

# Variabilité des coûts économiques induits par le dessalement en Méditerranée



La plus grande installation de dessalement d'eau au monde, Hadera Israël - Cédit : Luciano Santandreu

Cette étude exploite la base de données DesalData et examine des tendances et projections de certains coûts économiques associés au dessalement de l'eau en Méditerranée jusqu'en 2027, mettant en lumière une augmentation constante des dépenses en capital (CAPEX) et opérationnelles (OPEX). Les investissements dans le dessalement, motivés par les préoccupations environnementales et la demande croissante en eau, varient significativement selon les pays et les technologies utilisées. La technologie d'osmose inverse (SWRO) est généralement la moins coûteuse, tandis que les technologies thermiques présentent des coûts plus élevés. Les projections révèlent une diversité de dynamiques entre les pays, soulignant l'importance des stratégies d'investissement et de la durabilité environnementale. Cependant, pour une compréhension complète des implications socio-économiques et environnementales du dessalement en Méditerranée, cette analyse représente une première étape et souligne le besoin d'une collecte de données plus exhaustive pour enrichir les analyses futures, qui pourraient s'appuyer sur le rôle fédérateur du système de la Convention de Barcelone.

Le bassin méditerranéen est un hotspot du changement climatique. Celui-ci a des effets significatifs sur la disponibilité et la qualité de la ressource en eau qui est très inégale en fonction des contextes socio-économiques et environnementaux nationaux. En ce sens, les coûts économiques liés au dessalement en Méditerranée sont un sujet d'intérêt croissant, en raison des enjeux technologiques, énergétiques et environnementaux associés à ce secteur d'activité<sup>1</sup>. L'exploitation de la base de données DesalData de la Global Water Intelligence, base qui recueille et compile des informations sur les projets de dessalement à l'échelle mondiale, fournissant des données sur les coûts, les capacités de production, les technologies utilisées, les tendances du marché et d'autres aspects pertinents, nous indique les potentielles tendances et évolutions majeures dans ce secteur depuis 2018 et jusqu'en 2027. En effet, les coûts économiques associés au dessalement sont en constante augmentation avec une variation

moyenne annuelle de 6,3% pour les dépenses en capital (CAPEX)<sup>2</sup> et 3,75% pour les dépenses opérationnelles (OPEX)<sup>3</sup> de 2018 à 2027 à l'échelle mondiale. Les investissements dans le dessalement, majoritairement ciblés sur les unités adoptant la technologie de l'osmose inverse pour l'eau de mer (SWRO), technique qui utilise une membrane pour filtrer le sel et les impuretés de l'eau de mer sous pression et qui est considérée comme efficace pour le dessalement, sont considérés comme essentiels pour les décennies à venir, avec des estimations variant de 3,8 à 12,6 trillions de USD<sup>4</sup>. Ces investissements sont motivés par une préoccupation publique croissante pour les impacts du changement climatique, l'émergence de l'eau comme une stratégie clé de l'approche ESG (Environnement, Social, Gouvernance), et une augmentation exponentielle de la valeur à risque due à l'insécurité hydrique. Le constat est encore plus significatif en Méditerranée avec une augmentation moyenne annuelle de 18,66% pour les CAPEX et

<sup>1</sup> Antoine Lafitte et Samson Bellieres, « 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 », Plan Bleu Notes, n°45, Plan Bleu, janvier 2024.

<sup>2</sup> Il s'agit principalement des coûts initiaux nécessaires à la construction, à l'acquisition d'équipements et à l'installation d'une usine de dessalement d'eau (en d'autres termes, ce sont les investissements de départ).

<sup>3</sup> Il s'agit principalement des coûts courants liés au fonctionnement quotidien d'une usine de dessalement. Cela inclut des éléments tels que les coûts de l'énergie nécessaire pour faire fonctionner l'usine, les frais de maintenance, les coûts de main-d'œuvre, etc.

<sup>4</sup> Marc-Antoine Eyl-Mazzega et Élise Cassagnol, « Géopolitique du dessalement d'eau de mer », Études de l'Ifri, Ifri, septembre 2022.



7,96% pour les OPEX sur la même période, en prenant en compte 9 pays riverains (Espagne, Chypre, Turquie, Égypte, Israël, Maroc, Algérie, Tunisie, Palestine). Cela nous amène à voir dans cette analyse originale certains facteurs influençant la viabilité économique des usines de dessalement en Méditerranée, en particulier dans un contexte de coûts très contrastés entre ces usines et une tendance générale à une augmentation des CAPEX et OPEX pour ces unités en Méditerranée.

## Méthodologie

Pour réaliser notre analyse statistique, nous avons utilisé le simulateur des coûts de DesalData, en fonction des différents paramètres d'entrée du simulateur. Ces paramètres incluent, pour juin 2023, les capacités de production ( $m^3$ /jour), la salinité des eaux prélevées, le prix de l'électricité, le pays et le type de technologie utilisée.

Nous avons sélectionné les pays riverains de la Méditerranée ayant les capacités de production d'eau dessalées les plus importantes, à savoir Israël, l'Algérie, le Maroc, Chypre et l'Espagne<sup>5</sup>. Seule la valeur moyenne de la salinité de l'eau de mer ( $35g/L$ ) a été utilisée, ne prenant pas en compte la variabilité haline méditerranéenne. En effet, le simulateur de DesalData ne permet pas de rentrer une salinité précise comme celle de la Méditerranée (environ  $38g/L$ ) et ne prend pas en compte les eaux avec une salinité inférieure à  $20g/L$  ni celles avec une salinité supérieure à  $50g/L$ . Enfin, nous avons retenu les coûts ajustés afin de garantir la précision et la fiabilité des résultats obtenus sur la base des paramètres rentrés dans le simulateur. Les données projetées par pays de 2018 à 2027, présentes sur DesalData pour 9 pays méditerranéens représentant un marché important, ont été analysées afin d'étudier les variations et les tendances par pays, spécifiquement pour les CAPEX et les OPEX. Pour avoir ces données projetées, DesalData compare les éditions historiques de leur "data tracker" avec leur inventaire de projets de dessalement afin d'établir quel pourcentage du marché historique du dessalement a été couvert par le tracker. Ensuite, DesalData applique ces pourcentages à la capacité de production renseignée prévue à partir du tracker afin d'estimer qu'elle pourrait être la capacité totale prédite dans le futur ainsi que la capacité supplémentaire anticipée. Cette analyse a permis de mettre en lumière des différences significatives entre les pays en termes de coûts associés au dessalement de l'eau. Bien que les projections fournissent des indications utiles sur les tendances futures, il est essentiel de garder à l'esprit les facteurs imprévus qui pourraient aussi influencer les résultats. Parmi ces facteurs figurent les changements réglementaires, tels que de nouvelles politiques environnementales ou des normes de qualité de l'eau plus strictes, qui pourraient entraîner des ajustements dans les coûts de construction et d'exploitation des usines de dessalement. De plus, les avancées technologiques rapides pourraient modifier les coûts et l'efficacité des technologies de dessalement. En outre, des événements politiques et géopolitiques pourraient avoir un impact sur la stabilité économique et donc sur les investissements dans le secteur du dessalement. En gardant ces facteurs imprévus à l'esprit, il est important de rester flexible dans l'interprétation des résultats.

## Des coûts très contrastés entre les usines de dessalement en Méditerranée

Les coûts des usines de dessalement en Méditerranée varient considérablement en fonction des pays, des technologies utilisées, des capacités de production nationale, de la salinité des eaux, de la source d'énergie ainsi que des spécificités locales notamment en termes d'exigences socio-environnementales. Les simulations de calculs de DesalData pour l'eau de mer (salinité moyenne de  $35g/L$ ) nous fournissent des informations détaillées sur les CAPEX, les OPEX et le prix de l'eau dessalée par pays et par technologie pour ce type d'eau (cf. fig. 1). En effet, les simulations montrent que les CAPEX varient considérablement en fonction de la technologie et du pays avec des variations entre  $1234\$/m^3$  à  $3060\$/m^3$ . Plus précisément, pour la technologie SWRO, le CAPEX par mètre cube de capacité est de  $1234\$/m^3$  en Israël et de  $1645\$/m^3$  en Espagne, alors que pour la technologie thermique MED (Multi-Effect Distillation), le CAPEX est de  $3060\$/m^3$  à Chypre tandis qu'il est de  $2575\$/m^3$  pour la moyenne méditerranéenne.

Concernant les OPEX, généralement influencés par la technologie et le prix de l'énergie, les simulations montrent que les OPEX en \$ par mètre cube traité peuvent varier de  $134\$/m^3$  à  $930\$/m^3$ . Plus particulièrement, pour SWRO, l'OPEX par mètre cube de capacité est de  $134\$/m^3$  en Algérie (soit  $5\,984\,082\$/m^3$ ) et de  $488\$/m^3$  à Chypre (correspondant à  $6\,546\,270\$/m^3$ ), alors que pour MED, il est de  $145\$/m^3$  en Algérie (soit  $547\,223\$/m^3$ ) et de  $930\$/m^3$  pour Chypre (soit  $1\,255\,162\$/m^3$ ).

Le prix de l'eau résultant varie en fonction de ces mêmes CAPEX et OPEX, ainsi que du prix de l'énergie, mais également des paramètres financiers comme le taux d'intérêt et le rendement des capitaux propres. Pour SWRO, le prix de l'eau est de  $0,84\$/m^3$  en Algérie et de  $1,97\$/m^3$  à Chypre. Pour MED, le prix de l'eau est de  $1,15\$/m^3$  en Algérie et de  $3,6\$/m^3$  à Chypre, ce qui est nettement plus élevé en raison des coûts d'investissement et d'exploitation plus conséquents associés à cette technologie. À noter que ces coûts doivent être comparés aux prix locaux de l'eau, fournie par d'autres types de ressources conventionnelles et non-conventionnelles, afin d'évaluer la compétitivité (par rapport aux ressources en eau conventionnelles, les coûts de production d'eau par dessalement sont deux à trois fois plus élevés. Ainsi, la technologie SWRO est considérée comme la moins chère, la moins polluante et donc la plus rentable. À titre d'exemple, les émissions de  $CO_2$  pour une station de dessalement par RO sont estimées entre 2,5 et 3 kg par mètre cube d'eau dessalée, comparées à 18 à 27 kg pour une station de dessalement par MSF ou MED. De plus, les technologies thermiques produisent généralement plus de saumure, contribuant davantage à la pollution. Par exemple, en Espagne, le CAPEX pour SWRO est de  $1645\$/m^3$ , tandis que pour MED, il est de  $2415\$/m^3$ . De même, l'OPEX pour SWRO en Espagne est de  $283\$/m^3$ , tandis que pour MED, il est de  $468\$/m^3$ . Même constat pour le prix de l'eau. En ce sens, les conditions locales telles que la température de la mer, la salinité et la consommation d'énergie sont clés pour sélectionner la technologie appropriée.

<sup>5</sup> Antoine Lafitte et Samson Bellieres, « 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 », Plan Bleu Notes, n°45, Plan Bleu, janvier 2024.

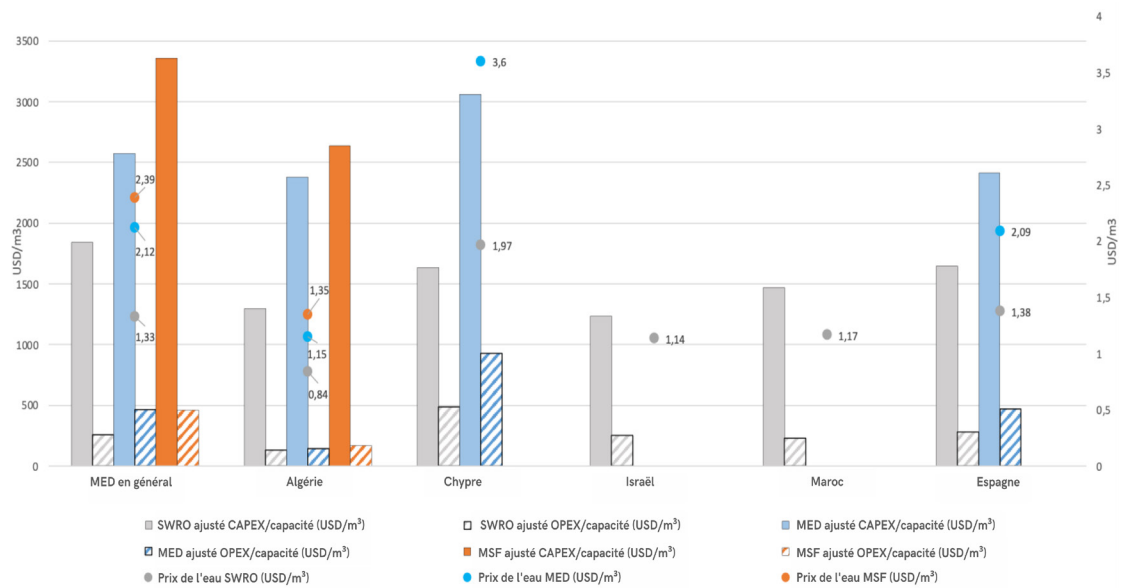


Figure 1 : Comparaison des dépenses opérationnelles, en capital et du prix de l'eau dessalée Méditerranée (tout pays confondu et pour 5 pays) en fonction des technologies thermiques et membranaires majoritaires (MSF/MED et RO).

En outre, si nous regardons en détail les CAPEX et OPEX au niveau de la moyenne méditerranéenne (cf. fig. 2, 3), nous pouvons distinguer les principaux facteurs influençant ces coûts. La consommation d'énergie est un facteur majeur, surtout pour les technologies thermiques comme le MSF et le MED (respectivement 4kWh/m³ et 2,5 kWh/m³), plus énergivores que le SWRO. Ainsi, le prix de l'énergie, et plus particulièrement de l'électricité, est le principal facteur influençant les OPEX et le prix de l'eau. Bien que jouant un moindre rôle dans le prix final de l'eau, la main-d'œuvre et les produits chimiques introduits dans les systèmes de production (biocides, antiscalants, antioxydants, anticoagulants, borons, etc.) sont à considérer. Une variation entre les technologies est constatée pour les CAPEX, avec pour le SWRO un coût majoritaire dans les matériaux et équipements, le prétraitement des eaux prélevées, le réseau d'acheminement ainsi que dans les

coûts civils et d'installations, alors que pour les technologies thermiques les coûts civils et d'installations, le pompage, les prises d'eau et de décharge sont les principaux facteurs influençant les CAPEX. La technologie MSF est celle ayant les plus importants CAPEX et OPEX. Les coûts de prétraitement peuvent varier en fonction de la qualité (chimique, biologique et organoleptique) de l'eau prélevée dans le milieu, de sa salinité, et donc de la complexité du traitement nécessaire. Quant aux coûts de construction et d'installation, ils dépendent des conditions locales et des exigences réglementaires en matière d'urbanisation, de planification spatiale, etc...

La technologie SWRO est généralement la moins coûteuse en termes de CAPEX et d'OPEX, en raison de son efficacité énergétique, de ses besoins de maintenance réduits, de sa flexibilité et de la disponibilité des matériaux.

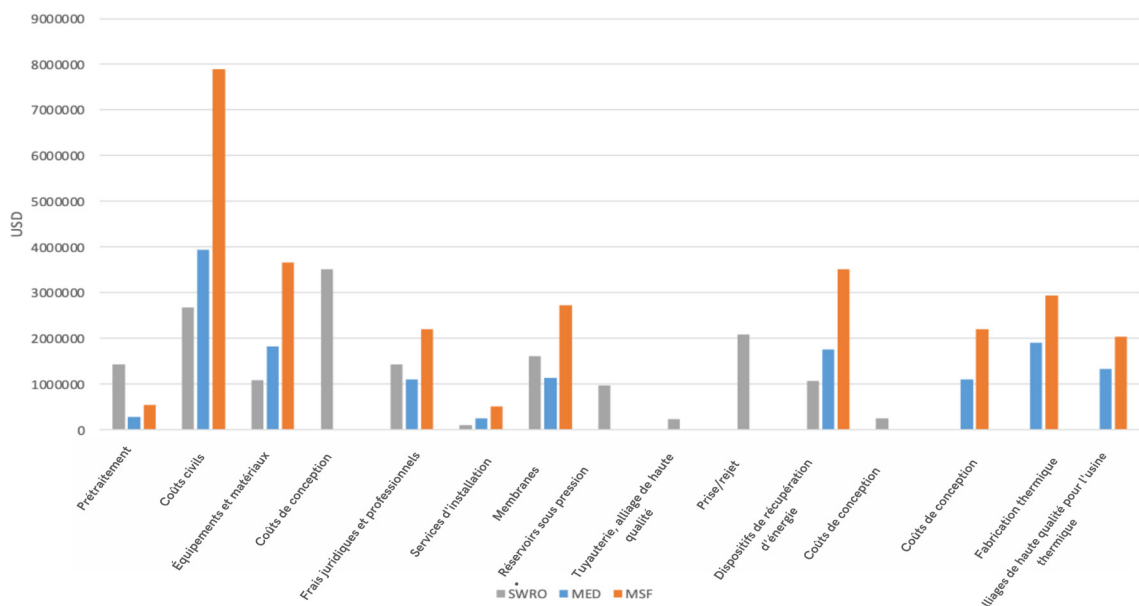


Figure 2 : Comparaison des facteurs des CAPEX par technologies pour la moyenne méditerranéenne.

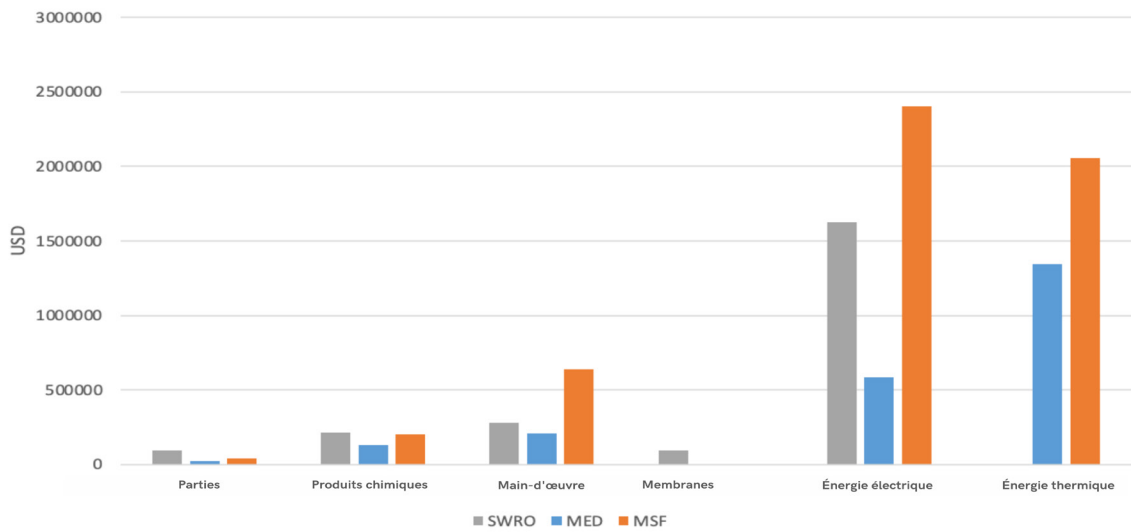


Figure 3 : Comparaison des facteurs des OPEX par technologies pour la moyenne méditerranéenne.

Elle est donc la plus largement utilisée dans les régions où l'énergie est plus chère. Les technologies thermiques sont quant à elles plus énergivores et donc plus coûteuses, mais peuvent être préférables dans des contextes où l'énergie fossile est bon marché ou disponible en tant que sous-produit. L'osmose inverse (SWRO) semble être une option plus économique dans des pays comme Israël et Chypre. Aussi, il est important de considérer les conditions locales dans la planification des projets de dessalement, notamment pour certains pays du Sud comme l'Algérie, qui présente des coûts économiques plus élevés associés aux technologies MED/MSF. Depuis la phase de conception à la phase d'opérationnalisation. À noter que les pays ayant des capacités de production nationale plus élevées peuvent avoir des coûts d'opérationnalisation plus faibles en raison du principe d'économie d'échelle. Ainsi, le coût moyen de production d'un m<sup>3</sup> d'eau dessalée diminue avec la taille de l'usine, passant de 1,25\$/m<sup>3</sup> pour les petites installations à 0,5\$/m<sup>3</sup> pour les grandes, voire même 0,32\$/m<sup>3</sup> pour Soreq II en Israël<sup>9</sup>.

**Une tendance générale vers une augmentation des CAPEX et OPEX pour les usines de dessalement en Méditerranée, malgré des dynamiques variées entre les pays**

Les projections des coûts économiques liés aux usines de dessalement en Méditerranée révèlent une dynamique complexe, non linéaire, marquée par des variations significatives géographiques et temporelles. Ces diverses variations témoignent d'une tendance générale à une augmentation des investissements, soulignant l'importance croissante de cette industrie, notamment pour répondre aux défis de l'approvisionnement en eau pour divers usages (irrigation, industries, consommation, etc...) dans un contexte de changement climatique et de pressions socio-économiques. Les CAPEX, qui représentent les coûts initiaux de construction et d'installation des usines de dessalement montrent des fluctuations importantes entre les pays. Les variations projetées de Desaldata sur l'Algérie, prévoient une augmentation moyenne

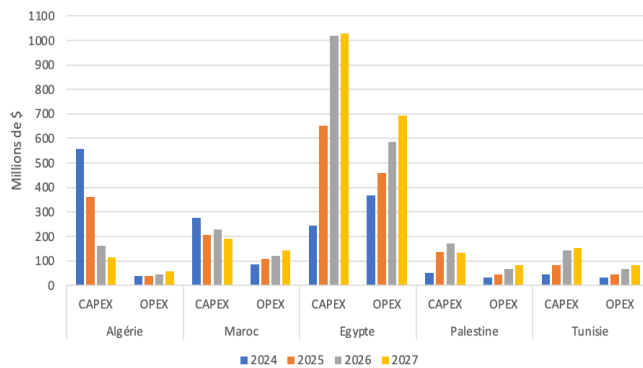


Figure 4 : Comparaison des coûts entre pays ayant des CAPEX>OPEX entre 2024 et 2027.

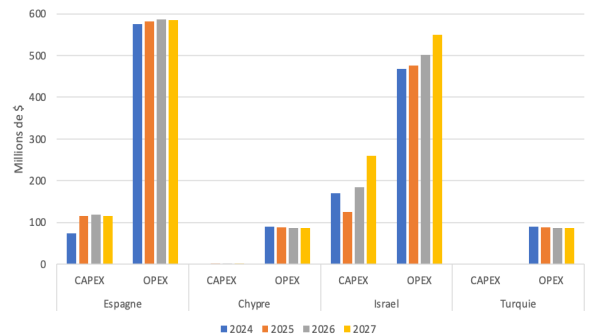


Figure 5 : Comparaison des coûts entre pays ayant des CAPEX<OPEX entre 2024 et 2027.

<sup>9</sup> ibid.



annuelle de ses CAPEX de 96,31% de 2018 à 2027, soulignant un investissement majeur dans le secteur du dessalement<sup>10</sup>. Les OPEX, qui couvrent les dépenses opérationnelles telles que l'énergie, la maintenance, et les coûts de main-d'œuvre, varient également d'un pays à l'autre. Le Maroc, la Palestine et la Tunisie connaissent les augmentations les plus élevées. En revanche, l'Espagne et Chypre présentent des variations minimales, reflétant une stabilité relative des coûts opérationnels<sup>11</sup>.

La comparaison entre les CAPEX et les OPEX révèle des tendances singulières entre pays (Cf. fig. 4, 5). Pour l'Algérie, le Maroc, l'Égypte, la Palestine, et la Tunisie, les CAPEX sont supérieurs aux OPEX, indiquant une phase d'investissements initiaux importants. À l'inverse, pour l'Espagne, Chypre, Israël, et la Turquie, les OPEX surpassent les CAPEX, ce qui pourrait indiquer une phase de maturité des installations de dessalement où les coûts opérationnels deviennent prédominants après une phase d'investissements importants<sup>12</sup>. À noter que les usines de dessalement font partie intégrante des programmes et plans des pays méditerranéens pour l'approvisionnement en eau, comme le montre la vision de l'Égypte pour 2030<sup>13</sup>, prévoyant 142 usines pour 2050<sup>14</sup>, ce qui expliquerait les prévisions extrêmement élevées autant pour ses CAPEX que ses OPEX. Le Programme National pour l'Approvisionnement en Eau Potable et l'Irrigation (PNAEPI) 2020-2027<sup>15</sup> du Maroc s'inscrit aussi dans ce cadre avec le développement de nouveaux projets de dessalement de l'eau de mer.

En outre, les variations des CAPEX et des OPEX reflètent les spécificités de chaque pays en termes de stratégie d'investissement, de technologie utilisée, et de phase de développement des infrastructures de dessalement. Ainsi, les pays connaissant des augmentations importantes de CAPEX démontreraient un engagement fort vers le développement des infrastructures de dessalement, ce qui peut améliorer la sécurité d'approvisionnement en eau mais nécessite des investissements financiers importants. Quant aux OPEX, leur augmentation attendue, en particulier dans des pays comme la Palestine et la Tunisie, pourrait conduire à une hausse des tarifs de l'eau pour les consommateurs, affectant l'accessibilité et la gestion durable de la demande en eau. Les variations des CAPEX et des OPEX soulignent également l'importance de l'efficacité énergétique et la consommation énergétique spécifique<sup>16</sup> ainsi que la durabilité dans les opérations de dessalement, étant donné leur impact significatif sur les coûts opérationnels et l'empreinte environnementale associée.

## Discussions, précautions et futures pistes

Des limites ont été identifiées au cours de l'acquisition, du traitement et de l'analyse des données. L'un des principaux problèmes réside dans la disponibilité des données. En effet, Desaldata offre une certaine quantité de données, mais celles-ci s'avèrent insuffisantes pour une analyse économique complète et holistique. Plusieurs éléments clés manquent, tels que les CAPEX et OPEX détaillées par usine, le type d'énergie utilisée (fossile et/ou renouvelable) et son coût, l'impact environnemental spécifique de chaque usine (à minima ses émissions de CO<sub>2</sub> et la quantité de saumures rejetées), les spécificités du site, voire les additifs chimiques utilisés<sup>17</sup>.

Les types de contrats, les réglementations locales, notamment environnementales, la croissance démographique, les projections de la demande en eau, les prix locaux de l'eau et de l'énergie, des données sur les alternatives au dessalement ainsi que des informations sur les coûts de financement comme le taux d'intérêt, les conditions de prêts et options de financement manquent pour réaliser une analyse socio-économique approfondie<sup>18</sup>.

De plus, pour déterminer plus précisément l'ensemble des coûts de construction des systèmes de dessalement, il faudrait prendre en compte les coûts d'opportunité définis comme la perte d'autres alternatives (ex. réutilisation des eaux usées, gestion durable de la ressource en eau) lorsqu'une de ces alternatives est choisie<sup>19</sup>. De même, la définition des coûts d'externalités pour les usines de dessalement permettrait de monétiser l'empreinte environnementale du dessalement, entre autres<sup>20</sup>. Leur prise en compte apparaît très souhaitable pour permettre le développement d'un dessalement compatible avec le développement durable. Ces lacunes limitent donc la capacité à explorer pleinement les implications environnementales et socio-économiques des usines de dessalement en Méditerranée, limitant la portée de cette étude relative à la viabilité de ces usines.

Cependant, cette note pourrait être considérée comme une première étape vers une compréhension plus approfondie des coûts économiques du dessalement en Méditerranée. Pour des analyses futures plus complètes, une approche méthodologique qualitative pourrait être également envisagée, comprenant des entretiens approfondis avec des acteurs clés de l'industrie, tels que les exploitants d'usines de dessalement, les gouvernements locaux et les investisseurs. Ces entretiens pourraient

<sup>10</sup> cf détails : Antoine Lafitte et Samson Bellieres, « 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 », Plan Bleu Notes, n°45, Plan Bleu, janvier 2024.

<sup>11</sup> ibid.

<sup>12</sup> Joyner Eke, Ahmed Yusuf, Adewale Giwa, Ahmed Sodiq, The global status of desalination: An assessment of current desalination technologies, plants and capacity, Desalination, Volume 495, 2020. Iván Sola, Claudio A. Sáez, José Luis Sánchez-Lizaso, Evaluating environmental and socio-economic requirements for improving desalination development, Journal of Cleaner Production, Volume 324, 2021

<sup>13</sup> Disponible en version arabe ici : [https://mped.gov.eg/files/Egypt\\_Vision\\_2030\\_.pdf](https://mped.gov.eg/files/Egypt_Vision_2030_.pdf)

<sup>14</sup> Marc-Antoine Eyl-Mazzega et Élise Cassagnol, « Géopolitique du dessalement d'eau de mer », Études de l'Ifrri, Ifri, septembre 2022.

<sup>15</sup> Disponible ici : <https://www.maroc.ma/fr/content/programme-national-pour-lapprovisionnement-en-eau-potable-et-lirrigation-pnaepi-2020-2027>

<sup>16</sup> Kiho Park, Jungbin Kim, Dae Ryoook Yang, Seungkwan Hong, Towards a low-energy seawater reverse osmosis desalination plant: A review and theoretical analysis for future directions, Journal of Membrane Science, Volume 595, 2020.

<sup>17</sup> Joyner Eke, Ahmed Yusuf, Adewale Giwa, Ahmed Sodiq, The global status of desalination: An assessment of current desalination technologies, plants and capacity, Desalination, Volume 495, 2020. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114633>.

<sup>18</sup> ref Shokri and Mahdi Sanavi Fard, "Techno-economic assessment of water desalination: Future outlooks and challenges", Process Safety and Environmental Protection, volume 169, pages 564-578, January 2023.

<sup>19</sup> ibid.

<sup>20</sup> ibid.

permettre de recueillir des données détaillées sur les coûts par usine, ainsi que des informations sur les facteurs influençant les décisions d'investissement et les stratégies de financement. De plus, une analyse comparative avec d'autres régions du monde confrontées à des défis similaires en matière d'approvisionnement en eau pourrait enrichir la compréhension des implications socio-économiques et environnementales du dessalement en Méditerranée.

Enfin, notons que le système de la Convention de Barcelone, est attentif à ce que le dessalement s'opère de façon durable, parallèlement à une gestion intégrée de l'eau, conformément aux orientations de la Stratégie méditerranéenne de développement durable (2.1.4, 2.1.5, 2.1.6, 2.1.9)<sup>21</sup>. Pour faciliter une compréhension plus approfondie des coûts économiques du dessalement en Méditerranée, il faut donc favoriser l'échange d'informations et valoriser les bonnes pratiques entre les pays membres. Le dessalement pourrait être abordé dans une révision de la Stratégie méditerranéenne de développement durable, pour réaffirmer la préférence pour des alternatives à moindre impact environnemental ainsi que la nécessité de prendre en compte les externalités environnementales qui sont associées aux activités de dessalement, en adéquation avec l'approche actuelle de gestion durable de la demande promue par le PNUE/PAM.



**La plus grande installation de dessalement d'eau au monde, Hadera Israel - Crédit : Luciano Santandreu**

## BIBLIOGRAPHIE

Antoine Lafitte et Samson Bellieres, « 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 », Plan Bleu Notes, n°45, Plan Bleu, janvier 2024.

Aref Shokri and Mahdi Sanavi Fard, Techno-economic assessment of water desalination: Future outlooks and challenges, Process Safety and Environmental Protection, volume 169, pages 564-578, January 2023.

Edward Jones, Manzoor Qadir, Michelle T.H. van Vliet, Vladimir Smakhtin, Seong-mu Kang, The state of desalination and brine production: A global outlook, Science of The Total Environment, Volume 657, 2019.

Iván Sola, Claudio A. Sáez, José Luis Sánchez-Lizaso, Evaluating environmental and socio-economic requirements for improving desalination development, Journal of Cleaner Production, Volume 324, 2021.

Joyner Eke, Ahmed Yusuf, Adewale Giwa and Ahmed Sodiq, The global status of desalination: An assessment of current desalination technologies, plants and capacity, Desalination, Volume 495, 2020.

Kiho Park, Jungbin Kim, Dae Ryook Yang, Seungkwon Hong, Towards a low-energy seawater reverse osmosis desalination plant: A review and theoretical analysis for future directions, Journal of Membrane Science, Volume 595, 2020.

Marc-Antoine Eyl-Mazzega et Élise Cassignol, « Géopolitique du dessalement d'eau de mer », Études de l'fri, septembre 2022.

## Note légale

Les désignations utilisées et la présentation du matériel dans ce document n'impliquent pas l'expression d'une quelconque opinion de la part du Plan Bleu ou du PNUE/PAM ou d'organisations, concernant le statut juridique de tout État, territoire, ville ou de ses autorités, ou concernant la délimitation de leurs frontières ou limites. Les opinions exprimées dans cette publication ne reflètent pas nécessairement les points de vue du Plan Bleu, du PNUE/PAM ou des organisations contributrices.

## Copyright

Cette publication peut être reproduite en totalité ou en partie et sous quelque forme que ce soit à des fins éducatives et non lucratives, sans autorisation spéciale du détenteur des droits d'auteur, à condition de mentionner la source. Le Plan Bleu apprécierait de recevoir un exemplaire de toutes publications utilisant ce matériel comme source. Cette publication ne peut être utilisée à des fins de revente ou à toute autre fin commerciale sans l'autorisation écrite du Plan Bleu. © ANNEE 2024 Plan Bleu

<sup>21</sup> Nations Unies Environnement/Plan d'action pour la Méditerranée (2003). Dessalement de l'eau de mer en Méditerranée: Évaluation et lignes directrices. MAP Technical Reports Series No. 139. Programme des Nations Unies pour l'Environnement.