étude a donc été menée de 2004 à 2013 sur la population israélienne. Les constats révélaient une hausse d'IDH, mais les risques de DM et CRR étaient immuables. Cependant, ces deux derniers résultats sont insuffisants pour valider l'absence de corrélation entre le manque de magnésium et l'IDH ou le DM. Nous avons besoin d'études à plus long terme afin de confirmer ces hypothèses car ces deux pathologies se développent progressivement.

Les carences en minéraux ont bien plus de conséquences sur les enfants qui en ont besoin pour leur croissance. 40% de la masse osseuse totale se forme au cours de l'adolescence. Une alimentation trop pauvre en calcium durant cette période augmente donc le risque de fracture osseuse et d'ostéoporose à l'âge adulte [40]. Le rachitisme chez l'enfant et l'ostéoporose chez les femmes adultes sont également liés au manque de calcium. [41] Il en est de même pour les carences en magnésium, qui entraîne une diminution de la fonction pulmonaire, surtout chez les enfants affectés par l'asthme ou d'autres maladies respiratoires. Il a même été démontré que la faible teneur en magnésium dans l'eau était associée à un risque important d'infarctus aigu du myocarde. En effet, une augmentation de 1 mg/L de la teneur en magnésium dans l'eau potable diminuerait ce risque de 4,6% [42–44].

Les populations consommant majoritairement de l'eau dessalée s'exposent alors à de nombreuses carences et aux maladies associées. C'est le cas d'Israël, l'un des plus gros producteurs d'eau issue d'usines de dessalement. Aujourd'hui, l'eau produite en usine de désalinisation représente plus de 50% de l'eau consommée dans le pays [45]. En 2011, l'OMS a soumis un rapport sur l'eau potable stipulant que l'eau dessalée pauvre en minéraux et destinée à l'alimentation, devrait être enrichie en sel de magnésium après désalinisation. Toutefois, les éventuelles conséquences de cette reminéralisation sur les propriétés physico-chimiques de l'eau et/ou sur notre organisme n'ont jamais été étudiées. De plus, l'eau ne représente que 7,5 à 17% de l'apport quotidien en magnésium. Par conséquent, la priorité israélienne est de déterminer s'il est indispensable de rétablir cette source qui ne représente qu'1/5 de nos besoins, ou s'il est envisageable de compenser cette perte avec d'autres nutriments [46].

En 2007, le Comité Adin (composé d'experts), recommande l'ajout de calcium dans l'eau dessalée et conseille la surveillance des effets secondaires à long terme dû à la concentration faible en magnésium dans l'eau dessalée. Le calcium est aujourd'hui ajouté à l'eau dessalée, mais pas le magnésium. Pourtant, ce minéral est indispensable à plus de 300 procédés métaboliques, concernant « la production d'énergie, la synthèse des protéines et des acides nucléiques, la régulation du tonus vasculaire et la sensibilité à l'insuline » [47].

Cette lacune de magnésium dans l'eau de mer dessalée expose la population à un risque accru d'hypertension, d'arythmie cardiaque, d'athérosclérose, de diabète et de cancer colorectal. En 2014, cinq scientifiques ont démontré une diminution du taux de létalité à cause de maladies cardiovasculaires dans une province iranienne. Ces observations font suite à l'ajout de magnésium dans l'eau dessalée et consommée pendant un an [48].

Par ailleurs, chaque pays dispose d'un cahier des charges différents. La concentration exigée en minéraux dans l'eau dessalée n'est donc pas la même en France et au Qatar par exemple. Une étude a alors comparé la composition de différents échantillons d'origines variées. Les analyses ont révélé de nombreuses différences significatives entre les échantillons. Les concentrations de solides dissous totaux (STD) et de béryllium (Be) des échantillons provenant d'Allemagne étaient plus élevées. Les échantillons français et anglais contenaient respectivement des concentrations moyenne d'arsenic (As) et de nitrate plus élevé tandis que les échantillons écossais affichaient des niveaux de pH moyens beaucoup plus faibles. Ces résultats confirment donc l'intérêt de globaliser les réglementations afin de rendre les conclusions d'expériences plus fiables [39].

Par conséquent, les techniques de dessalement éliminent efficacement de nombreux éléments qui en trop grande quantité pourrait être nocifs. Le dessalement de l'eau contribuerait donc à diminuer le risque d'exposition à des contaminants. D'un autre côté, ces procédés de désinfection rendent l'apport en nutriments essentiels médiocres. Ces carences entraînent donc de nombreux risques pour la santé des populations dépendantes de l'eau désalinisée.

Nous ne disposons actuellement que d'études de cas qui semblent pour la plupart assez récentes. Certains risques sanitaires sont donc connus, quand d'autres n'ont pas encore été analysés.

Cette méconnaissance des conséquences de ce nouveau mode de consommation serait à étudier davantage afin de pouvoir l'envisager comme une réelle solution future. De même, il est intéressant de s'interroger sur les risques que représentent la faune impactée par les saumures. En effet, les poissons pourraient s'acclimater à ces changements physico-chimiques et avoir des effets bénéfiques et/ou néfastes sur nos organismes en entrant dans notre alimentation.

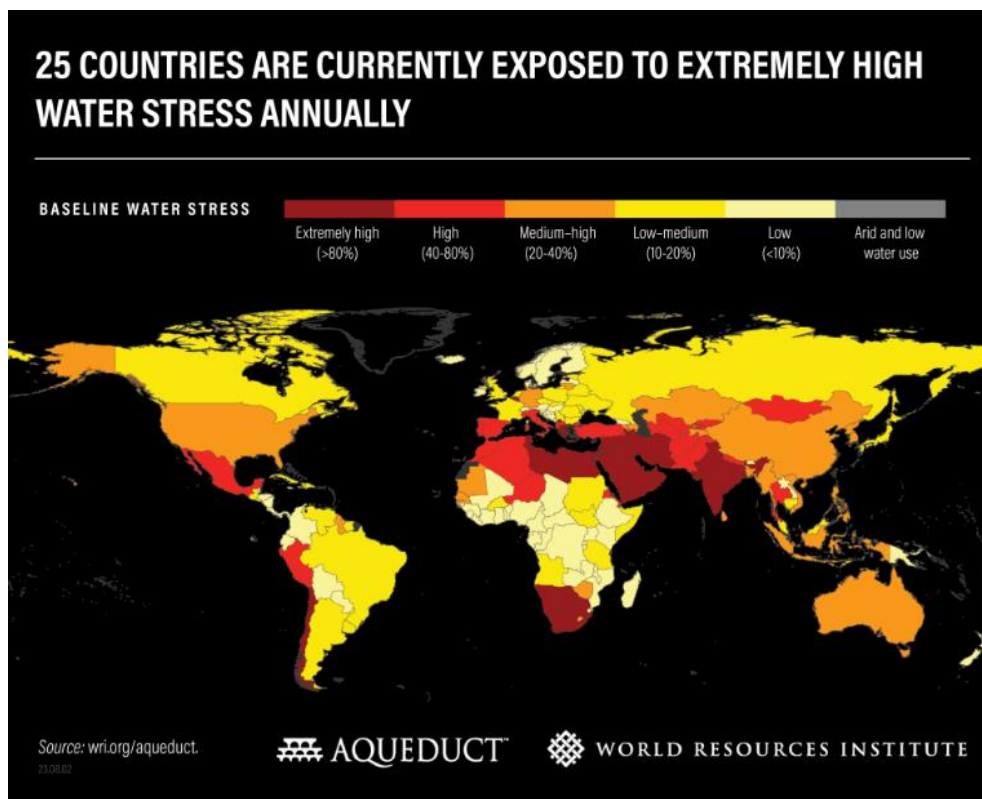
Enjeux géopolitiques

Depuis toujours l'eau est une source de tension entre les pays, l'eau est source de vie et permet par conséquent le développement des pays. En effet l'eau est vitale, elle est utilisée quotidiennement dans de nombreux domaines : la vie domestique, l'agriculture ou encore dans l'industrie. On compte près de 40% de la population répartie sur les 250 bassins fluviaux transfrontaliers de la planète. Obligeant un partage de cette ressource pour la survie de tous les pays. [49].

Tensions pour cet accès

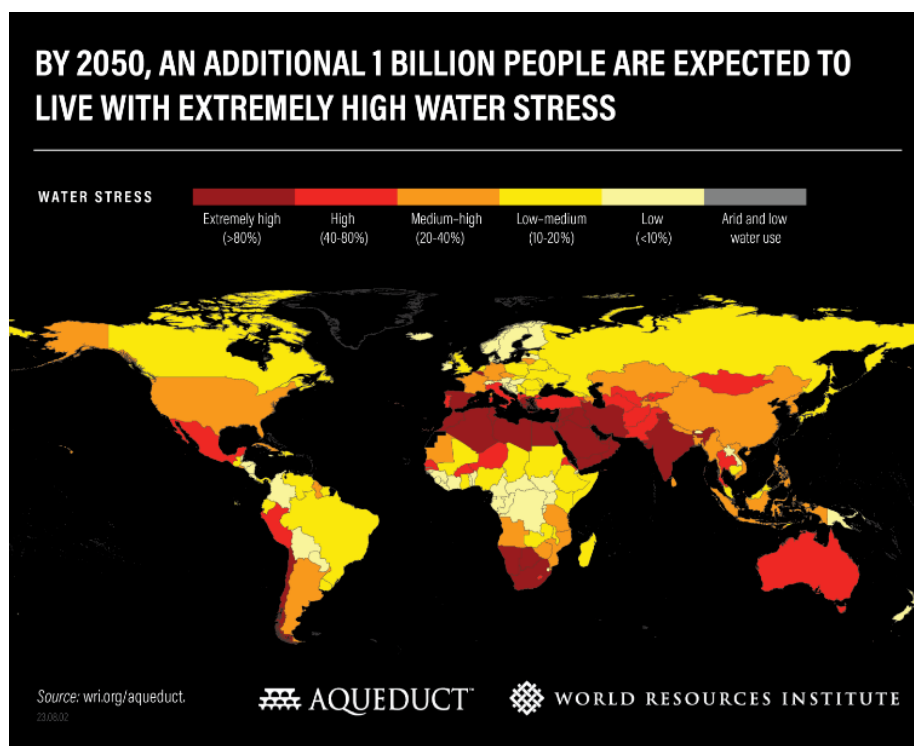
L'accès à l'eau est un sujet très important aujourd'hui car avec le réchauffement climatique que nous connaissons, un grand nombre de pays risquent de se retrouver dans une situation de stress hydrique dans le futur. On peut même parler de stress hydro-politique.

En effet, 25 pays abritant un quart de la population mondiale sont en situation de stress hydrique très élevé chaque année. Sachant qu'environ 4 milliards de personnes font face un mois dans l'année à des conditions de stress hydrique élevées [50].



©[50] Situation actuelle du stress hydrique

De plus, les prévisions pour l'horizon 2050 ne sont pas en faveur du monde surtout pour le bassin méditerranéen [50].



©[50] Prévisions du stress hydrique à l'horizon 2050

Le dessalement de l'eau peut d'un côté permettre de calmer ces tensions frontalières en offrant un moyen de prévenir le stress hydrique, mais il peut également en engendrer avec les pays n'ayant pas les moyens de s'offrir suffisamment d'usine pour que tous leurs habitants puissent avoir accès à de l'eau douce en quantité suffisante pour parvenir à leurs besoins.

Les usines de dessalements sont également une cible importante et stratégique en cas de conflit car en cas de détérioration on prive le pays d'une ressource vitale. On retrouve divers exemples dans les cyberattaques de 2020 envers l'Arabie Saoudite et Israël [51]. Si la deuxième n'avait pas été détectée à temps les eaux du pays auraient été polluées par de nombreux produit chimiques empoisonnant toute la population.

Les tensions ne sont pas uniquement entre les pays, on peut en retrouver entre différents groupes au sein d'un même pays. En effet au Chili par exemple, les usines de dessalement sont principalement utilisées dans l'industrie minière, pour pallier les ressources hydriques limitées du pays. Les problèmes qui en découlent sont que les mines étant proches de territoires autochtones, ces derniers ne sont pas toujours en accord avec ces installations qui contaminent leur environnement. Pour tenter de limiter ces conflits, les entreprises cherchent à trouver un accord avec les populations locales en leur offrant du travail ou en leur offrant une compensation financière. Mais ces stratégies ne fonctionnent pas toujours empêchant ou limitant la construction des usines. [52]

Au Chili toujours, la question d'utiliser les usines de dessalement se pose encore car il s'agit d'un pays très en hauteur et donc éloigné du niveau de la mer entraînant un important coût de transport en plus du coût énergétique pour transformer l'eau.

Il n'y a pas que les populations qui s'indignent et refusent l'installation des usines de dessalement. On retrouve parmi les opposants différentes ONG notamment au niveau de la bande de Gaza, le Palestinian Hydrology Group et Applied Research of Jerusalem relèvent différents problèmes quant à l'installation d'une usine sur ce territoire. Notamment concernant la gestion de cette usine, relèverait-elle du secteur privé ou du secteur public en étant financée par les municipalités et le gouvernement. La question qui se pose est donc de savoir qui aurait la main mise sur cette eau et combien cela coûterait à la population palestinienne. Cette opposition peut également être purement stratégique de la part de ces organisations qui prennent peur face à l'engouement que provoque l'idée d'installer une usine de dessalement. En effet ce projet ne leur permet pas de développer plus en profondeur leurs propres idées pour lutter contre le stress hydrique de la zone. Idées qui pourraient leur apporter des bénéfices et une certaine légitimité auprès du gouvernement et du public. [53]

D'autres organisations rassemblées sous le nom de l'Emergency Water Sanitation and Hygiene (EWASH), restent plus favorables au projet permettant d'alimenter toute la bande de Gaza en eau. Malgré quelques réticences notamment au sujet de l'isolation de la zone qui serait d'autant plus dépendante d'Israël. Du fait du coût énergétique important de cette usine, que la bande ne peut produire, les populations gazaouis seraient vulnérables à la volonté des Israéliens à leurs fournir de l'électricité. Le dernier point qui est soulevé est l'impact environnemental d'une telle usine, les ressources halieutiques seraient bouleversées et encore une fois la bande de Gaza perdrait en indépendance et devra importer toutes les ressources nécessaires à la survie du pays. [53]

On peut également retrouver aux Etats-Unis des associations trouvant uniquement de points négatifs à l'installation des usines de dessalement et s'opposant au gouvernement. En effet, Food, Water and Watch une association ayant pour objectif de proposer de la nourriture saine et de l'eau potable à tous, annonce que le coût de production de l'eau dessalé se répercute sur le prix de la facture en eau des personnes à proximité d'une usine. D'après leurs chiffres l'approvisionnement en eau serait 73% plus chère si elle vient d'une usine de dessalement. Ils expriment également leur désaccord concernant la privatisation des usines de dessalement, qui seraient moins transparentes sur leur manière de faire moins responsable envers leurs contribuables. Cela se démontre par l'exemple du secteur de San-Diego dans lequel près de 62% des populations les plus démunies vivraient dans une zone avec des factures très coûteuses. Cela démontre qu'aux Etats-Unis l'eau dessalée n'est pas un moyen pour lutter contre la précarité en eau de certain, mais juste pour approvisionner les plus riches en eau. [54]

Accès à l'eau globalisé

Le stress hydrique impose à tous les états de revoir leur manière de préserver l'eau et de prévenir aux besoins de tous leurs habitants, près de deux tiers de la planète serait dans cette situation d'ici 2025 d'après L'ONU [55] . Cette situation entraîne une nette augmentation en proposant environ 21 000 usines de dessalement dans le monde en 2022 [55].

Avec ce fort développement des techniques de désalinisation l'accès à l'eau est d'autant plus globalisé, c'est la fin de l'hégémonie des pays situés en amont des fleuves et rivières qui peuvent à tout moment interrompre son cours empêchant les pays en aval d'y avoir accès, leurs offrant ainsi une sécurité hydrique.

La sécurité hydrique a été définie lors de la première conférence sur la sécurité hydrique en 2018 à Toronto comme étant basé sur trois variables : « la quantité d'eau disponible, la qualité de l'eau disponible et le timing d'approvisionnement » de cette eau [56].

La création du projet "Independent water and power plants" vise à proposer des bâtiments liant usine de dessalement et usine de production d'électricité (énergie renouvelable) incitant les pays à investir dedans pour poursuivre le développement de ces énergies propres. Afin de suivre ces avancés, tous les états doivent sans cessent chercher l'entreprise qui proposera des usines "plus écologiques, plus économes, plus compactes, mais surtout plus numérisées" [51], le tout en proposant des processus à moindre coût, pour permettre l'accès à l'eau au plus grand nombre.

Ce sujet a été traité lors de la Conférence des Nations Unies sur l'eau comme étant l'une des nombreuses solutions pour lutter contre le stress. Les différents pays ont principalement mis en place différentes mesures pour permettre l'accès à l'eau au maximum de personnes sur Terre.[57]

CONCLUSION

Pour conclure ce rapport, le dessalement de l'eau est une technique controversée avec son lot d'avantage et d'inconvénients répartis entre différents enjeux qui sont entièrement liés les uns aux autres.

Économiquement, le dessalement de l'eau est une ouverture vers un nouveau marché et de nouvelles innovations. Cette méthode comprend pour son installation, un investissement de départ assez élevé par rapport à d'autres techniques de production/économie d'eau. Elle offre cependant une solution simple pour lutter contre le stress hydrique et ne nécessite pas d'autres investissements futurs que l'entretien des usines.

Cependant, le marché de l'eau, s'il n'est pas surveillé par les puissances mondiales ou les gouvernements, peut lier à des dérives. En effet, différentes entreprises peuvent privatiser ce bien vital, entraînant une flambée des prix de l'eau ou même une négligence sur les autres aspects néfastes du dessalement.

Dans un second temps, nous pouvons évoquer le fait que, nécessitant beaucoup d'énergie, le dessalement de l'eau est un procédé conduisant à l'émission de beaucoup de dioxyde de carbone, gaz principalement responsable du réchauffement climatique. Cette situation engendre un cercle vicieux car ce réchauffement est responsable de l'augmentation stress hydrique à travers la planète, raison de l'essor des techniques de dessalement. Afin de palier ce phénomène néfaste, différents pays tentent de plus en plus d'utiliser des énergies renouvelables.

Nous pouvons également aborder le fait que cette méthode, bien que produisant de l'eau potable rejette également de la saumure entraînant une pollution des océans et une destruction des écosystèmes. Heureusement différentes techniques sont mises au point afin de lutter contre ces dégradations de l'environnement.

Un autre point important qui en découle, est l'impact sanitaire que peut avoir le dessalement de l'eau sur l'Homme. En effet, l'eau dessalée a besoin d'être reminéralisée avant de pouvoir être consommé sans risque, d'un côté cela permet de limiter l'ingestion de différents métaux lourds mais de l'autre les composants ajoutés à l'eau produite ne sont pas suffisants pour assurer la croissance saine d'un enfant ou la pleine santé d'un individu. De plus, les normes à ce sujet sont différentes d'un pays à l'autre et donc une eau avec différents composants pour chaque pays. Il serait donc intéressant de créer une norme internationale qui convienne à la santé du plus grand nombre. Il est également crucial de considérer les impacts sur la faune marine, notamment sur les espèces qui entrent dans la chaîne alimentaire humaine.

Des différents points exprimés précédemment découle un impact géopolitique, en effet la pollution due à la saumure impacte les ressources halieutiques des différents pays frontaliers et peut entraîner des tensions à ce sujet. On peut également évoquer le fait que cela fait augmenter le nombre de pays indépendants pour se fournir en eau potable. Cela s'explique par le fait qu'à l'origine les pays situés en amont des différents cours d'eau pouvaient contrôler les arrivées d'eau dans les pays situés en aval, maintenant ces derniers à condition d'être au bord de mer ont également un moyen de se fournir en eau. Les tensions ne sont pas uniquement entre pays, certaines populations sont contre ces installations de peur que les coûts de facture augmentent, car cela détruit une partie de leur habitat ou parce que le projet n'exprime pas clairement si les usines seront privées ou publiques.

De manière globale, le dessalement de l'eau se présente comme une solution miracle pour permettre l'accès à l'eau de manière générale et lutter contre le stress hydrique. Malgré cela, il existe d'autres méthodes tout aussi efficaces et moins contraignantes. L'optimisation des différents réseaux de distribution afin de limiter les pertes liées aux fuites, utilisation du goutte-à-goutte en agriculture ainsi que le recyclage des eaux usées ou des eaux de pluie.

Le dessalement est donc un remède de dernier recours, si aucune des autres techniques citées précédemment ne convient. Le marché de la recherche est également un moyen à évoquer, mais c'est une solution plus coûteuse et prenant plus de temps, mais qui finalement peut donner de meilleures technologies pour le futur.

Bibliographie

1. « mangrove - Définitions, synonymes, conjugaison, exemples | Dico en ligne Le Robert ». Consulté le 15 novembre 2023. <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/mangrove>.
2. « benthique - Définitions, synonymes, conjugaison, exemples | Dico en ligne Le Robert ». Consulté le 15 novembre 2023. <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/benthique>.
3. Cytotoxicité : définition et explications, AquaPortail. Consulté le 19 novembre 2023. <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/2103/cytotoxicite>
4. AquaPortail. « Génotype : définition et explications ». Consulté le 15 novembre 2023. <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/3427/genotype>.
5. « Oligo-élément ». In *Wikipédia*, 15 août 2023. Consulté le 15 novembre 2023. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Oligo-%C3%A9l%C3%A9ment&oldid=206955020>.
6. Cardiopathie ischémique : c'est quoi, quels traitements ? (n.d.). <https://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=cardiopathie-ischemique-est-quoi-traitements>
7. « Tout savoir sur l'eau douce | Centre d'information sur l'eau », 2 juillet 2019. Consulté le 3 novembre 2023. <https://www.cieau.com/connaître-leau/leau-dans-la-nature/eau-douce-tout-savoir/>.
8. Gaudiaut, Tristan. « Infographie: Pénurie d'eau : les pays qui seront les plus affectés à l'horizon 2040 ». Statista Daily Data, 21 mars 2022. Consulté le 20 octobre 2023. <https://fr.statista.com/infographie/27079/penurie-eau-projections-niveau-de-stress-hydrique-par-pays-dans-le-monde>.
9. « Dessalement post traitement: reminéralisation ». Consulté le 16 novembre 2023. <https://www.lenntech.fr/procedes/dessalement/post-traitement/dessalement/remineralisation.htm>
10. Corine Cabassud. « Le dessalement des eaux, quand l'utiliser et à quel prix ? | Connaissances des énergies », 30 juin 2023. Consulté le 13 octobre 2023. <https://www.connaissancesdesenergies.org/tribune-actualite-energies/le-dessalement-des-eaux-quand-lutiliser-et-quel-prix>
11. Valo, Martine. Le Monde. « Dessalement de l'eau : l'ONU alerte sur les quantités de saumure déversées », 14 janvier 2019. Consulté le 9 octobre 2023. https://www.lemonde.fr/planete/article/2019/01/14/dessalement-de-l-eau-l-onu-alerte-sur-les-quantites-de-saumure-deversees_5409002_3244.html
12. BANDELIER, Philippe. « LE DESSALEMENT D'EAU DE MER ET DES EAUX SAUMÂTRES ». *Encyclopédie de l'énergie*, 29 novembre 2016. Consulté le 20 octobre 2023. <https://www.encyclopedie-energie.org/le-dessalement-deau-de-mer-et-des-eaux-saumatres/#:~:text=Pour%20dessaler%20de%20l'eau,et%20%20kWh%20Fm3>.
13. « Historique du dessalement, situation actuelle et perspectives de développement - RO AGUA Water Treatment Solutions », 25 octobre 2022. Consulté le 3 novembre 2023.

- <https://www.roagua.com/fr/news/history-of-desalination-current-situation-and-future-development-prospects/>
14. Polymem. « OI les fondamentaux ». Consulté le 18 novembre 2023. <https://www.polymem.fr/produits/membranes/oi-les-fondamentaux/>.
 15. Ministère de l'Éducation nationale, « Épreuve de sciences du DNB », Janvier 2018. Consulté le 18 novembre 2023. <https://eduscol.education.fr/document/20374/download>
 16. « Electrodialyse - Lenntech ». Consulté le 18 novembre 2023. <https://www.lenntech.fr/electrodialyse.htm>.
 17. ResearchGate. « Figure 4 : Schéma Du Système de Dessalement MSF (KSB AG, Germany,... » Consulté le 18 novembre 2023. https://www.researchgate.net/figure/schema-du-systeme-de-dessalement-MSF-KSB-AG-Germany-2016-Leau-dalimentation-est_fig3_344726174.
 18. Veolia. « Dessalement de l'eau de mer | Veolia ». Consulté le 13 octobre 2023. <https://www.veolia.com/fr/dessalement-leau-mer>
 19. Antoine ORSINI. « Le dessalement d'eau de mer, une fausse bonne idée », 5 mars 2023. Consulté le 13 octobre 2023. <https://www.ulevante.fr/le-dessalement-deau-de-mer-une-fausse-bonne-idee/>.
 20. Akli, Samia, et Slimane Bedrani. « Produire de l'eau Par Le Dessalement Ou En l'économisant Grâce a l'adoption de l'irrigation Localisée ? » *Les Cahiers Du Cread* 96 (2011): 51-70. <https://revue.cread.dz/index.php/les-cahiers-du-cread/article/view/325/222>
 21. Sia Partners. « Dessalement de l'eau de mer : des évolutions nécessaires pour accompagner l'essor du secteur », 4 octobre 2023. Consulté le 13 octobre 2023. <https://www.sia-partners.com/fr/publications/publications-de-nos-experts/dessalement-de-leau-de-mer-des-evolutions-necessaires-pour>
 22. M. Tignino, D. Yared, La commercialisation et la privation de l'eau dans le cadre de l'Organisation mondiale du commerce, *Revue québécoise de droit international*. 19 (2006) 159–195. <https://doi.org/10.7202/1069110ar>.
 23. « Géopolitique du dessalement d'eau de mer », septembre 2022. Consulté le 4 octobre 2023. <https://www.ifri.org/fr/publications/etudes-de-lifri/geopolitique-dessalement-deau-de-mer>
 24. Reporterre. « Dessaler l'eau de mer : fausse solution, vraie catastrophe écologique », 19 avril 2023. Reporterre, le média de l'écologie. Consulté le 2 octobre 2023. <https://reporterre.net/Dessaler-l-eau-de-mer-fausse-solution-vraie-catastrophe-ecologique>
 25. Jones, Edward, Manzoor Qadir, Michelle T.H. Van Vliet, Vladimir Smakhtin, et Seong-mu Kang. « The State of Desalination and Brine Production: A Global Outlook ». *Science of The Total Environment* 657 (mars 2019): 1343-56. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>.
 26. Dessalement de l'eau de mer en Méditerranée, UNEP, (2003), ISBN : 92 807 2379 0, <https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/1825/retrieve>

27. « Influence sur la température et la teneur en oxygène dissous de l'eau ». Consulté le 19 novembre 2023. <https://123dok.net/article/influence-temp%C3%A9rature-teneur-oxyg%C3%A8ne-dissous-l-eau.oz1059vq>.
28. Palomar, Pilar, et I.J. Losada. « Impacts of Brine Discharge on the Marine Environment. Modelling as a Predictive Tool », 2011. <https://doi.org/10.5772/14880>.
29. « Contribution À L'étude Des Impacts Du Dessalement Des Eaux De Mer Sur L'environnement : Cas Du Littoral De Boumerdès ». Consulté le 19 novembre 2023. <https://theses-algerie.com/1545658819192757/memoire-de-magister/universite-m-hamed-bougara--boumerdes/contribution-%C3%A0-l-%C3%A9tude-des-impacts-du-dessalement-des-eaux-de-mer-sur-l-environnement-cas-du-littoral-de-boumerd%C3%A8s>.
30. « Influence sur la température et la teneur en oxygène dissous de l'eau ». Consulté le 19 novembre 2023. <https://123dok.net/article/influence-temp%C3%A9rature-teneur-oxyg%C3%A8ne-dissous-l-eau.oz1059vq>.
31. Sels de France – Acteurs et producteurs. « Sel & Industrie chimique ». Consulté le 19 novembre 2023. <https://www.selsdefrance.org/sel-en-pratique/sel-et-industrie-chimique/>.
32. Laurence, Tsiory. « Des chercheurs inventent une membrane autonettoyante « révolutionnaire » pour dessaler l'eau de mer ». *NeozOne* (blog), 6 octobre 2023. <https://www.neozone.org/innovation/des-chercheurs-inventent-une-membrane-autonettoyante-revolutionnaire-pour-dessaler-leau-de-mer/>.
33. « Traitement de l'Eau par UV : Avantages et Fonctionnement | Aqua-Techniques ». Consulté le 19 novembre 2023. <https://www.aqua-techniques.fr/traitement-eau-uv>.
34. WWF. « MAKING WATER Desalination: option or distraction for a thirsty world? », <http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/desalinationreportjune2007.pdf>
35. Zhang, Y., Xiao, Y., Xian, X., Wan, K., Yu, X., & Ye, C. (2023). Genotoxicity and Health Risk of Seawater Desalination Based on Reverse Osmosis: A Case Study of Two Seawater Desalination Plants in Zhoushan, China. *Water*, 15(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/w15132470>
36. Yongli Zhang, Yuhuan Xiao, Xuan Xuan Xian, Kun Wan, Xin Yu, Chengsong Ye, Juillet 2023 https://www.mdpi.com/water/water-15-02470/article_deploy/html/images/water-15-02470-g002-550.jpg
37. Alcimed. « Métaux lourds : quelles solutions pour réduire leur impact sur notre santé ? » Alcimed, 19 avril 2023. <https://www.alcimed.com/fr/les-articles-d-alcim/metaux-lourds-sante-solutions/>.
38. Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. « Le calcium : pourquoi et comment en consommer ? », 27 octobre 2022. <https://www.anses.fr/fr/content/le-calcium-pourquoi-et-comment-en-consommer>.

39. Rowell, Candace, Nora Kuiper, et Basem Shomar. « Potential health impacts of consuming desalinated bottled water ». *Journal of Water and Health* 13, n° 2 (9 décembre 2014): 437-45. <https://doi.org/10.2166/wh.2014.128>.
40. Greer, Frank R., Nancy F. Krebs, et Committee on Nutrition. « Optimizing Bone Health and Calcium Intakes of Infants, Children, and Adolescents ». *Pediatrics* 117, n° 2 (1 février 2006): 578-85. <https://doi.org/10.1542/peds.2005-2822>.
41. « Règlement sanitaire international (2005) ». Consulté le 18 novembre 2023. <https://www.who.int/fr/publications-detail/9789241580496>.
42. Chiuve, S. E., Sun, Q., Curhan, G. C., Taylor, E. N., Spiegelman, D., Willett, W. C., Manson, J. E., Rexrode, K. M., & Albert, C. M. (s. d.). Dietary and Plasma Magnesium and Risk of Coronary Heart Disease Among Women. *Journal of the American Heart Association*, 2(2), e000114. <https://doi.org/10.1161/JAHA.113.000114>
43. Kousa, A., Havulinna, A. S., Moltchanova, E., Taskinen, O., Nikkarinen, M., Eriksson, J., & Karvonen, M. « Calcium:Magnesium Ratio in Local Groundwater and Incidence of Acute Myocardial Infarction among Males in Rural Finland | Environmental Health Perspectives | Vol. 114, No. 5 ». Consulté le 19 novembre 2023. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.8438>.
44. Del Gobbo, L. C., Imamura, F., Wu, J. H., de Oliveira Otto, M. C., Chiuve, S. E., & Mozaffarian, D. (2013). « Circulating and dietary magnesium and risk of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis of prospective studies - ScienceDirect ». Consulté le 19 novembre 2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002916523051444?via%3Dihub>.
45. Spungen, Judith H, Rebecca Goldsmith, Ziva Stahl, et Ram Reifen. « Desalination of Water: Nutritional Considerations ». *The Israel Medical Association Journal* 15, n° 4 (1 avril 2013): 164-68. <https://europepmc.org/article/med/23781750>
46. Yermiyahu, U., Tal, A., Ben-Gal, A., Bar-Tal, A., Tarchitzky, J., & Lahav, O. (2007). « Rethinking Desalinated Water Quality and Agriculture | Science ». Consulté le 19 novembre 2023. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1146339>.
47. Guerrera, Mary P., Stella Lucia Volpe, et Jun James Mao. « Therapeutic Uses of Magnesium ». *American Family Physician* 80, n° 2 (15 juillet 2009): 157-62. [Therapeutic uses of magnesium - PubMed \(nih.gov\)](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19284444/)
48. Momeni, Mitra, Zahra Gharedaghi, Mohammad Mehadi Amin, Parinaz Poursafa, et Marjan Mansourian. « Does Water Hardness Have Preventive Effect on Cardiovascular Disease? » *International Journal of Preventive Medicine* 5, n° 2 (février 2014): 159-63. [Does water hardness have preventive effect on cardiovascular disease? - PubMed \(nih.gov\)](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25444444/)
49. CNRS. « Découvrir l'eau : situation mondiale ». Consulté le 29 octobre 2023. <https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/mondial/menuMondial.html>

50. « 25 Countries Face Extremely High Water Stress | World Resources Institute ». Consulté le 19 novembre 2023. <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>.
51. CESM. « Les usines de dessalement : nouveaux enjeux géopolitiques », juin 2020. Consulté le 5 octobre 2023. https://www.defense.gouv.fr/sites/default/files/cesm/BM235_Desalinisation.pdf
52. Walschot, Maureen. « Sécurité hydrique et dessalement : impact de la technologie sur les conflits d’usage entre industrie minière et communautés indigènes dans le nord du Chili », s. d, 2020. Consulté le 6 novembre 2023 (<https://cqegehiulaval.com/securite-hydrique-et-dessalement-impact-de-la-technologie-sur-les-conflits-dusage-entre-industrie-miniere-et-communaut-es-indigenes-dans-le-nord-du-chili/>)
53. Fustec, Klervi. « Qualifier la gestion de l’eau, se positionner par rapport au conflit : les cas de l’usine de dessalement dans la bande de Gaza et du canal entre la mer Rouge et la mer Morte ». *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, n° Vol. 8, n°1 (30 avril 2017). Consulté le 10 novembre. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.11677>
54. DiFelice, Natalie Balbuena, Mia. « 5 Reasons Why Desalination Isn’t Worth It ». Food & Water Watch, 27 avril 2023. Consulté le 13 octobre 2023. <https://www.foodandwaterwatch.org/2023/04/27/5-reasons-desalination/>
55. « Présentation de rapport : Géopolitique du dessalement d’eau de mer | Policy Center », 14 mars 2023. Consulté le 5 octobre 2023. <https://www.policycenter.ma/events/presentation-de-rapport-geopolitique-du-dessalement-deau-de-mer>
56. Conseil québécois d’Études géopolitiques. « Géopolitique du dessalement : de l’osmose inverse au positionnement riverain inversé », 28 novembre 2018. Consulté le 2 novembre 2023. <https://cqegehiulaval.com/geopolitique-du-dessalement-de-losmose-inverse-au-positionnement-riverain-inverse/>
57. « La Conférence de l’ONU sur l’eau s’engage à donner vie à un programme d’action pour l’eau au service de notre avenir commun | UN Press », 24 mars 2023. Consulté le 5 octobre 2023. <https://press.un.org/fr/2023/envdev2057.doc.htm>