

Opportunités et risques des activités de dessalement en Méditerranée face au défi du changement climatique et des besoins en eau de plus en plus marqués

Crédit : HaritzTorrellasMur

Le bassin méditerranéen est un hotspot du changement climatique, dont les effets sur la disponibilité de la ressource en eau, déjà très inégale en fonction des contextes socio-économiques et environnementaux nationaux, sont de plus en plus significatifs. À cela vient s'ajouter une croissance démographique conséquente, entraînant une demande en eau croissante, dans les secteurs des eaux de consommation domestique, de l'industrie, du secteur touristique et de l'agriculture. Face à ce double défi, redéfinir l'usage du bien commun qu'est la ressource en eau est crucial. Le dessalement, bien que considéré comme un secteur industriel controversé pour les risques qui lui sont associés (impacts, coûts économiques et énergétiques) voit de plus en plus d'opportunités de développement. Sur la base d'une analyse statistique et cartographique de la base de données DesalData¹, les grandes tendances et évolutions majeures du secteur du dessalement en Méditerranée depuis 2013 sont présentées.

Diversités temporelles et spatiales des systèmes de production des usines

On constate une grande hétérogénéité dans la répartition spatiale du nombre d'usines et le recours à différentes technologies des

systèmes de production selon les périodes (1979-2013 et 2014-2023), pour lesquelles la répartition est inégale selon les pays (fig 1).

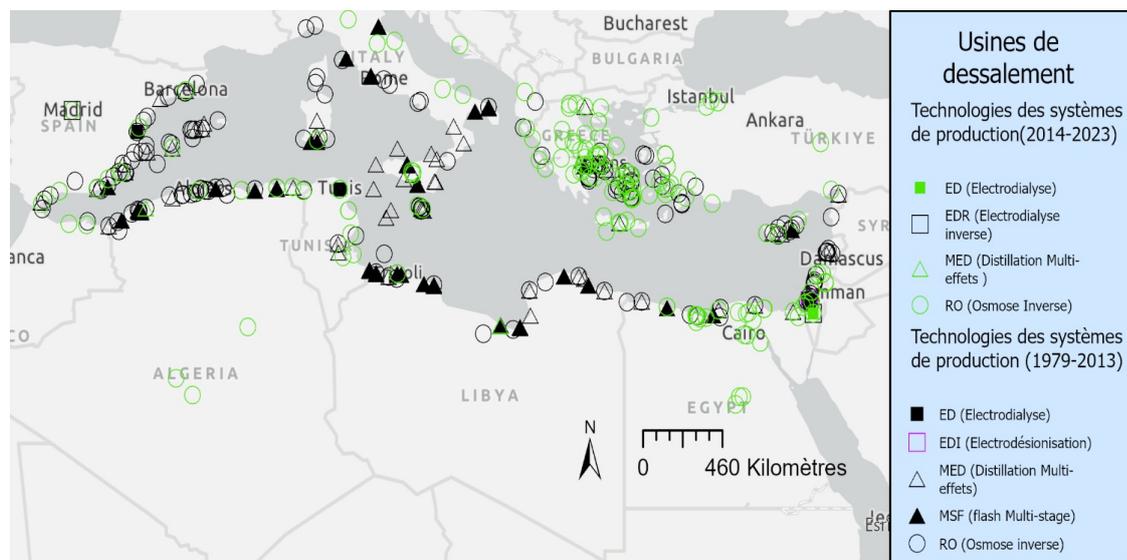


Figure 1-Répartition spatiale des unités de dessalement et technologies des systèmes de production sur la période 1979-2023.

¹ Les données extraites, analysées et présentées dans ce document rendent comptes des usines de dessalement opérationnelles tirant leurs «feeding waters» de l'eau de mer, en zone côtière. De plus, technologies des systèmes de production des usines discutés ici, sont les technologies majoritaires des usines membranaires (Reverse osmosis) et thermiques (Multi-Stage-Flash : MSF et Multi Effect Distillation : MED).

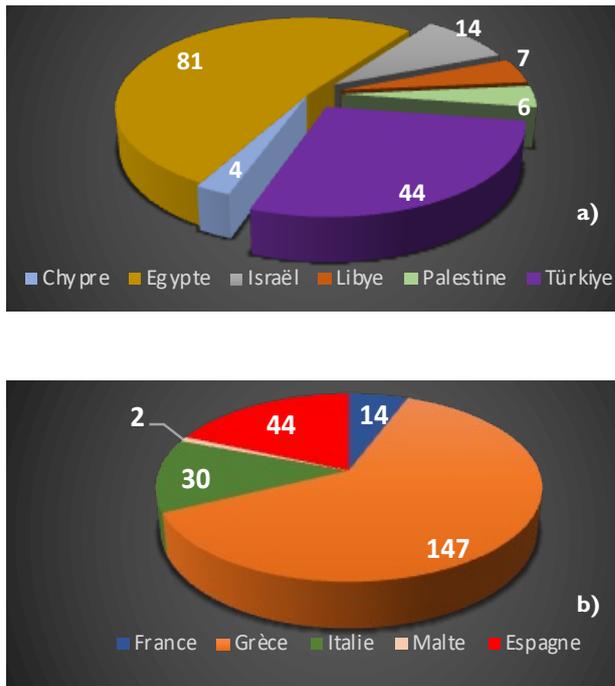


Figure 2-Répartition des usines au sein des pays du Sud-Est du bassin méditerranéen (a), et répartition des usines au sein des pays du Nord-Ouest du bassin (b).

Avec 147 usines de dessalement, la Grèce dépasse de loin tous les pays méditerranéens par le nombre d'usines implantées sur son territoire, mais cet écart se réduit car d'autres pays montent en puissance depuis une dizaine d'années. C'est environ 3 fois plus que l'Espagne qui arrive en deuxième position dans le nombre d'usine de dessalement des pays occidentaux. Aussi, des tendances technologiques s'observent entre le Nord et le Sud du bassin selon quatre périodes temporelles (fig3).

D'une façon générale, les technologies à Osmose Inverse (RO) sont favorisées au détriment des technologies thermiques, malgré quelques différences : 121 usines RO implantées pour les pays Nord méditerranéens contre 108 pour les pays du Sud, entre 2000 et 2016. Pour les deux rives du bassin, on constate un ralentissement des implantations d'usines à technologie thermique (MSF-MED), de 1979 à 2023. Néanmoins, ce type de technologie semble être moins vite délaissé par les pays du Sud contrairement aux pays du Nord. En effet, entre 2000 et 2016 les pays du Sud ont construit plus d'usines à technologie thermique (27) que les pays du Nord (16).

Des capacités de production des usines très contrastées

Les capacités de production des usines de dessalement divergent nettement d'un pays à l'autre, en fonction des contextes socio-économiques, environnementaux mais aussi de par les différents systèmes de production des usines.

Les capacités de production moyennes ($m^3/jour$) des usines ont fortement augmenté entre 2013 et 2023, notamment au niveau du bassin Levantin (fig4a). Les capacités de production d'eau dessalée en Méditerranée ont augmenté d'environ 446,8% ($940\ 842\ m^3/jour$ à $5\ 144\ 441\ m^3/jour$) en 10 ans (contre 110 millions de $m^3/jour$ à l'échelle internationale en 2023). À l'échelle régionale méditerranéenne, on observe une réduction des capacités de production unitaires en mer Égée entre 2013 et 2023 avec de nombreuses usines en 2023 dont les capacités de production sont comprises dans la fourchette de 0-1000 $m^3/jour$.

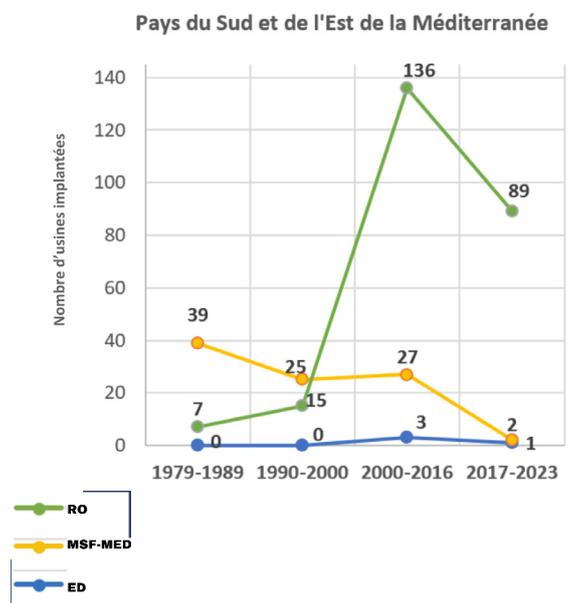
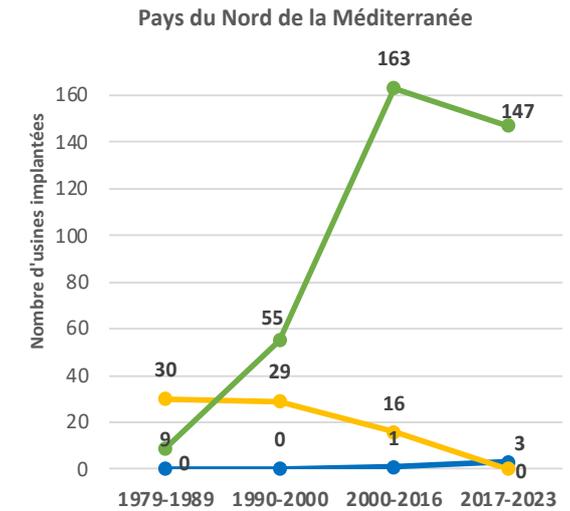


Figure 3-Évolution des implantations d'usines de dessalement en fonction du type de technologie pour quatre périodes temporelles, de 1979 à 2023.

À l'inverse, dans certaines zones (par exemple au niveau du Golfe de Gabès en Tunisie et du bassin Levantin), on constate un accroissement de production unitaire par rapport à 2013, sans que l'analyse nous permette de relier cette évolution au démarrage de nouvelles unités ou à la rénovation d'anciennes. Ces capacités ont augmenté d'environ 367% uniquement pour le bassin Levantin ($580\ 120\ m^3/jour$ à $2\ 709\ 122\ m^3/jour$). D'autre part, l'historique des productions moyennes des usines de dessalement par pays présente bien la dissonance entre le nombre d'usines propre à chaque pays et le rendement quotidien national de chacun. La rive Sud du bassin possède moins d'usines que la rive Nord, mais dispose de capacités de production bien supérieures. Les 5 pays qui se détachent en termes de capacité de production nationale sont tous sur la rive Sud : Israël, Maroc, Algérie, Tunisie et Egypte. Israël a une capacité de production moyenne de $84850\ m^3/jour$, soit environ 2,3 fois plus que le Maroc placé en 2^e position ($36779\ m^3/jour$). La Grèce dispose du plus grand nombre d'usines en Méditerranée mais produit en moyenne 17 fois moins que l'Egypte pour environ 1,8 fois plus d'usines sur son territoire (fig4b). Les pays du Sud ont majoritairement des capacités de production nationales d'eau dessalée bien supérieures (entre $3014\ m^3/jour$ et $84850\ m^3/jour$) à celles des pays Nord (entre $120\ m^3/jour$ et $4700\ m^3/jour$).

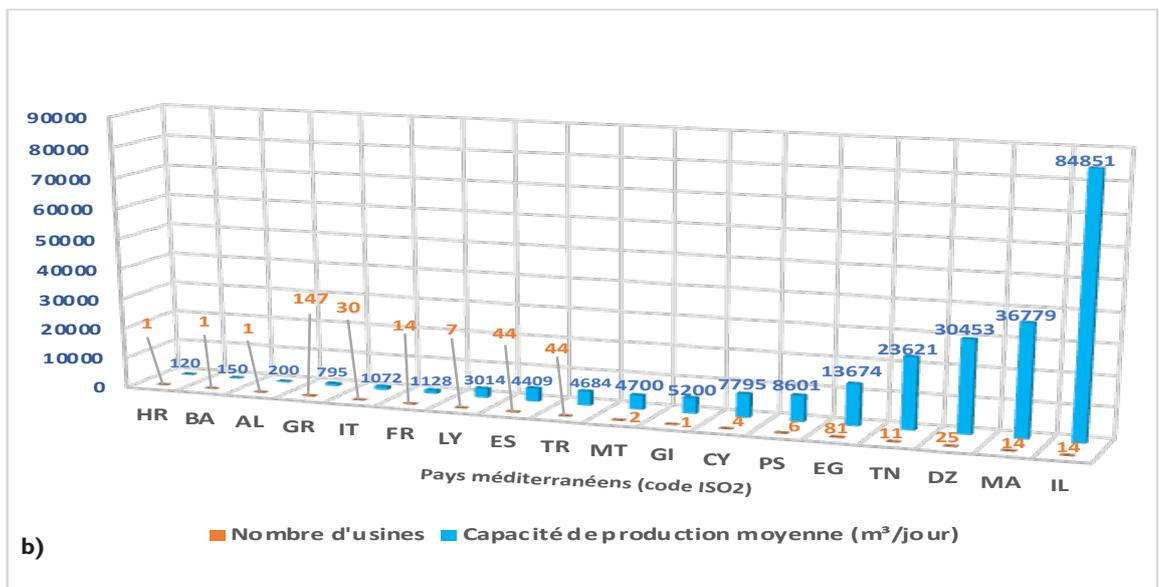
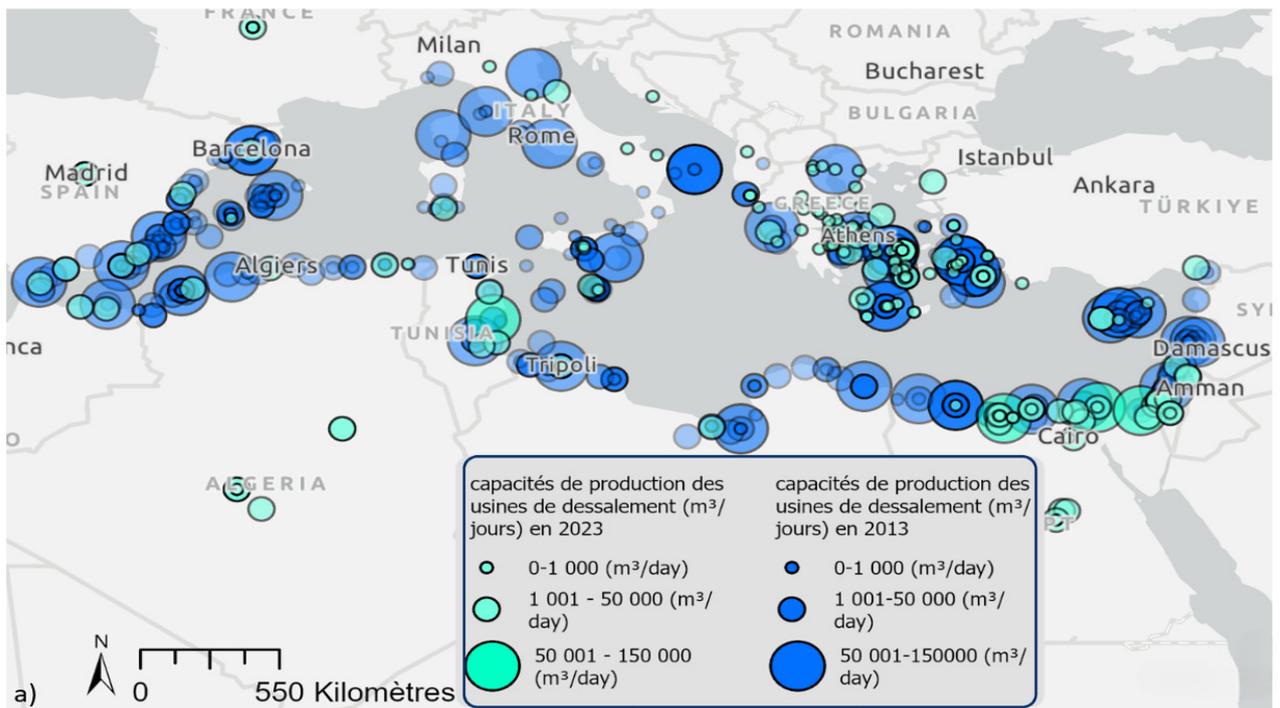


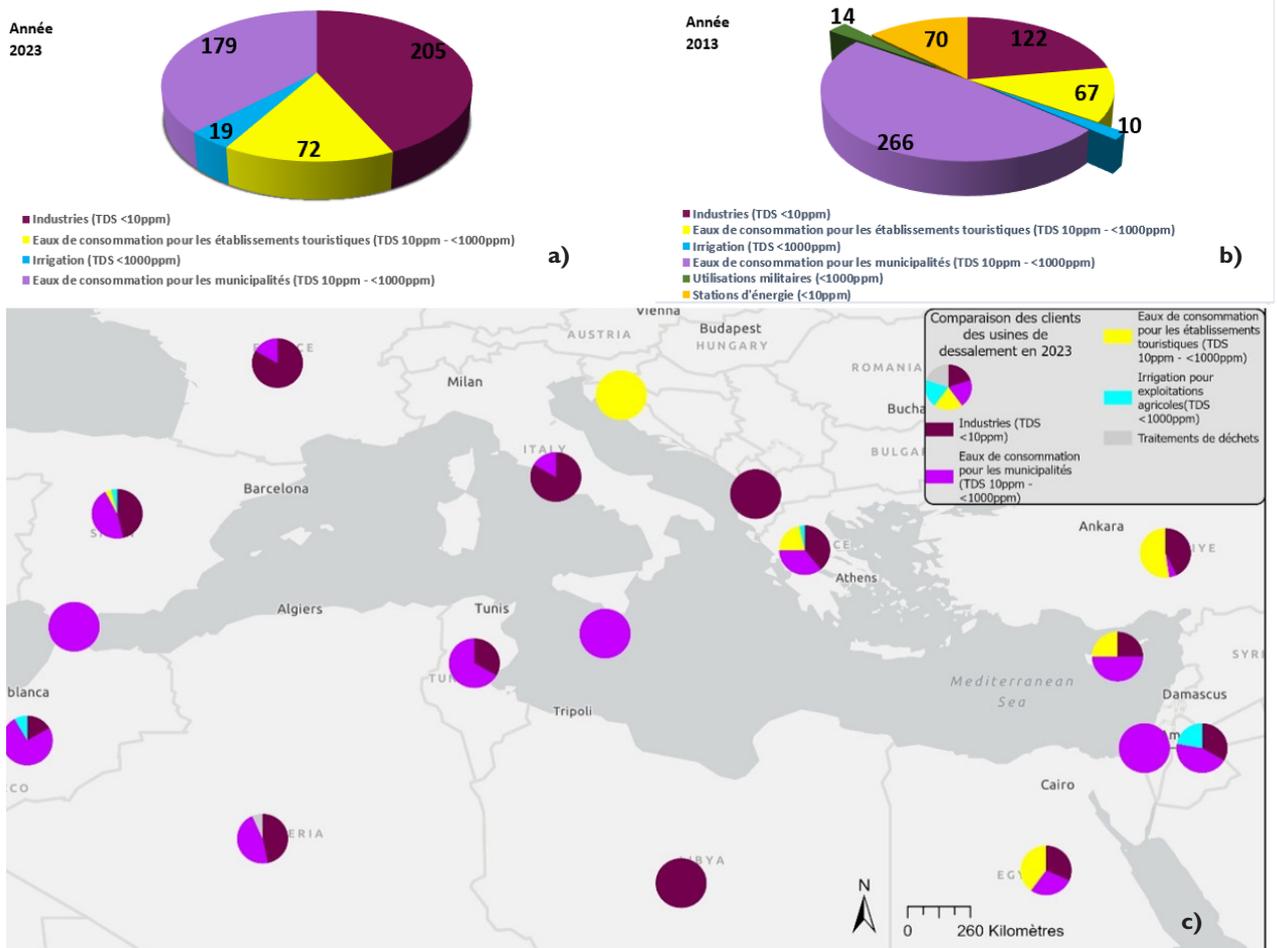
Figure 4-Variation des capacités de production des usines, avec une représentation cartographique des rendements journaliers comparés pour chaque usine entre 2013 et 2023 (a) et un histogramme des productions d'eau dessalée journalières moyennes par pays et du nombre d'usines associées, en 2023 (b).

Des utilisations contrastées des eaux dessalées

Les usages des eaux dessalées varient selon les besoins locaux, les types de clients et les pays (fig5). Pour la majorité des pays du Sud, en 2023, les clients prioritaires sont les municipalités, sûrement pour pallier aux événements de sécheresses extrêmes (indicateur I2 de la SMDD), défini comme un volume d'eau <1000 m³/an/habitant, de plus en plus fréquents et intenses dans ces régions méditerranéennes arides. Aussi, les types de clients évoluent au cours du temps, les municipalités représentaient par exemple la majorité des clients en 2013 (266 usines soit 49% du total).

Depuis 2013, des changements drastiques dans la clientèle des usines à l'échelle nationale sont observés. Les municipalités, qui arrivaient en 2ème position de la clientèle de 2013 sont aujourd'hui les clients principaux des usines des pays du Sud, afin de fournir de l'eau potable aux populations (eaux de consommation). Mais cette tendance pourrait s'inverser car on constate depuis 2014 une forte augmentation du nombre d'usine de dessalement dont le client principal est l'irrigation (+90%).

Opportunités et risques des activités de dessalement en Méditerranée face au défi du changement climatique et des besoins en eau de plus en plus marqués



Déjà, le nombre d'usines dont le client principal sont les municipalités a baissé de 266 clients en 2013 à 179 clients en 2023 et ne représentent plus que 37% des usines de dessalement (fig5). À l'inverse, depuis 2014, les besoins en eau sont en croissance pour l'irrigation et les installations touristiques (+7,5%). En 2023, les besoins en eau pour l'industrie ont quant à eux augmenté, représentant 43% de la clientèle (soit 205 usines). Cela représente une hausse de près de 40 % des usines dédiées à l'industrie depuis 2013. On note aussi la disparition de deux clients (usages militaires et stations d'énergie) la clientèle des usines depuis cette année est plus restreinte en vue de la demande croissante en eau. Ces différences observables dans les clientèles des usines peuvent en partie s'expliquer au travers des stress hydriques de plus en plus fréquents et intenses.

Risques associés aux activités de dessalements

Bien que les usines de dessalement aient la possibilité de pallier aux manques d'eau plus ou moins marquées (RED, 2020), ce secteur industriel n'est pas sans risques.

Risques économiques

En effet, une tendance à l'augmentation des coûts d'investissements (CAPEX) et d'opérationnalisation (OPEX), en millions d'euros est attendue d'ici 2027 et est déjà observable (fig-6). Aussi, les variations projetées des coûts d'investissement sont supérieures à celles des coûts d'opérationnalisation. Seules la Türkiye (-16,80%) et Chypre (-18,80%) présentent des coûts d'investissement à la baisse d'ici 2027. L'Espagne est le seul pays qui présente des coûts d'opérationnalisation à la baisse d'ici 2027 (-0,05%).

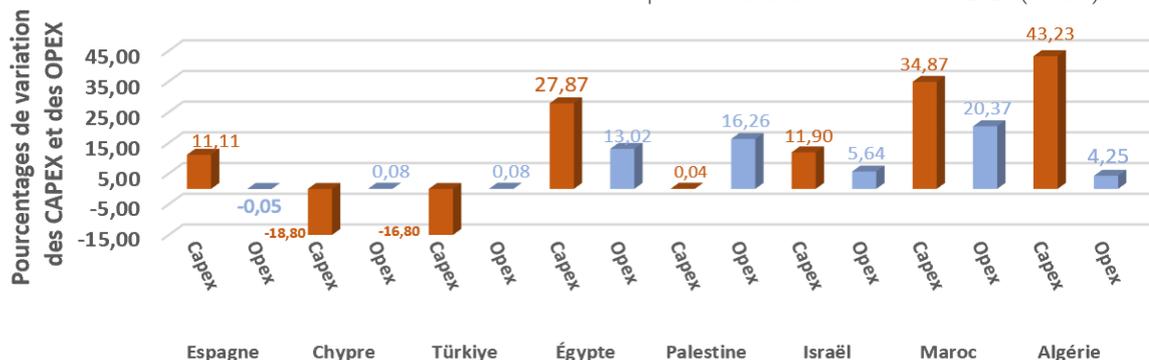


Figure 6-Variations moyennes annuelles des coûts d'investissement (CAPEX) et des coûts d'opérationnalisation (OPEX) de 2018 à 2027 pour différents pays méditerranéens.

Certains pays comme l'Algérie ou le Maroc présentent des augmentations des coûts d'investissements supérieures à 30% pour des évolutions des coûts d'opérationnalisation qui n'excèdent pas les 20%. Ces résultats suggèrent que les pays qui présentent les plus fortes variations de CAPEX investiraient davantage dans l'avenir, avec le développement de nouvelles infrastructures, technologies, installations et équipements. Ceci étant un bon signe, car cela suggère qu'ils se modernisent et cherchent à être plus compétitifs dans ce secteur d'activité.

Risques environnementaux

En plus des dépenses économiques massives attendues, des impacts environnementaux non négligeables sont à prendre en compte notamment au travers des impacts du rejet des saumures dans les environnements marins côtiers (Cf.fig7). En effet, les saumures présentent des salinités et températures plus élevées que les eaux côtières dans lesquelles elles sont rejetées. Elles peuvent induire une multitude d'impacts écotoxicologiques (hausse des mortalités, baisse des taux de reproduction et de fécondité, processus physiologiques perturbés, etc.) sur la faune et la flore marine benthique exposées (El said et al., 2020; Ihsanullah et al., 2021; Chang, 2015). La nature et l'intensité de ces impacts varient en fonction des conditions de rejets des saumures (bathymétrie, topographie, courantologie, etc.) et des capacités d'adaptation des espèces impactées.

Volumes de saumure rejetés

On s'attend à ce que les volumes de saumure rejetés et les volumes d'eau dessalés soient fortement corrélés. Ceci est dans un premier supposé par la figure 6. Globalement, et en fonction des différents systèmes de production des usines, pour 1L d'eau dessalée produit, entre 1,5L et 4L de saumure sont générés. Israël est le pays qui génère le plus de saumure (124 481,5 m³/jour) mais expose un « bon ratio » entre ces deux variables quantitatives ($V_{\text{saumure}}/V_{\text{eau dessalée}} \Leftrightarrow 124\,481,5/85\,591,5 = 1,45$). À contrario, la Libye par exemple, dont le ratio associé est d'environ 4,10 semble produire des volumes de saumures excédants. En réalité, La dépendance statistique entre les deux variables quantitatives, à savoir la production d'eaux dessalées et les volumes de saumure rejetés se révèlent très significatifs (Test de Pearson : $R^2 = 0,9916$), au travers du test de Pearson. De plus, si l'on compare les volumes de saumure rejetés, selon une approche par bassin méditerranéen, les usines des deux rives rejettent une quantité considérable de saumure, qui varie de manière non linéaire au cours du temps (fig8). D'une façon générale, les productions de saumure des pays du Sud et du Nord augmentent, avec quelque différences.

Sur la période 2001 à 2015, la production de saumure des pays du Sud tend vers celle des pays du Nord (chevauchement en 2015 avec 7 881 087 m³/jour contre 7 814 003 m³/jour pour les pays du Nord). Aussi, une légère baisse des volumes rejetés est observée entre 2018 et 2021 pour les pays du Nord (-2,3%) alors que la production de saumure des pays du Sud ne connaît pas de diminution depuis 2001. Cependant ces interprétations sont limitées car elles reposent sur des moyennes annuelles nationales (en m³/jour). La moyenne étant un indicateur quantitatif biaisé par les valeurs extrêmes, celle-ci n'est pas représentative des variations des volumes de saumure rejetés au sein d'un même pays. Une analyse infranationale des volumes de saumure rejetés permettrait d'avoir une vision plus fine dans la distribution de ces volumes au sein des différents pays méditerranéens. Néanmoins, nous pouvons tout de même analyser les variations (en %) de ces volumes moyens en fonction du temps (fig9). Une tendance à l'augmentation (+0,1% à +365%) des volumes des saumures rejetés par chaque pays se distingue (fig9)².



Herbier de Posidonie (*Posidonia oceanica*) dégradé, localisé en zone infralittoral au niveau du Cap Sugiton (Marseille, France). Crédit photo: Samson Bellières, 25/11/2021

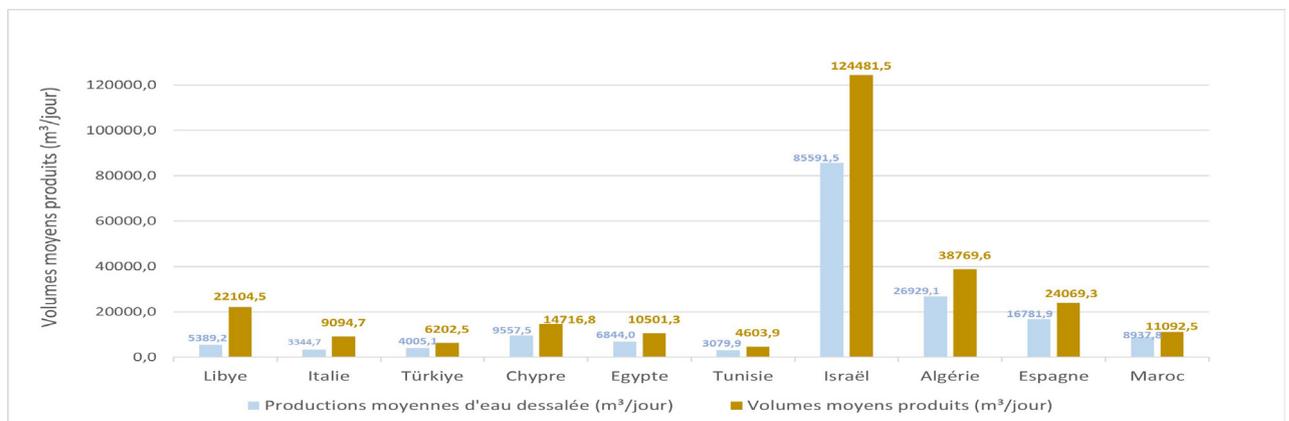


Figure 7-Histogramme combiné des volumes (m³/jour) moyens annuels d'eau dessalée et des volumes (m³/jour) moyens annuels de saumures rejetés, de 2018 à 2023 aux échelles nationales, pour différents pays méditerranéens.

² La variation la plus extrême des volumes de saumure rejetés en 2005 par Israël (+365%) n'a pas été représenté, pour une meilleure représentation graphique des autres valeurs. L'usine d'Ashkelon mise en activité la même année (production quotidienne de 360 000 m³/jour) expliquerait très probablement ce pic de production.

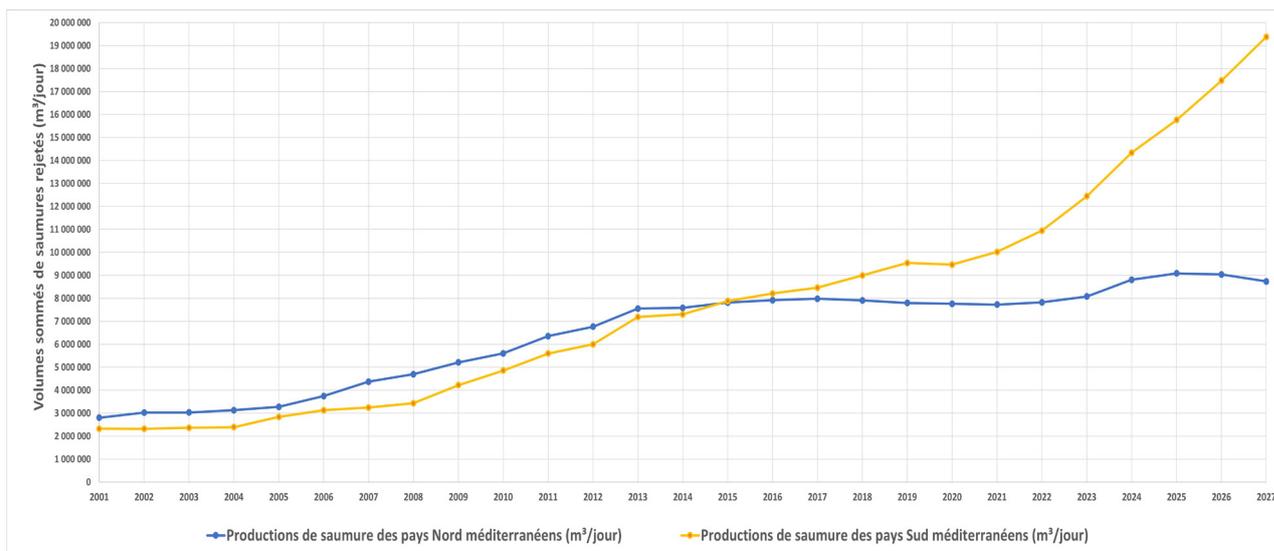


Figure 8-Sommes annuelles des volumes de production de saumure par les activités de dessalement des pays Nord et Sud méditerranéens, de 2001 à 2027 (projection sur les 4 dernières années).

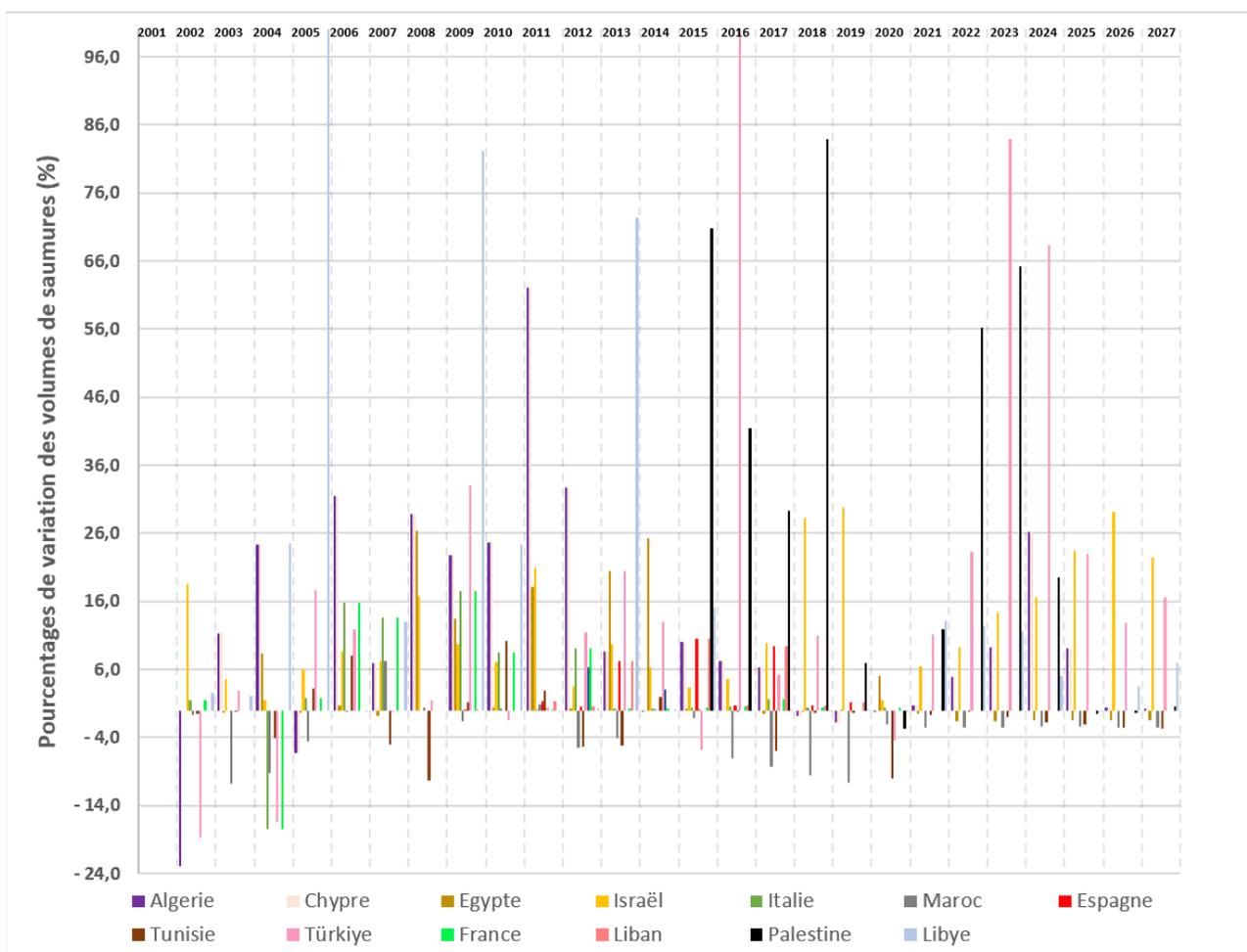


Figure 9-Variations interannuelles (%) des volumes de saumure générés à l'échelle nationale pour 13 pays méditerranéens de 2001 à 2027.

Des diminutions dans les volumes des saumures sont observables sur la période 2001-2016 (seulement la Türkiye, la France, Chypre, l'Italie et la Tunisie), mais restent marginales comparées aux hausses des volumes des saumures. En 2016, la Türkiye affiche la plus forte augmentation dans les volumes de saumure rejetés (+101,2%). La Palestine expose un pic d'augmentation de 83,8% en 2018 et Israël de 29,7% en 2019 dans les volumes de saumures rejetés.

Depuis 2014, ce sont majoritairement les pays du Sud (la Palestine, Israël et la Türkiye) qui présentent les plus grandes variations positives de volume de saumure généré. Chypre, l'Espagne, l'Italie, la Libye et la Tunisie verraient leurs productions de saumure diminuer d'ici 2027. Certains pays n'affichent pas ou peu de variations dans leurs volumes de saumure rejetés, c'est le cas de l'Espagne et la France depuis 2019.

Conclusion

Depuis le début des années 1980, les activités liées au dessalement se sont développées de manière croissante en Méditerranée. Les usines de dessalement représentent un réel potentiel de production d'eau dessalée. Dans un contexte méditerranéen de plus en plus aride et dont les besoins en eau se font de plus en plus ressentir, les usines de dessalement peuvent pallier aux déficits hydriques engendrés par des événements de sécheresse extrême. Les investissements ont eux aussi considérablement augmenté, et ce, de façon inégale entre les différents pays. En effet, la rive Sud, le bassin Levantin, le bassin Ionien et la mer Égée concentrent aujourd'hui la majorité des usines de dessalement. De plus, l'innovation technologique est au service de ce secteur d'activité, facilitant l'implantation des différentes usines au fil du temps.

Néanmoins, au niveau régional, on constate des fractures technologiques dans les usages et les volumes d'eaux dessalées et les volumes de saumure rejetés.

Depuis 2013, des changements drastiques dans la clientèle des usines à l'échelle nationale sont observés. Les municipalités, qui arrivaient en 2ème position de la clientèle de 2013 sont aujourd'hui les clients principaux des usines des pays du Sud, afin de fournir des volumes d'eau de consommation.

Les usines de dessalement présentent des risques associés à leurs activités de production. Ces risques d'ordre économiques et environnementaux qui découlent des activités de dessalement dépendent directement des spécificités des usines et indirectement des contextes socio-économiques et environnementaux des pays. En effet des variations excessives dans les coûts d'investissement et d'opérationnalisation des usines sont d'ores et déjà constatés et devraient s'accroître d'ici 2027, notamment pour les usines des pays du Sud et de l'Est. La quantité de production de saumure est aussi significativement liée à la production d'eau dessalée, dont les volumes associés produits sont systématiquement inférieurs à ceux des saumures. Aussi, ces productions de saumure sont très hétérogènes, selon les usines de chaque pays. Néanmoins, une tendance actuelle (2023) et projetée à court terme (2027) ressort de cette analyse. Les pays du Sud rejettent plus de saumures que ceux de la rive Nord. Il faut donc s'attendre à des impacts environnementaux plus importants.

Ainsi, bien que présentant de nombreuses opportunités de développement et une solution à un stress hydrique croissant, les activités de dessalement entraînent nécessairement des risques. Dans une optique de croissance et d'économie bleue, la prise de conscience par les décideurs publics méditerranéens de ces opportunités et risques liés à ce secteur industriel en plein essor est donc requise, et implique le renforcement d'une gouvernance dédiée aux échelles régionales et nationales réunissant les acteurs de l'eau et de l'énergie (producteurs) et les principaux clients (bénéficiaires). Le système de la Convention de Barcelone entend jouer un rôle fédérateur à cet égard. De plus, des analyses plus poussées, intégrant plus de variables socio-économiques (outils de prospectives, retours d'expériences d'experts, études participatives) permettraient d'affiner le cadre d'économie et de croissance bleue associé au dessalement en Méditerranée.

En effet, le dessalement témoigne d'intérêts croissants en Méditerranée aboutissant à des planifications d'usines dans l'archipel Toscan Italien par exemple.

Aussi, le secteur privé investi de plus en plus dans cette branche de la ressource en eau non-conventionnelle. La montée en puissance de ce secteur d'activité nécessite donc des révisions des cadres réglementaires associés, notamment au niveau des seuils de production d'eau dessalée, qui doivent être adaptés aux variations spatiales et temporelles des demandes en eau régionales méditerranéennes (Navarro Barrio et al., 2021).

Enfin, seules les prises d'eau de mer sont discutées dans ce document. Une analyse plus holistique intégrant d'autres paramètres du dessalement (autres types de sources de prise d'eau, autres technologies, etc.) permettrait d'apporter des comparaisons externes, à des échelles de production plus importante.

BIBLIOGRAPHIE

- Anon. [s d]. RED 2020 : Rapport d'état de l'environnement en Méditerranée. Plan-bleu : Environnement et développement en Méditerranée, Disponible sur : <https://planbleu.org/soed/> (Consulté le 4 mai 2023).
- Chang J.-S. 2015. Understanding the role of ecological indicator use in assessing the effects of desalination plants. *Desalination*, 365. DOI : [10.1016/j.desal.2015.03.013](https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.03.013)
- Elsaid K., Kamil M., Sayed E.T., Abdelkareem M.A., Wilberforce T., et Olabi A. 2020. Environmental impact of desalination technologies: A review. *Science of The Total Environment*, 748. DOI : [10.1016/j.scitotenv.2020.141528](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141528)
- Ihsanullah I., Atieh M.A., Sajid M., et Nazal M.K. 2021. Desalination and environment: A critical analysis of impacts, mitigation strategies, and greener desalination technologies. *Science of The Total Environment*, 780. DOI : [10.1016/j.scitotenv.2021.146585](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146585)
- Navarro Barrio R., Sola I., Blanco-Murillo F., del-Pilar-Ruso Y., Fernández-Torquemada Y., et Sánchez-Lizaso J.L. 2021. Application of salinity thresholds in Spanish brine discharge regulations: Energetic and environmental implications. *Desalination*, 501. DOI : [10.1016/j.desal.2020.114901](https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114901)