

Rapport n° 015883-01
Juillet 2025

Potentiel et limites au développement du dessalement de l'eau de mer en France

Michel PASCAL - IGEDD
Hanitra RAKOTOARISON – IGEDD
Patrick ROUX - IGEDD
Frédéric SAUDUBRAY - IGEDD
(coordonnateur)

<https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/>



Les auteurs attestent qu'aucun des éléments de leurs activités passées ou présentes n'a affecté leur impartialité dans la rédaction de ce rapport

Statut de communication	
<input type="checkbox"/>	Préparatoire à une décision administrative
<input type="checkbox"/>	Non communicable
<input type="checkbox"/>	Communicable (données confidentielles occultées)
<input checked="" type="checkbox"/>	Communicable

Sommaire

Sommaire.....	3
Résumé.....	6
Liste des recommandations.....	8
Introduction	9
1 L'état de la connaissance sur le dessalement aujourd'hui	10
1.1 Le dessalement.....	10
1.1.1 Une pratique ancienne	10
1.1.2 Une pratique en réponse aux tensions croissantes sur la ressource en eau douce	10
1.2 Le dessalement : un essor important dans certaines parties du monde, un recours extrêmement limité en France	12
1.2.1 Dans le monde : un secteur à très forte croissance.....	12
1.2.2 En France : principalement dans les territoires insulaires	14
1.2.3 Des groupes français leader	15
1.3 Des technologies matures avec une forte prédominance de l'osmose inverse ...	16
1.3.1 Les technologies opérationnelles	16
Tableau 1 : Avantages et inconvénients des différentes technologies de dessalement.....	18
1.3.2 La recherche-développement.....	18
1.4 Des impacts et risques environnementaux réels mais insuffisamment caractérisés et publics.....	21
1.4.1 Impacts des infrastructures	22
1.4.2 Impacts du fonctionnement : les deux challenges environnementaux du dessalement.....	23
1.4.3 Quelles mesures pour réduire les impacts environnementaux	28
1.4.4 Qualité de l'eau produite et risques sur la santé humaine	29
1.5 Des coûts de revient de l'eau dessalée qui diminuent en fonction de la taille des usines	30
1.5.1 Les coûts d'investissement	31
1.5.2 Décomposition du coût de l'eau dessalée	32
1.5.3 Le financement du dessalement :.....	34

2 Les prérequis au développement du dessalement	36
2.1 Les usages et territoires à cibler	36
2.1.1 Un usage prioritaire : l'alimentation en eau potable	36
2.1.2 Des territoires prioritaires	39
2.2 D'une gestion dans l'urgence à une gestion anticipatrice... qui doit s'inscrire dans les documents stratégiques et de planification	40
2.2.1 Ne pas attendre l'urgence pour gérer le dessalement	40
2.2.2 Utiliser les résultats des démarches prospectives	41
2.2.3 Prendre en considération le dessalement dans la planification	42
2.3 Éviter l'effet rebond du dessalement sur la consommation d'eau	42
2.4 L'échelle d'analyse et de décision à privilégier	44
2.5 Changer de paradigme par rapport au dessalement	45
3 Quelles mesures prendre pour maîtriser le développement du dessalement	50
3.1 Adopter une réglementation pour maîtriser les conditions de développement du dessalement	50
3.1.1 Les réglementations environnementales des autres pays et les lignes directrices internationales	50
3.1.2 Les réglementations françaises	51
3.2 Autres mesures accompagnatrices au développement du dessalement	55
3.2.1 Analyser les synergies possibles avec d'autres industries	55
3.2.2 Analyser la résilience du système d'alimentation en eau douce, notamment en milieu insulaire	56
Conclusion	59
Annexes	60
Annexe 1. Lettre de mission	61
Annexe 2. Les impacts environnementaux	64
Annexe 2.1. Effets de l'augmentation de la salinité sur les écosystèmes	64
Annexe 2.2. Effets écologique et toxicologique des saumures sur les écosystèmes marins autour d'usines existantes	65
Annexe 3. Analyses prospectives des ressources et besoins en eau	66
Annexe 3.1. Explore 2	66
Annexe 3.2. La demande en eau - Prospective territorialisée à l'horizon 2050 -	

France Stratégie	69
Annexe 4. Le dessalement à Mayotte	71
Annexe 5. Usines dans les Antilles	75
Annexe 5.1. L'usine de Saint Barthélémy	75
Annexe 5.2. L'usine de Saint Martin	78
Annexe 6. Petites unités de dessalement dans les ports de plaisance en Occitanie	81
Annexe 7. Le dessalement en Espagne	83
Annexe 8. Le dessalement au Maroc	88
Annexe 9. Réglementation relative aux rejets d'eaux sales par les navires	95
Annexe 10. Lignes directrices pour une usine de dessalement	96
Annexe 11. Liste des personnes rencontrées	102
Annexe 12. Glossaire des sigles et acronymes	118

Résumé

À l'échelle mondiale, le développement du dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre connaît une croissance très importante, voire exponentielle. En 2023, on dénombre environ 22 000 unités de dessalement en fonctionnement produisant quotidiennement 110 millions de m³ d'eau. Historiquement, le dessalement s'est d'abord développé au Proche et Moyen-Orient et ensuite dans des pays d'Afrique du Nord. En Europe, il est présent principalement sur le pourtour méditerranéen, en particulier en Espagne (avec plus de 700 unités de dessalement).

La technologie de l'osmose inverse domine largement le marché du fait de sa consommation énergétique plus faible que les procédés thermiques. Malgré d'importants progrès ces dernières décennies, cette technologie reste confrontée à deux challenges environnementaux majeurs : la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre associés, d'une part, et la gestion des saumures, traditionnellement rejetées à la mer, d'autre part, et cela même si les impacts environnementaux sont généralement considérés comme faibles et localisés du fait de la dilution.

Les coûts de production d'eau douce par dessalement restent plus élevés que l'eau conventionnelle, mais les effets d'échelle sur la taille des usines et les progrès technologiques (récupération d'énergie) ont permis de les réduire. Le dessalement d'eau de mer permet par ailleurs d'obtenir une eau de meilleure qualité, *a priori* exempte de micropolluants (pesticides, métaux toxiques, polluants organiques).

Aujourd'hui, en France, le dessalement est considéré comme la solution de dernier recours en cas d'insuffisance de ressources en eau douce. Son développement reste donc très marginal : il est utilisé pour l'alimentation en eau potable dans certains territoires d'outre-mer (Mayotte, Saint Martin, Saint-Barthélemy...) et territoires insulaires (Corse, Île de Sein), ainsi que pour la production d'eau douce pour certains ports de plaisance et quelques sites industriels. La plus grande unité en fonctionnement n'atteint pas 10.000 m³/jour.

Il n'est pas question aujourd'hui de définir un plan de développement au niveau national comme cela a été fait en Espagne ou au Maroc, au demeurant tous deux confrontés à un stress hydrique plus important. L'objectif de cette mission n'est pas de promouvoir le dessalement mais de fournir des éléments d'information et de réflexion au ministère chargé de l'environnement pour qu'il soit en capacité de répondre à des sollicitations d'élus, de collectivités ou d'industriels. L'objectif est aussi d'anticiper d'éventuels besoins afin de permettre, si cela s'avère nécessaire, de développer l'offre en eau douce incluant le cas échéant le dessalement et ce, dans les meilleures conditions possibles.

Cette anticipation semble d'autant plus pertinente que les tensions sur les ressources en eau risquent de s'accroître du fait du changement climatique, principalement dans le sud-ouest de la France du fait de la raréfaction de la ressource, et également du fait de l'altération des eaux actuellement exploitées (fermeture de captages du fait de pollutions qui ne permettent plus d'utiliser les eaux brutes pour produire de l'eau potable, remontée du biseau salé sur certains territoires littoraux...). D'autre part, sur le plan économique, il est probable que le dessalement devienne de plus en plus compétitif par rapport aux autres sources d'alimentation en eau potable. En effet, des traitements supplémentaires risquent de devoir être mis en œuvre sur les procédés classiques pour éliminer certains pesticides, les PFAS, etc., traitements qui ne sont pas nécessaires avec le dessalement puisque celui-ci les élimine.

Malgré tout, le dessalement ne doit pas être considéré comme une solution de facilité pour répondre au moindre déficit en eau, ni induire un effet rebond sur la consommation. Si la mission considère qu'il faut changer de paradigme et considérer le dessalement, non plus comme le dernier recours et uniquement en cas d'urgence, mais comme une des solutions possibles pour répondre à un stress hydrique, il y a des conditions pré requises avant de développer le dessalement. Bien évidemment la priorité, qui constitue un préalable, doit porter sur les mesures de sobriété et de réduction des pertes sur les réseaux.

Les territoires sur lesquels le développement du dessalement peut être considéré doivent être définis : la mission a identifié trois types de territoires à savoir les territoires disposant de ressources

conventionnelles insuffisantes (en particulier des territoires insulaires), les territoires disposant actuellement de ressources altérées (pesticides, biseau salé) difficiles à restaurer à court terme et les territoires qui vont être confrontés à un stress hydriques plus important dans les prochaines décennies (consensus sur le sud-ouest de la France selon Explore 2). Sur ces derniers, le choix entre différentes ressources (exploitation plus intense de ressources conventionnelles, réutilisation des eaux usées traitées) doit faire l'objet d'une analyse coût-bénéfice. Enfin, et pour éviter un développement anarchique du dessalement, il est important d'anticiper les futurs déséquilibres entre ressources et besoins et arrêter de construire des usines de dessalement dans des situations d'urgence ne permettant pas d'optimiser ces unités. Cela implique de prendre en considération le dessalement dans divers documents de planification relatifs à l'eau (SAGE, SDAEP par exemples) mais aussi à la mer (document stratégique de façade - DSF ; schéma de mise en valeur de la mer - SMVM) et à l'énergie (programmation pluriannuelle de l'énergie - PPE).

Dans le cas où le développement du dessalement s'imposerait, plusieurs précautions ou préconisations peuvent être formulées :

1. Rendre obligatoire la réalisation d'un schéma directeur d'alimentation en eau potable et assainissement (SDAEP) avec un volet intégrant les actions de sobriété
2. Rendre obligatoire le monitoring environnemental et la publication de ses résultats
3. Appliquer le principe de précaution en interdisant les rejets dans les zones à forts enjeux environnementaux (zones protégées) et dans les zones avec un faible courant.
4. Développer des recherches sur les effets à long terme des saumures sur les écosystèmes et sur le traitement des saumures.
5. Eviter un effet rebond¹ sur la consommation d'eau douce, et envisager le dessalement uniquement si le coût complet de l'eau peut être couvert globalement par les bénéficiaires.
6. Analyser les synergies possibles avec les autres industries présentes sur les territoires devant recourir au dessalement, ceci afin de permettre de réduire les coûts ou les impacts du dessalement (utilisation de chaleur fatale, dilution des rejets avec des eaux industrielles, etc.).
7. Utiliser le dessalement prioritairement pour la production d'eau potable et éviter de multiplier des petites unités pour permettre des économies d'échelle et faciliter la gestion (compétences et suivi environnemental), ce qui implique de mener les réflexions sur des territoires assez importants (entre 0,5 et 1 million d'habitants).

Pour terminer, et toujours dans un objectif d'anticiper les effets du changement climatique et les tensions sur l'eau, et sur la base des expériences des pays visités, la mission préconise de prendre des mesures pour encadrer le dessalement à savoir :

1. Adapter le code de l'environnement en créant une rubrique « dessalement » dans la rubrique ICPE;
2. Créer une compétence « dessalement » à la DGPR et à la DEB ;
3. Élaborer un arrêté générique fixant les prescriptions minimales à respecter et établir une instruction (lignes directrices) pour les services de l'État et les opérateurs pour l'implantation d'une usine d'eau de mer ou d'eau saumâtre, incluant un dossier type ;
4. Adapter le code de la santé publique en modifiant l'arrêté du 11 janvier 2007 (annexe II portant sur la qualité des eaux brutes) pour qu'il s'applique aux eaux salées sans obligation de dérogation systématique (en particulier des paramètres chlore ou sodium).

En conclusion, aujourd'hui, le développement du dessalement ne constitue pas une priorité pour la France. Il constitue néanmoins une réponse adaptée aux besoins de certains territoires et il est probable que des demandes émergent dans les prochaines années. Anticiper, préparer un tel développement, augmenter les compétences, sont nécessaires pour permettre une mise en place maîtrisée du dessalement.

¹ L'effet rebond ici désigne le phénomène par lequel la production d'eau dessalée inciterait les usagers à augmenter leur consommation globale d'eau douce.

Liste des recommandations

- Recommandation 1.** (1) [DEB et DGPR] Rendre obligatoire le monitoring environnemental des usines de dessalement et la publication de ses résultats ainsi que la communication, dans les études d'impacts, des résultats du monitoring environnemental des usines déjà exploitées par le demandeur. (2) [DEB & MESR] Développer les recherches sur les effets à long terme des saumures sur les écosystèmes et leur contamination des chaînes trophiques, et sur la réduction à la source et le traitement des saumures. (3) [DEB] Interdire les rejets dans les zones de protection forte..... 30
- Recommandation 2.** [DEB] Eviter autant que possible la multiplication, sur une même territoire, d'unités de dessalement de petite capacité (< 35.000 m³ jour) afin d'optimiser le coût de revient de l'eau dessalée, faciliter la gestion des compétences et permettre un suivi environnemental de qualité. 35
- Recommandation 3.** [DEB] Prioriser le dessalement pour l'alimentation en eau potable et sur trois types de territoires : les territoires insulaires d'ores et déjà déficitaires, ceux confrontés à une dégradation des eaux exploitées et sans autres ressources et ceux qui devront faire face à un accroissement du stress hydrique dans les prochaines décennies (sud-ouest de la France). 39
- Recommandation 4.** [DEB, DGEC] Développer une gestion du dessalement par anticipation en valorisant les résultats des démarches prospectives en France métropolitaine et en développant des démarches équivalentes dans les Outre-Mer et (2), en inscrivant le dessalement dans les documents stratégiques ou directeurs concernés : SDAEP, SDAGE/SAGE, SDAEP, DSF, Schéma régional sur l'énergie ou PPE et les ENR. 42
- Recommandation 5.** [Collectivités] Éviter l'effet rebond sur la consommation d'eau en adoptant une tarification incitative aux économies d'eau, tout en s'assurant que le coût global de l'eau dessalée soit couvert par les bénéficiaires de l'eau douce produite (avec possibilité de dérogation pour les territoires insulaires de petite taille). 44
- Recommandation 6.** [Collectivités, DEB & DGCL] Choisir une échelle de décision et de gestion du dessalement correspondant soit à un EPCI de taille importante (population), soit à une somme d'EPCI voire à un syndicat départemental de l'eau. La décision doit alors prendre en considération à la fois des prérequis définis nationalement et une analyse coûts-avantages des différentes options à l'échelle de ce territoire..... 45
- Recommandation 7.** [DEB] Considérer le dessalement comme un élément du mix d'approvisionnement en eau douce : 1) sous condition d'avoir mis en œuvre des actions de réduction de la demande (sobriété, solutions fondées sur la nature, solutions technologiques d'économie d'eau) et de réduction des pertes sur les réseaux 2) en réalisant des analyses coûts-avantages comparatives, intégrant les coûts environnementaux, avec les autres solutions (REUT, prélèvement supplémentaire dans les eaux conventionnelles...). 49
- Recommandation 8.** [DEB, DGPR, DGS] Sur le plan réglementaire, la mission recommande (1) d'établir une instruction pour les services de l'État pour l'implantation d'une usine d'eau de mer ou d'eau saumâtre, incluant un dossier type ; (2) par rapport au Code de l'environnement : de rédiger un arrêté générique sur les usines de dessalement et de créer une rubrique « dessalement » dans les rubriques ICPE, ce qui implique de créer une compétence dessalement à la DGPR ; (3) par rapport au Code de la santé publique : de modifier l'arrêté du 11 janvier 2007 pour qu'il s'applique aux eaux salées sans obligation de dérogation systématique en particulier sur les paramètres chlore et sodium ainsi que l'arrêté du 12 juin 2012 afin d'y inclure, en annexe, la liste des membranes de filtration ayant obtenu une attestation de certification sanitaire..... 55
- Recommandation 9.** [DEB, collectivités] Dans le cas d'un développement du dessalement : (1) analyser les possibilités et intérêts du couplage avec d'autres activités industrielles (2) concevoir des projets résilients (capacité d'adaptation à l'évolution des besoins, capacité de stockage, diversité des sources d'approvisionnement en eau, maîtrise technique des opérateurs...)..... 58

Introduction

La ministre chargée de la transition écologique a commandé une mission d'information et d'anticipation sur le dessalement. L'objectif n'est pas de planifier un développement du dessalement mais de permettre au ministère de disposer d'informations pour :

- être en mesure de répondre à des sollicitations de collectivités, des élus, des agriculteurs et des industriels ;
- formuler des avis et recommandations quant à l'implantation d'unité de dessalement sur le territoire français, ce qui implique de définir des critères de choix (usages, capacité, technologie, monitoring, etc.) ;
- contribuer à définir une position française et la place que pourrait éventuellement prendre le dessalement dans un mix d'approvisionnement en eau douce tout en intégrant des objectifs de sobriété.

La mission a réalisé environ 80 entretiens avec plus de 150 personnes (directions d'administrations centrales, services déconcentrés de l'État, entreprises, chercheurs, collectivités, élus, associations environnementales...) et a effectué six déplacements sur le terrain (Pyrénées-Orientales, Mayotte, Saint-Barthélemy, Saint-Martin, Espagne, Maroc).

La mission a également examiné de nombreux documents et procédé à une enquête auprès de l'ensemble des DREAL.

Le rapport présente, tout d'abord, un état des lieux du dessalement aux échelles mondiale et nationale. Ensuite, sont mentionnés les prérequis à mettre en œuvre préalablement à un développement du dessalement. Pour terminer, la mission préconise quelques mesures nécessaires pour accompagner un développement potentiel du dessalement.

1 L'état de la connaissance sur le dessalement aujourd'hui

1.1 Le dessalement

Le dessalement a pour objet de produire de l'eau douce à partir d'eau de mer ou d'eau saumâtre qui se définissent selon le taux de sel :

- Eau douce : < 0,5 g / l
- Eau saumâtre : entre 0,5 et 30 g / l
- Eau salée : au-delà de 30 g / l
(La salinité moyenne des océans est de 35g/l)

Pour obtenir 1 litre d'eau douce à partir de l'eau de mer, il faut prélever 2 litres (rendement de 50%) ou 2,5 litres (rendement de 40%) d'eau de mer.

Composition chimique type d'une eau salée à 35 g / l :

○ Chlorure :	19,25 g (55%)
○ Sodium :	10,70 g (30,6%)
○ Sulfate :	2,70 g (7,7%)
○ Magnésium :	1,30 g (3,7%)
○ Calcium :	0,42 g (1,2%)
○ Potassium :	0,39 g (1,1%)
○ Autres * :	0,25 g (0,7%)

* : bicarbonates, bromure, acide borique, carbonate, fluorure...

1.1.1 Une pratique ancienne

Le dessalement de l'eau de mer est un procédé ancien. Son histoire remonte à 1400 ans av JC quand les habitants du bord de mer utilisaient la distillation pour obtenir de l'eau douce. Vers l'an 200 après JC, des unités de dessalement ont commencé à apparaître principalement pour fournir de l'eau douce à l'équipage à bord des navires. La première usine terrestre de dessalement d'eau de mer a été construite en Tunisie en 1560. Les premiers brevets de dessalement d'eau de mer ont été déposés en Angleterre en 1675. En 1872, le Chili a développé la première unité de dessalement à énergie solaire qui a alimenté la ville minière de Las Salinas pendant 40 ans.

Le développement à grande échelle a été initié après la seconde guerre mondiale et différentes technologies ont été développées (cf. paragraphe 1.3).

1.1.2 Une pratique en réponse aux tensions croissantes sur la ressource en eau douce

1.1.2.1 Des tensions sur la ressource en eau douce

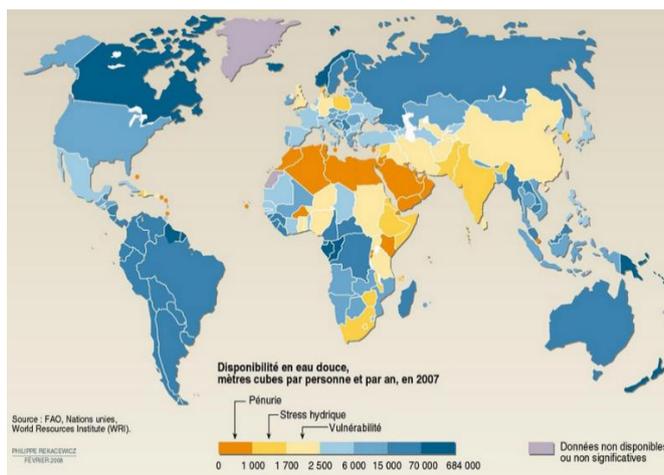
Le stress hydrique peut s'exprimer :

- de manière absolue c'est-à-dire en quantité d'eau douce renouvelable disponible pour chaque personne chaque année [définition originelle donnée par Malin Falkenmark en 1987 qui avait proposé trois seuils permettant de qualifier le degré d'intensité de la pénurie : 1 700 m³ par personne par an pour le « stress hydrique » ; 1 000 m³ par personne par an pour la pénurie ; 500 m³ par personne par an pour la « barrière hydrique » synonyme de pénurie chronique ou absolue].

La France, avec 3262 m³ par an et par habitant (source : *Centre d'information sur l'eau*), n'est pas classée en « stress hydrique » au sens de la définition de Malin Falkenmark.

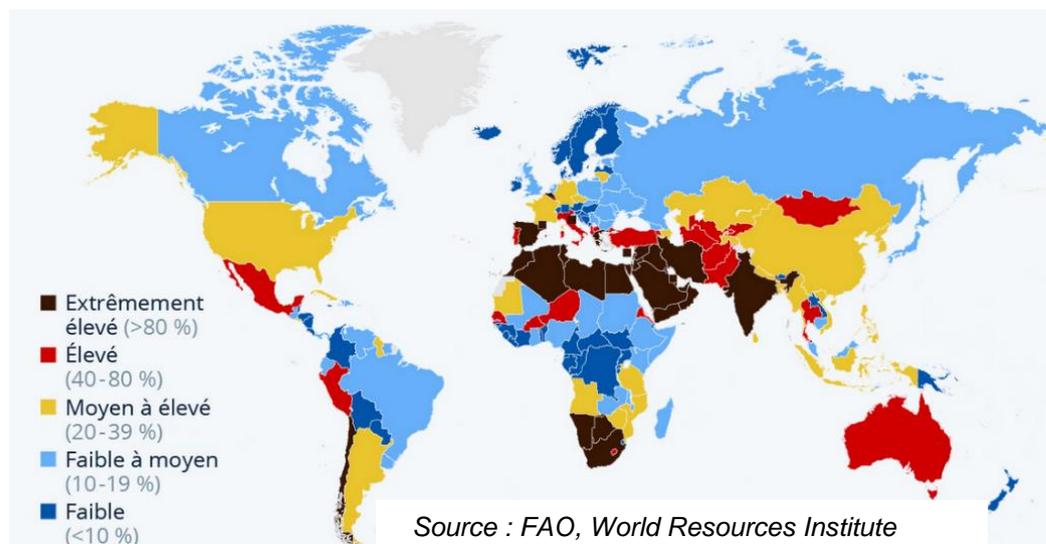
- de manière relative c'est-à-dire en pourcentage (%) du rapport entre le besoin en eau et les ressources en eau disponibles. La carte ci-après représente une projection du rapport entre les prélèvements d'eau et les ressources renouvelables disponibles en 2050 (avec une augmentation de température comprise entre 2,8 et 4,6 °C et un scénario « *business as usual* »).

Figure 1 : Disponibilité en eau douce (en m³) par personne et par an



Source : FAO, World Resources Institute

Figure 2 : Projection du stress hydrique en 2050



Comme le montre cette carte, le stress hydrique relatif est amené à s'aggraver dans les décennies à venir, en raison de l'évolution du climat, mais aussi de la croissance démographique et du développement de l'urbanisation. Selon les prévisions, 51 pays seront confrontés à des niveaux de stress hydrique « extrêmement élevés » ou « élevés » à l'horizon 2050, dont 9 en Europe. Quant à la France, elle devrait présenter un niveau de stress hydrique « moyen à élevé » à l'échelle nationale à cette date, même si certaines régions du sud du pays seront naturellement davantage menacées (niveaux « élevés » à « extrêmement élevés »).

Si la notion de volume minimal d'eau domestique à fournir à une personne n'est pas fixée dans la réglementation, selon certaines sources (Aqua Publica Europea - 2016), dans un pays développé, le besoin de consommation par personne est évalué à 100 litres/j, soit 36,5 m³/an. Ce besoin diminue avec l'augmentation de la taille du foyer. Les standards humanitaires, comme ceux du projet Sphère (en lien avec l'OMS), recommandent un minimum de 50 litres par jour (soit 18,25 m³/an) par personne pour couvrir les besoins vitaux. A titre de comparaison, la consommation domestique moyenne en France, hors eau en bouteille², est de 149 litres³ d'eau potable par jour, soit 54 m³ par an. Elle se répartit en moyenne comme indiqué en note de bas de page⁴.

En France, l'année 2022 a mis en exergue les tensions sur les ressources en eau douce sur l'ensemble du territoire national, tensions déjà révélées à Mayotte en 1997 (où les habitants subissent des tours d'eau depuis plusieurs années : alimentation en eau un jour sur trois) :

- Pyrénées orientales (arrêté de restriction toujours en vigueur), Environ 1200 communes ont connu des ruptures d'alimentation en eau potable ;
- 93 départements ont fait l'objet d'arrêtés de restrictions liées à la sécheresse.

Ces tensions sur les ressources en eau risquent de s'accroître dans le futur du fait du changement climatique (diminution des pluies dans le sud pendant l'été, augmentation de l'évapotranspiration qui pourrait accroître les besoins pour l'agriculture, par exemple) et de la dégradation qualitative de certaines ressources actuellement utilisées (remontée du biseau salé, pollution de certaines ressources...).

² La consommation d'eau en bouteille est en moyenne en France de 135 l par personne et par an, soit 0,4 l par jour. Elle représente moins de 0,3% de la consommation d'eau.

³ Il s'agit de la consommation domestique (« au robinet »). Ce chiffre n'intègre pas les pertes sur les réseaux estimées à 20% en moyenne en France

⁴ Source CIEAU :

39 % pour l'hygiène ;	6 % pour la voiture et le jardin ;
20 % pour les sanitaires ;	6 % pour la cuisine ;
12 % pour le lave-linge ;	6 % pour d'autres usages divers ;
10 % pour la vaisselle ;	1 % pour la boisson.

1.1.2.2 Les eaux salées : une ressource considérable

Les océans couvrent 75 % de la planète et les eaux salées représentent 97,2 % du volume des eaux sur Terre. L'eau douce se répartit de la manière suivante, en volume : eau de glace (68,6 %), eaux souterraines (30,1 %) et eaux de surface (1,3 %). L'eau douce, considérée comme facilement disponible ne représente que 0,07 % de la ressource totale d'eau.

Considérant l'abondance des eaux salées, leur disponibilité permanente (absence de caractère saisonnier) et leur accessibilité (plus particulièrement dans les zones côtières qui connaissent des densités de population supérieures à la moyenne des territoires⁵), le dessalement peut être considéré comme une réponse aux tensions sur les ressources en eau douce :

- Il constitue une solution pour les pays ou territoires subissant un stress hydrique élevé et où les solutions conventionnelles sont insuffisantes, pour la population résidente. En France, c'est le cas de certains territoires insulaires (Mayotte et les îles « sèches », telles que St Martin ou St Barthélémy...).
- Il peut également constituer une solution « complémentaire » pour pallier des déficits saisonniers ou conjoncturels (Espagne, Australie ...).

Dans certains pays, le dessalement, mobilisé originellement pour répondre à l'insuffisance des ressources en eau potable, est devenu la réponse « classique » à tous les besoins en eau, fondamentaux ou non, y compris de nouveaux besoins. Ainsi certains pays ayant une consommation en eau potable par habitant largement au-dessus des standards internationaux, en augmentation, continuent de développer le dessalement (cas de l'Arabie Saoudite qui développe le dessalement avec une consommation en eau potable qui a augmenté pour atteindre une valeur supérieure à 350 l par habitant).

1.2 Le dessalement : un essor important dans certaines parties du monde, un recours extrêmement limité en France

1.2.1 Dans le monde : un secteur à très forte croissance

En 2023, on dénombrait dans le monde, environ 22 000 usines de dessalement pour une capacité totale de 110 millions de m³ d'eau produite par jour au bénéfice de 660 millions de personnes desservies (source : DESALDATA).

Ce chiffre intègre les usines de dessalement d'eau de mer et d'eaux saumâtres quels que soient leurs usages.



Figure 3 : Carte illustrant la répartition spatiale de la capacité de dessalement dans le monde

Source : International Desalination Association (IDA) ⁶

⁵ Selon l'ANEL (Association nationale des élus des littoraux), les 1219 communes littorales représentent 4 % du territoire mais concentrent 12 % de la population permanente.

⁶ Article David Driver - How much does the desalination plant cost? <https://chunkewatertreatment.com/how-much-does-desalination-plant-cost/>

La capacité de dessalement a connu une croissance exponentielle pendant les dernières décennies passant de 14,5 millions de m³ par jour en 2000 à 110 millions de m³ par jour en 2023 :

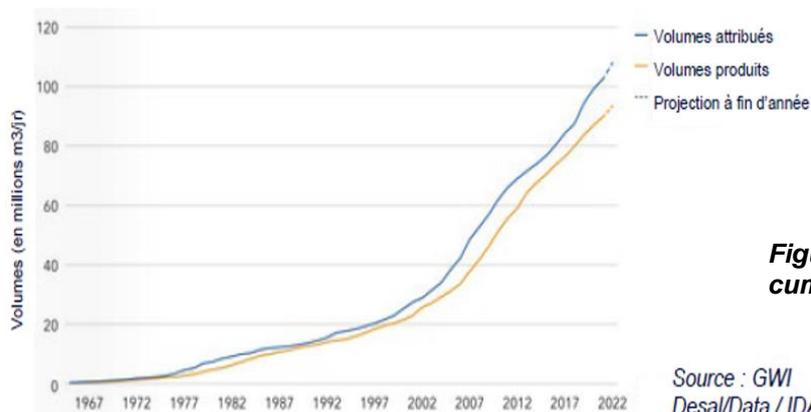


Figure 4 : Capacité de dessalement cumulée dans le monde

Source : GWI
Desal/Data / IDA

- 356 nouvelles usines de dessalement ont été recensées entre 2022 et 2023
- Les dépenses d'investissement pour le dessalement en 2023 se sont élevées à quasiment 6 milliards USD. En 2022, la capacité contractée a augmenté de 4,4 millions m³/jour -. [Source : *Desalination plants 30th Inventory (2023)*]
- Le secteur connaît une croissance annuelle de l'ordre de 6 % à 10 %. Selon le site Businesswire⁷, le marché mondial du dessalement de l'eau devrait quasiment doubler entre 2022 et 2032.
- Les projets récents (réalisés ou en cours) traduisent un accroissement de la taille des usines de dessalement :
 - ✓ Ras Al Khair (Arabie Saoudite) : 1 100 000 m³ /j
 - ✓ Taweelah (UAE) : 900 000 m³ /j
 - ✓ Rabat (Maroc) : 800 000 m³ /j
 - ✓ Sorek (Israël) : 625 000 m³ /j

À titre de comparaison, les besoins en eau potable pour la ville de Paris sont de l'ordre de 620.000 m³/jour

Dans plusieurs pays la majorité de l'eau potable est produite à partir d'eau salée

La majorité des pays du Golfe dépendent désormais en grande partie de l'eau dessalée pour la consommation de leurs habitants : aux Émirats arabes unis (EAU), 42 % de l'eau potable provient d'usines de dessalement. Ce chiffre atteint 90 % pour le Koweït, 86 % pour Oman et 70 % pour l'Arabie Saoudite. Israël est le deuxième plus important producteur d'eau dessalée du monde. Il est prévu en outre que les capacités de dessalement des pays du Moyen-Orient doublent quasiment d'ici 2030.

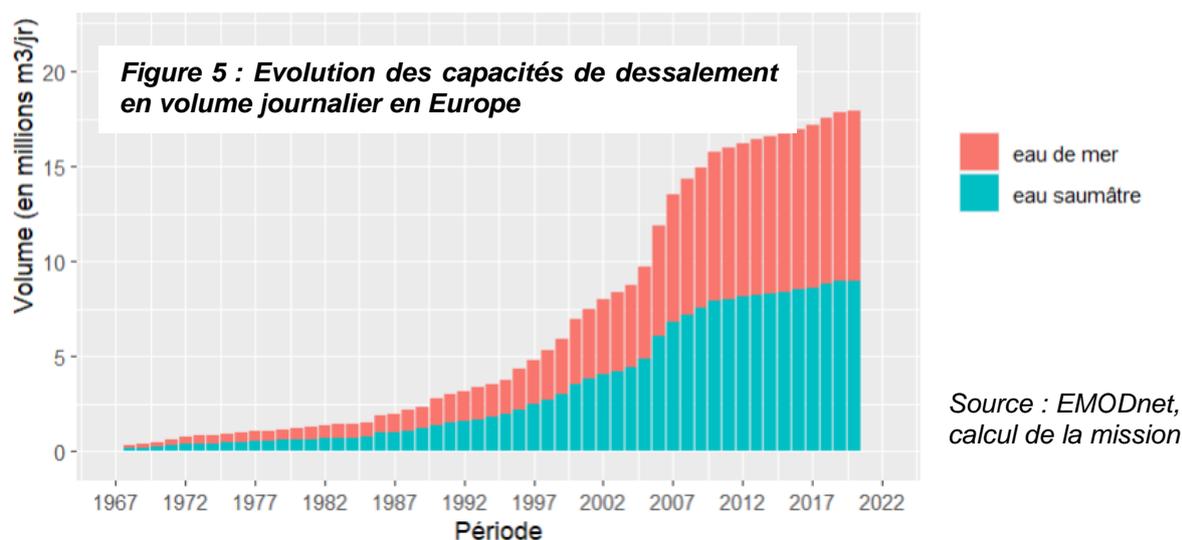
En Afrique du Nord ou méditerranéenne, les pays ayant recours au dessalement sont de plus en plus nombreux. L'Égypte a élaboré un plan de développement du dessalement qui prévoit la construction de 50 usines. Au Maroc, 16 usines sont aujourd'hui opérationnelles et il est prévu un plan de construction d'usines afin que 50 % de l'eau potable provienne du dessalement à échéance de 2050 (avec une capacité de 1 milliard de m³ par an).

Le dessalement se développe également dans plusieurs pays d'Asie (en Inde, en particulier). Dans de nombreuses parties du monde, les besoins en eau douce des zones insulaires sont couverts, au moins en partie, grâce au dessalement : Cebu aux Philippines, Cap-Vert, les Canaries (66 % des habitants), Les Baléares (50 % des habitants), les Maldives, Malte (l'eau dessalée représente plus de 50% de l'eau potable consommée).

L'Europe représente moins de 15 % du volume mondial d'eau dessalée et la croissance du marché est nettement plus faible (de l'ordre de 1,3 % selon les données provenant du Réseau européen d'observation et de données marines [EMODnet⁸]).

⁷ <https://www.businesswire.com/news/home/20240708780362/en/Global-Desalination-Industry-Research-2024-A-36.98-Billion-Market-by-2032---Analysis-by-Technology-Application-Water-Source-Regions-and-Company---ResearchAndMarkets.com>

⁸ <https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/>



L'Espagne est le premier producteur européen d'eau dessalée (cinquième dans le monde). Un vaste plan de dessalement a en effet été mis en place à partir du milieu des années 2000 afin de remédier au manque structurel d'eau sur le littoral méditerranéen. En 2023, elle comptait un total de 765 usines de dessalement (380 pour l'eau de mer) dont la production est supérieure à 100 m³/jour, et pour une capacité totale de 713 millions de m³ par an.

Le dessalement se développe également en Italie, Grèce, Chypre...

1.2.2 En France : principalement dans les territoires insulaires

En France, le recours au dessalement est à ce jour très marginal. Après enquête auprès de l'ensemble des DREAL, la mission a identifié quinze unités de dessalement déjà existantes et cinq en projet :

- Pour l'eau potable, on recense 7 unités de dessalement, toutes situées sur des territoires insulaires : île de Sein, Saint Barthélémy, Saint Martin, Mayotte (Petite Terre), Corse (Roguardo), Nouvelle Calédonie et Polynésie (Bora Bora). Des unités de dessalement ont également été installées de manière temporaire pour faire face à des situations critiques sur l'île de Groix (2023) et à Belle île (2006 & 2022).

Une seule nouvelle construction de 10.000 m³/jour est aujourd'hui programmée à Mayotte. Des projets ou réflexions sont en cours à Mayotte (remplacement et modernisation/agrandissement de l'usine de Petite Terre, agrandissement de l'usine en projet), à Saint Martin (extension de l'usine) et sur l'île de Molène (implantation d'une petite unité).

- Pour l'industrie, la mission a identifié :
 - Vendée : LHYFE BOUIN (production d'hydrogène par électrolyse de l'eau dessalée)
 - Martinique : Société Anonyme de la Raffinerie des Antilles (SARA) ; EDF Production Electricité Insulaire Bellefontaine
- Pour l'agriculture : un domaine viticole - Marseillan (34) - irrigué à partir des eaux de la station d'épuration, ayant un taux de salinité élevé et nécessitant un dessalement.
- Pour les ports :
 - 4 unités fonctionnelles : port de la Rague (06), port de Port-Leucate (11), port de Saint Cyprien (66), port de Canet (66)
 - 4 unités en projet : port de Grimaud (83), port de Borne les Mimosas 83), port de Porquerolles (83), port de Fréjus (83)
 - 1 unité à l'arrêt : port de Port-Vendres (66)

L'objectif est généralement de produire de l'eau douce (non reminéralisée) pour assurer les activités portuaires (nettoyage des bateaux, carénage...). Il ne s'agit pas de délivrer de l'eau potable aux plaisanciers.

La France ne dispose d'aucune usine de dessalement de grande capacité. Les usines opérationnelles les plus importantes aujourd'hui sont dans la tranche 5 000-10 000 m³/j (St Martin, St Barthélémy, Mayotte Petite Terre). Les futures usines (Mayotte Grande Terre, extension Saint Martin) atteindront ou dépasseront légèrement les 10 000 m³/jour.

Une enquête conduite par l'association nationale des élus des littoraux (ANEL) à son initiative, a montré que 90% des communes littorales ne considèrent pas le dessalement comme une solution à court ou moyen terme.

Sur le bassin méditerranéen, marqué par un stress hydrique important, la France occupe une position singulière puisqu'elle ne recourt pas au dessalement pour l'eau potable, mis à part en Corse (très petite unité), contrairement à la majorité des autres pays (Espagne, Italie, Grèce, Chypre, Algérie, Maroc, Malte...) qui l'utilisent de manière massive Cf. carte.

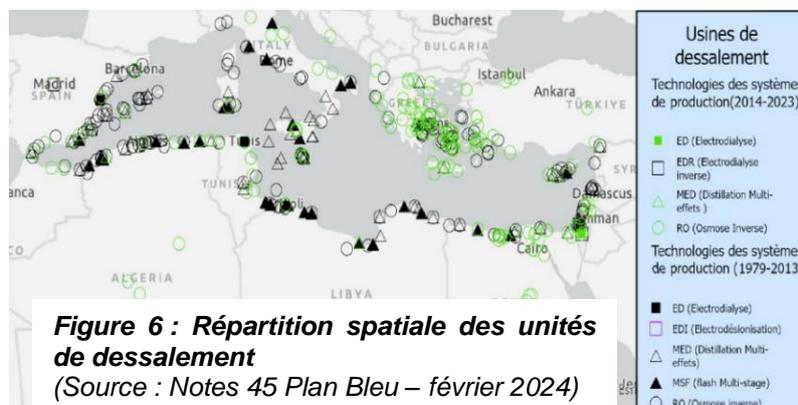


Figure 6 : Répartition spatiale des unités de dessalement
(Source : Notes 45 Plan Bleu – février 2024)

Cette différence peut s'expliquer sans doute par plusieurs facteurs, un stress hydrique moindre (climat, eau des Alpes) et un recours fort à l'interconnexion.

1.2.3 Des groupes français leader

La France compte trois groupes parmi les leaders mondiaux. Ils ciblent le marché des usines de dessalement de grande capacité (> 50.000 m³/jour).

 VEOLIA	 SUEZ	 ENGIE
13 millions m³ / jour	260 usines	5,8 millions m³ / jour
Exemples de réalisations		
<ul style="list-style-type: none"> • Qidfa (É.A.U.) 590 000 m³/j • Aktau (Kazakhstan) 125 000 m³/j • Az Zour South (Koweït) 136 000 m³/j 	<ul style="list-style-type: none"> • Melbourne (Australie) 450 000 m³/j • Wanhua Penglai (Chine) 100 000 m³/j • Perth (Australie) 145 000 m³/j 	<ul style="list-style-type: none"> • Marafiq (Arabie saoudite) 800 000 m³/j • Ras Laffan (Qatar) 600 000 m³/j • Sohar 1 (Oman) 150 000 m³/j
 Fujairah (Qidfa, UAE)	 Wonthaggi (Melbourne)	 Sohar (Oman)

1.3 Des technologies matures avec une forte prédominance de l'osmose inverse

1.3.1 Les technologies opérationnelles

On distingue deux grandes familles technologiques :

- **les procédés thermiques** qui sont fondés sur le principe de la distillation : le sel et l'eau sont séparés par un ou plusieurs cycles d'évaporation et de condensation. Cette technique comprend plusieurs variantes, notamment :
 - ✓ **La distillation par détentes successives (MSF)** : l'eau de mer prétraitée est chauffée (environ 110°C) et se condense en vapeur en passant à travers une succession de cellules. En introduisant l'eau dans la partie basse d'une cellule (où la pression est inférieure), on obtient une vaporisation instantanée. La vapeur d'eau se condense puis est collectée tandis que la saumure est évacuée. Le reste d'eau salée passe dans la cellule suivante où la pression et la température sont plus basses. L'opération recommence ainsi jusqu'à la dernière cellule. Si cette technologie est encore utilisée, on ne construit plus d'installations MSF depuis déjà de nombreuses années, cette technologie ayant été supplantée par la technologie MED dès la fin des années 90.
 - ✓ **La distillation à multiples effets (MED)** : Cette technologie utilise une série de chambres d'évaporation appelées « effets ». La vapeur produite dans un effet chauffe l'eau de mer dans le suivant (qui a une pression légèrement inférieure), augmentant ainsi l'efficacité énergétique. Le processus est répété plusieurs fois. Contrairement à la MSF, la saumure et le distillat sont récoltés dans chaque cellule.
 - ✓ **La compression de vapeur (VC)** : L'eau de mer est chauffée jusqu'à évaporation dans une enceinte thermique isolée. La vapeur d'eau produite est comprimée (ce qui augmente la température et la pression) et est ensuite envoyée vers la partie basse de l'enceinte où elle se refroidit. En se condensant, la vapeur haute pression se transforme en eau douce. Ce procédé, coûteux, est très peu développé.
- **Les procédés membranaires** pour lesquels la séparation de l'eau et des sels dissous s'opère au travers de membranes appropriées selon le principe de l'osmose inverse (RO – *Reverse Osmosis*) ou de l'électrodialyse réversible (EDR) :
 - **L'osmose inverse (OI)** est réalisée par le passage sous pression de l'eau salée au travers de membranes semi-perméables qui captent les sels et autres minéraux dissous. Ce principe permet de retenir jusqu'à 99 % des particules de sel et des impuretés. La pression requise dépend de plusieurs facteurs en particulier le taux de salinité initial de l'eau et le rendement eau douce/eau salée de l'usine. En théorie, il faut vaincre la pression osmotique qui est de l'ordre de 2,1 bars pour une eau saumâtre à 3 g/l de sel et de 29 bars pour une eau de mer à 35 g/l, qui est le taux de salinité observée dans la plupart des océans et mers du globe (taux qui atteint 42 g/l dans la Mer Rouge et qui peut dépasser 45g/l dans le Golfe d'Oman). Dans la pratique, le niveau actuel d'efficacité des technologies fait que les pressions nécessaires pour dessaler de l'eau de mer sont de l'ordre de 60, voire 70 bars. A l'heure actuelle, les usines les plus performantes ont une consommation comprise entre 2,5 à 3 kWh/m³. Certains experts considèrent qu'il devrait être possible d'atteindre 2 kWh/m³ (l'optimum théorique étant de l'ordre de 1,1 kWh/m³). Pour les eaux saumâtres dont la salinité est plus faible, la pression requise est moindre ; ce qui se traduit par une consommation électrique réduite.
 - **Le principe de l'électrodialyse réversible (EDR)** consiste à extraire les ions chargés positivement ou négativement (sodium et chlorure) au travers de membranes sélectives, la migration étant provoquée par un champ électrique. A l'heure actuelle, ce procédé s'applique plus particulièrement aux eaux saumâtres peu chargées

(moins de 3 g/l) car la consommation électrique devient trop élevée dès que la concentration en sels s'élève. L'avantage de ce procédé, comparativement à l'osmose inverse est que les membranes subissent moins de détérioration, ce qui réduit les coûts de maintenance et de remplacement. Ce procédé est généralement utilisé pour des installations de capacité réduite (< à 5 000m³ / j).

Il existe des **unités de dessalement à technologies hybrides**, par exemple l'osmose inverse peut être associée avec la technologie thermique (MED) afin d'obtenir une eau plus pure ou pour compenser les variations saisonnières de température par apport de chaleur en provenance de la technologie thermique (l'osmose inverse étant plus performante à haute température) ou pour bénéficier de la chaleur fatale issue d'autres industries à proximité (centrale d'incinération de déchets sur l'île de St Barthélémy, par exemple).

La répartition des usines de dessalement dans le monde selon la technologie utilisée est la suivante :

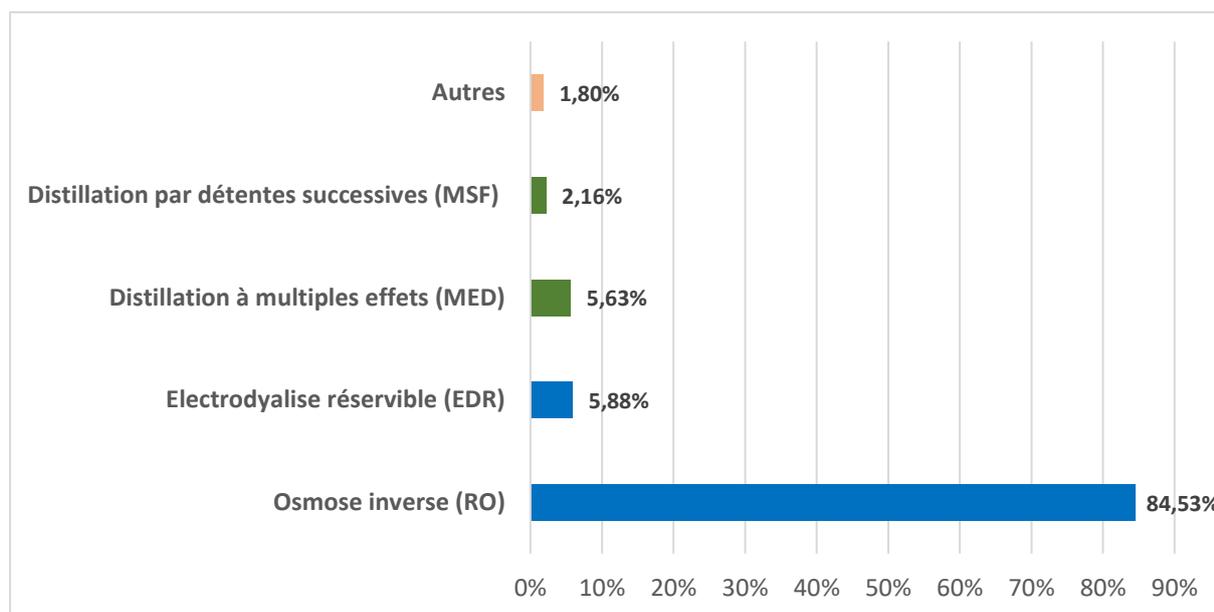


Figure 7 : Nombre d'usines de dessalement selon la technologie utilisée (2019)

Aujourd'hui il y a une très forte prédominance de l'osmose inverse. Il n'y a quasiment plus de construction d'usine utilisant les technologies thermiques, excepté des cas d'opportunité (proximité d'une usine produisant de la chaleur fatale) ou pour quelques usages industriels nécessitant une eau très pure.

Il faut noter aussi que l'utilisation de l'osmose inverse (basse pression) connaît des développements pour traiter à la source certaines pollutions industrielles (ex : PFAS) ou de l'eau douce destinée à l'alimentation en eau potable (élimination des micropolluants, dont PFAS, pesticides...).

Les avantages et inconvénients des principales technologies actuellement utilisées peuvent se résumer de la manière suivante :

Technologie	Avantages	Inconvénients
Distillation par détentes successives (MSF)	<ul style="list-style-type: none"> • Robuste. • Exploitation aisée • Valorisation de la chaleur fatale d'installations voisines • Pureté d'eau élevée → intérêt pour l'eau industrielle • Pas de rejet de produits chimiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts d'investissement > OI et MED (1 300 à 2 000 €/m³/jour) • Très énergivore : <ul style="list-style-type: none"> ○ ~75 à 120 kWh/m³ ○ ~3 à 5 kWh_e/m³ • Température élevée de l'eau rejetée

Distillation à multiples effets (MED)	<ul style="list-style-type: none"> • Robuste. • Exploitation aisée • Valorisation chaleur fatale d'installations voisines • Pureté d'eau élevée → intérêt pour l'eau industrielle • Pas de rejet de produits chimiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts d'investissement > OI • Énergivore : <ul style="list-style-type: none"> ○ ~40 à 70 kWh/m³ ○ ~1,5 à 2,5 kWh_e/m³ • Température élevée de l'eau rejetée
Osmose inverse (OI)	<ul style="list-style-type: none"> • Modulaire • Coûts d'investissement les plus faibles (800 à 1 500 €/m³/jour) • Peu énergivore comparée à la distillation : 2,5 à 4 kWh/m³ pour le dessalement d'eau de mer⁹ • Elimination de 98 à 99% des PFAS 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite un prétraitement parfois très poussé • Nécessite un procédé ad hoc et une exploitation soignée • Rejets avec les saumures de produits de traitement et des résidus de réaction de ces produits sur la matière organique contenue dans l'eau de mer ; • Risque de formation de bromates dans l'eau potable • Interrogations sur la présence de PFAS dans les membranes
Electrodialyse réversible (EDR)	<ul style="list-style-type: none"> • Efficace pour les eaux saumâtres • Taux de récupération élevé 	<ul style="list-style-type: none"> • Moins efficace pour l'eau de mer. • Coût élevé pour des grandes capacités

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des différentes technologies de dessalement

1.3.2 La recherche-développement

La mission ne prétend pas avoir identifié toutes les pistes de recherche actuellement développées, d'autant plus qu'il est probable que certaines recherches restent confidentielles du fait des enjeux de compétitivité entre les sociétés impliquées dans le dessalement dans le monde. Les pistes ici évoquées le sont soit du fait de l'importance des moyens consacrés et du nombre de publications s'y référant, soit du fait d'un caractère prometteur ou innovateur, ou encore de l'existence de plusieurs start-ups.

1.3.2.1 L'amélioration de l'efficacité de l'osmose inverse

Du fait de l'importance de l'osmose inverse, de nombreuses recherches se concentrent sur l'amélioration de cette technologie. Plusieurs pistes guident ces recherches, à savoir :

- **L'efficacité des membranes.** À titre d'illustration nous pouvons mentionner les recherches développées par des équipes de l'institut européen des membranes (CNRS) sur des membranes biomimétiques. Il s'agit de membranes incorporant des protéines, les aquaporines, formant des canaux perméables à l'eau et rejetant les ions, ce qui permet d'augmenter la perméabilité de 30 %.

⁹ Selon Véolia et Suez, la consommation moyenne électrique actuelle de l'osmose inverse de l'eau de mer est en moyenne entre 2.89 à 3.38 kWh/m³. Cette consommation ne peut pas descendre en dessous du seuil de 1.1 kWh/m³ et ne concerne que la partie OI et non pas toute la chaîne (pompage, pré-traitement, distribution).

Malheureusement, les applications à grande échelle de membranes hybrides polyamide-aquaporines souffrent de nombreux inconvénients : coût élevé de production des aquaporines par biosynthèse, faible stabilité, contraintes de fabrication, instabilité aux hautes pressions... Face à ces difficultés, les aquaporines ont été remplacées par des canaux artificiels d'eau (ou AWC pour *artificial water channel*) qui permettent une plus grande mobilité des molécules d'eau (on parle de fils d'eau moléculaire), favorisant ainsi le transport de matière avec un apport énergétique extérieur réduit. En combinant une matrice en polyamide, déjà utilisée par les industriels de la désalinisation, et des canaux artificiels d'eau, cette nouvelle membrane hybride pourrait permettre de dessaler trois fois plus d'eau et de consommer 12 % d'énergie en moins pour chaque mètre cube d'eau traité que les méthodes actuelles.

Voltage Induced Reverse Osmosis (Viro)

De récentes recherches en nanofluidique ont révélé qu'à des échelles nanométriques, comme lorsqu'ils traversent des nanotubes de carbone, les flux d'eau acquièrent des propriétés qui débouchent sur des applications inattendues telles que produire de l'électricité, dessaler de l'eau de mer... Le promoteur de ces recherches a d'ailleurs reçu la médaille de l'innovation du CNRS 2024.

Fondée sur des membranes nanofluidiques et biomimétiques, la technologie Viro (Voltage Induced Reverse Osmosis), qui a été brevetée, permet de purifier l'eau à travers n'importe quelle membrane des filtres de dessalement commerciaux. Ce système, développé par Ilion water technologie n'utilise que de faibles champs électriques (quelques volts) au lieu de hautes pressions mécaniques pouvant aller jusqu'à 60 bars pour l'osmose inverse, se déployant facilement et avec un coût limité.

La startup Ilion Water Technologie qui a développé ce système de dessalement nouvelle génération a été distinguée mi-septembre 2024 par le concours d'innovation i-Lab opéré par BPI France dans le cadre de France 2030 et est lauréate du Pollutec Innovation Challenge 2024.

- **Le remplacement des membranes en fluorure de polyvinylidène par d'autres produits non interdits dans le cadre de la politique européenne de restriction des PFAS** (polyéther sulfone, polysulfone, polypropylène...).
- **La durabilité des membranes et leur recyclage**, ce dernier ayant fait l'objet de plusieurs /projets LIFE dans les années 2010 (projets LIFE TRANSFOMEM et REMEMBRANE)

Il y a également des **recherches sur la valorisation des saumures afin de réduire leur quantités et impacts sur l'environnement** :

- Valorisation du calcium, magnésium et sodium (concentrats dessalement)
- Récupération du lithium (concentrats industriels)

Ces recherches s'inscrivent dans une stratégie ZLD (Zero Liquid discharge) ou MLD (Minimum Liquid Discharge). Cf. paragraphe 1.4.2.2.- « impacts environnementaux ».

Outre l'osmose inverse elle-même, d'autres éléments du process de dessalement font l'objet de recherche-développement. À titre d'illustration on peut mentionner les recherches effectuées pour :

- Coupler le dessalement avec l'énergie solaire photovoltaïque comme unique source d'énergie (et sans batterie, ce qui ne permet pas une production 24h/24h). Un système de ce type a été développé et breveté par une PME française – Osmosun - qui conçoit des unités de dessalement de petite et moyenne capacités. Il permet de s'adapter aux variations de production d'énergie et d'utiliser de manière optimale l'énergie solaire.
- Améliorer le prétraitement des eaux brutes. Par exemple, Veolia a développé un nouveau procédé de clarification par flottation à air dissous Spidflow® qui permet d'améliorer les conditions de floculation grâce au système d'optimisation Turbomix® et au mode de diffusion des microbulles qui participent à l'entraînement des floccs vers la surface du flotteur.

En ce qui concerne la consommation énergétique de l'osmose inverse, il apparaît, après une phase d'importants progrès, que le potentiel de gains est aujourd'hui plus restreint :

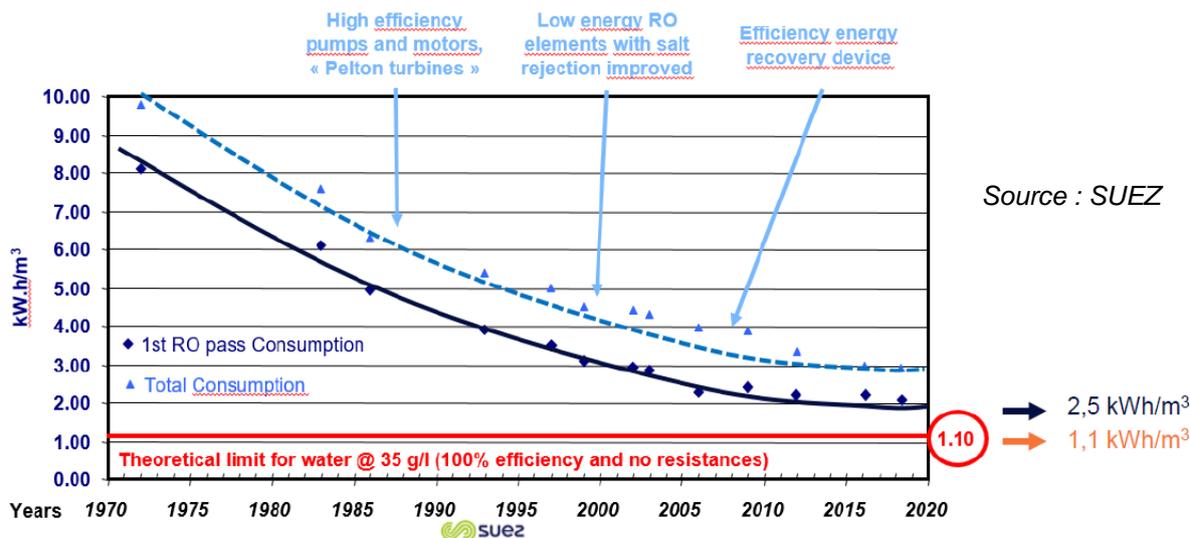


Figure 8 : Évolution historique de la consommation d'énergie avec l'osmose inverse.

Aujourd'hui, et même si cela dépasse largement le cadre du dessalement de l'eau de mer, de nombreux projets de recherche ont également pour objet de développer la production d'électricité osmotique c'est-à-dire générée par la différence de salinité entre l'eau douce des rivières et l'eau salée de la mer lorsqu'elles se rencontrent. Le 1^{er} site pilote de production à grande échelle d'électricité osmotique a d'ailleurs été lancé en 2023 dans le delta du Rhône.

1.3.2.2 Vers des innovations plus disruptives ?

Face aux impacts environnementaux du dessalement par osmose inverse, des laboratoires de recherche et des entreprises ont initié des travaux pour développer de nouvelles technologies de dessalement. On peut citer quelques exemples :

1.3.2.2.1 Des innovations au stade prototype ou en cours de développement via des start-up

La cryo-séparation

La cryo-séparation est fondée sur le fait que l'eau salée gèle à une température plus basse que l'eau pure. Concrètement cela signifie que si on fait geler de l'eau de mer, la glace qui se forme sur le dessus sera douce tandis que celle en dessous sera salée. Il est ainsi possible, via un cycle de refroidissement, de séparer les cristaux d'eau douce de l'eau de mer liquide. Le rendement est de l'ordre de 10 %. Cette technologie vise le marché des petites et moyennes unités de dessalement (entre 100 et 50 000 m³/jour).

Avec le soutien de l'ADEME (Prix INNOV'eau), la BPI et France 2030, une société française [Seawards] a breveté ce système et devrait mettre en place un premier démonstrateur en 2026. L'intérêt d'un tel procédé serait de produire de l'eau dessalée sans produit chimique. Toutefois, il apparaît que le pari de gain énergétique n'est pas encore gagné. En effet, même si les porteurs espèrent atteindre une consommation comparable à celle de l'OI, voire inférieure, la consommation observée est encore nettement supérieure (environ 10kWh / m³).

Traitement aux ultrasons

Certaines sociétés (LG Sonic, MHN et LUCEMTRONIC) travaillent depuis plusieurs années sur un procédé de dessalement de l'eau de mer par ultrason (la nébulisation est réalisée en utilisant un dispositif de génération d'onde acoustique haute fréquence). Les avantages de cette technologie sont : faible consommation d'énergie, procédé non chimique plus respectueux de l'environnement, effet bactéricide du filtrage électrostatique, etc.

1.3.2.2 Quelques pistes de recherche qui permettent d'envisager, à plus long terme, de futures innovations dans le secteur du dessalement

Effet photo-moléculaire

Des chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT) suggèrent que la lumière seule peut évaporer l'eau : lorsque la lumière interagit avec l'interface au niveau de laquelle la surface de l'eau rencontre l'air, elle peut directement générer une évaporation sans nécessiter de chaleur, par le biais d'un processus de clivage moléculaire photonique. Cette évaporation pourrait être plus efficace que l'évaporation thermique et ainsi permettre de tripler le rendement du dessalement de l'eau.

Osmose directe

L'osmose directe est un procédé membranaire qui permet la concentration de liquides grâce à l'utilisation d'une membrane sélective et d'une solution de soutirage riche en sel, en sucre ou autre soluté. Le rôle de la solution de soutirage consiste à attirer l'eau du liquide que l'on cherche à concentrer grâce au phénomène d'osmose. Ce type de filtration ne requiert pas l'utilisation de pressions élevées et peut même être utilisé à température ambiante. L'osmose directe permet de diminuer la concentration en sels à hauteur de 60-65% de la salinité initiale.

Distillation sur membrane

La distillation membranaire est basée à la fois sur la vaporisation de l'eau et sur l'utilisation d'une membrane poreuse hydrophobe au contact de laquelle la vaporisation est provoquée au niveau des pores de la membrane qui n'a aucune influence sur la sélectivité du procédé mais qui augmente la surface de contact pour la vaporisation, et l'intensifie ainsi. Le risque majeur de dysfonctionnement est le passage direct de l'eau dans les pores, ou mouillage, phénomène encore insuffisamment connu scientifiquement et qui fait l'objet d'un projet de recherche financé par l'ANR.

Ces quelques exemples de recherche-innovation disruptive sont à des stades de développement variés. Certaines recherches sont quasiment au stade de recherche fondamentale. Si certaines orientations semblent prometteuses, il est difficile de se prononcer sur l'avenir qu'il leur est réservé en termes de développement opérationnel.

En conclusion, la mission considère, étant donné le développement du dessalement dans le monde et la place des entreprises française dans ce secteur, qu'il est souhaitable de soutenir la recherche – innovation sur la durabilité et l'efficacité des membranes pour l'OI (en particulier, pour permettre la réduction des besoins énergétiques et de l'utilisation de produits de prétraitements associés), les innovations de ruptures prometteuses et la valorisation des saumures.

En outre, considérant l'importance stratégique de l'enjeu « eau » et le développement croissant du dessalement en Europe et dans le monde, il serait souhaitable de mettre en œuvre une réelle politique industrielle pouvant permettre d'assurer une souveraineté européenne relative à la fabrication des membranes.

1.4 Des impacts et risques environnementaux réels mais insuffisamment caractérisés et publics

Les impacts environnementaux d'une usine de dessalement sont les suivants :

- les impacts liés aux infrastructures :
 - construction de l'usine,
 - équipements extérieurs nécessaires à l'usine (appelées « utilités ») : principalement les réseaux d'énergie, de raccordement en eau, de prélèvement d'eau de mer, les routes de raccordement,
- les impacts liés au fonctionnement.

Dans cette partie, seront analysés les impacts d'une usine à osmose inverse, principale technologie développée aujourd'hui, et pour du dessalement d'eau de mer.

1.4.1 Impacts des infrastructures

1.4.1.1 La construction de l'unité de dessalement

En ce qui concerne les impacts terrestres, il s'agit des impacts assez classiques pour la construction d'une usine : artificialisation, émission de GES liés à la construction généralement en béton, bruit, vibrations, etc. La superficie nécessaire est en moyenne de l'ordre d'un peu moins de 1 ha par dizaine de milliers de m³ produite (exemple Agadir 20 ha pour 275 000 m³) et est comparable à celle d'une usine de traitement d'eau conventionnelle. La superficie la plus importante est occupée par le prétraitement. Aujourd'hui, les opérateurs cherchent à « compacter » les usines afin de réduire leur empreinte foncière. À titre d'illustration on peut mentionner l'usine de Jorf (Maroc) où la seconde tranche de travaux, pour une capacité équivalente à la première tranche, a nécessité une surface deux fois moindre.

Quant aux impacts en mer, ils peuvent être importants du fait de la pose des tuyaux de prélèvement de l'eau de mer et de rejet des saumures. Ces installations peuvent engendrer des destructions d'habitats marins ou littoraux (exemple des mangroves à Ironi Bé - Mayotte) et perturber certains écosystèmes pendant la phase des travaux mais comparables à ceux des câbles en milieu marin (fibres, électricité, etc.).

Il est parfois nécessaire, pour réduire les impacts, de rejeter les saumures plus loin du rivage ou en dehors du périmètre d'une aire protégée et donc, d'allonger les tuyaux ou de recourir à la construction d'un tunnel. De fait les coûts pour réduire les impacts jugés non désirés peuvent être importants ; par exemple :

- à Melbourne, usine de 400 000 m³/j, pour prélever et rejeter en dehors du périmètre d'un parc marin, sans toucher à la surface du fond, deux tunnels de 4 mètres de diamètre et de plus de 1,5 km ont été construits, ce qui, selon l'exploitant, a coûté plusieurs centaines de millions d'euros
- à Mayotte, l'option d'un rejet en dehors du lagon n'a pas été retenue du fait d'un surcoût considérable (coût quasi équivalent à celui de l'usine, environ 100 M € selon les porteurs du projet) et de l'obstacle que constitue la barrière de corail.

1.4.1.2 Les utilités

Pour faire fonctionner une usine de dessalement, il faut acheminer de l'énergie (principalement de l'électricité) et transporter l'eau produite. Il faut aussi des voies de communication pour acheminer les produits.

L'électricité peut être acheminée par un réseau de haute ou moyenne tension depuis un poste source, et dans ce cas, il est nécessaire de construire une ligne électrique. Il s'agit là d'un impact similaire à celui d'une autre usine, à la différence près qu'une usine de dessalement consomme beaucoup plus d'électricité qu'une usine de production d'eau potable à partir d'eau douce qui, elle, n'aurait pas besoin d'une telle ligne HT.

Il peut y avoir aussi installation de panneaux solaires. Pour une usine de dessalement de 10.000 m³/ jour avec une consommation électrique de 4 kWh / m³, (occupant environ 1 ha) cela peut nécessiter une surface de l'ordre d'une quinzaine d'ha¹⁰.

Il faut transporter l'eau produite, parfois sur de longues distances (plus de 100 km au Maroc et 250 km en Arabie Saoudite). Ce transport se fait au moyen de tuyaux enterrés ou non.

Toutes ces utilités engendrent des impacts classiques pour les infrastructures linéaires.

¹⁰ Hypothèses considérées pour estimer la surface :

- 1 200 MWh par MWc (sachant qu'en France métropolitaine la valeur varie entre 900 et 1400 selon la localisation géographique)
- 1 ha pour 1 MWc (capacité pour une surface bien exposée et avec une technologie optimisée)

1.4.2 Impacts du fonctionnement : les deux challenges environnementaux du dessalement

Les principaux impacts environnementaux du fonctionnement sont :

- la consommation d'énergie avec les émissions de GES associées
- le rejet des saumures, des produits chimiques et de leurs produits de réaction dans la mer,
- et en second ordre, les impacts liés au prélèvement d'eau de mer brute, aux bruits et vibrations et à l'élimination des boues.

Pour les étudier, nous nous sommes appuyés sur des publications scientifiques, qui sont nombreuses, sachant que nous avons trouvé peu d'études dans des littératures plus officielles de l'État ou d'établissements publics, dans aucun des pays étudiés. En particulier en France, le sujet n'est peu, voire pas exploré. Les établissements publics en France comme l'INRAE, l'IFREMER, le BRGM, n'ont pas inscrit le dessalement dans leur programme de connaissance ou de recherche et n'ont donc pas développé d'expertise. Le CNRS et l'IFPEN travaillent sur ce sujet mais uniquement sur les performances des membranes et non les impacts environnementaux.

En outre, très peu d'études scientifiques existent sur la mesure des impacts à long terme (par exemple 25 ans) sur le milieu marin. La mission n'a trouvé aucune d'étude sur l'impact cumulé du fonctionnement de plusieurs usines.

En conséquence, même si les publications scientifiques sont nombreuses, la mission estime que les effets du rejet des saumures des usines de dessalement sont insuffisamment connus, celles concernant les produits chimiques encore moins (d'autant plus qu'il n'y a pas de normes sur les rejets de produits chimiques) et les connaissances acquises par les exploitants sont peu diffusées.

1.4.2.1 La consommation d'énergie et les GES

La consommation d'énergie pour produire un m³ d'eau potable est liée au prélèvement de l'eau de mer, au prétraitement, au dessalement, à la reminéralisation, à la distribution et au rejet de saumure.

Pour une usine de taille importante, plus de 200 000 m³/j, elle est actuellement de l'ordre de 4 kWh par m³ dont 2,5 kWh pour le procédé d'osmose inverse¹¹ et 1,5 kWh pour les autres parties du process.

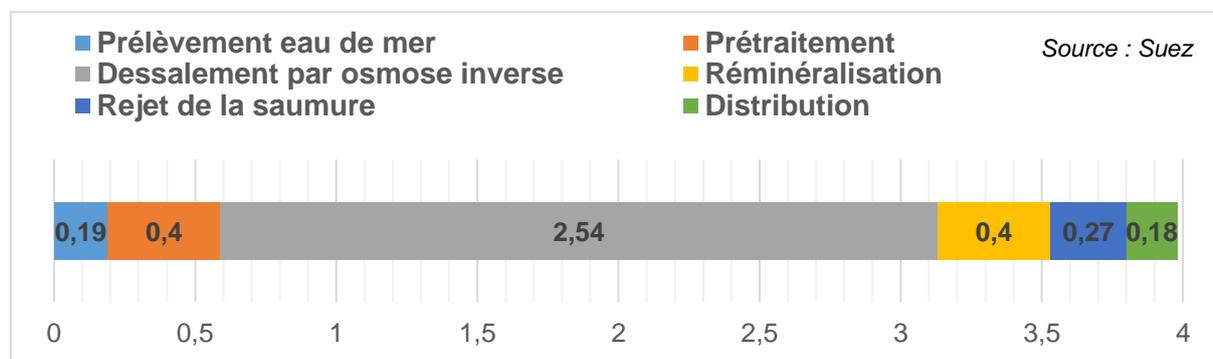


Figure 9 : Exemple de consommation électrique d'une installation de dessalement par osmose inverse (en kWh/m³).

¹¹ La consommation énergétique des dispositifs d'osmose inverse est liée d'une part à la mise en pression de l'eau de mer nécessaire pour vaincre la pression osmotique et les pertes de charge entre les deux faces des membranes. La pression osmotique du concentrat est supérieure à celle de l'eau de mer (> 29 bars) et fonction du rendement de l'osmose inverse (quantité d'eau douce obtenue rapportée à la quantité d'eau de mer consommée). La pression osmotique du perméat est proche de 0 bar. Plus le rendement de l'osmose inverse est élevé plus cette pression est élevée. Pour obtenir un rendement eau douce/eau salée de 50 % (production de 1 m³ d'eau douce à partir de 2 m³ d'eau salée), il faut, dans la pratique, une pression de 60 à 80 bars. Cette pression est plus faible pour les dispositifs à faible rendement, conduisant à une consommation énergétique plus faible. Les pertes de charge peuvent être réduites par une augmentation de la surface des membranes et une amélioration de leurs performances.

La consommation par m³ peut être plus importante pour des usines de taille plus petite, ces dernières ne faisant pas toujours l'objet de recherche d'une gestion optimale ; le coût ne constituant pas toujours l'objectif principal et les compétences nécessaires n'étant pas toujours présentes.

Toutes choses égales par ailleurs, elle est moindre pour des eaux saumâtres, et d'autant plus faible que la concentration en sel et donc la pression osmotique des eaux est faible.

Selon la base de données « European Marine Observation and Data Network » (EMODnet), et pour 75 usines en Europe, l'énergie nécessaire pour le dessalement par osmose inverse est extrêmement variable selon les usines. Elle dépend de la qualité de l'eau, de la salinité, de l'optimisation du process et de la récupération d'énergie mises en place : la fourchette se situe entre 2.5 à 7.5 kWh/m³ pour l'eau de mer et de 0.5 à 4 kWh/m³ pour l'eau saumâtre.

Cette consommation a baissé significativement ces dernières décennies, en particulier du fait du développement de la technologie de récupération de la pression statique de la saumure (Cf. schéma « Evolution historique de la consommation d'énergie avec l'osmose inverse », paragraphe 1.3.2.1.).

Le dessalement contribue aux émissions de gaz à effet de serre, selon la source d'énergie utilisée. En France, les effets en termes d'émission de GES sont très différents en métropole et Outre-mer :

- un effet limité en métropole du fait du mix énergétique de l'électricité consommée : 32 gCO_{2eq}/kWh
- un effet plus significatif dans les territoires insulaires avec une énergie non décarbonée : environ 900 gCO₂/kWh pour les centrales au charbon ou au fioul.

On estime que le dessalement par osmose inverse utilise 100 TWh d'énergie électrique par an ¹² dans le monde soit l'équivalent d'environ 0,4 % de la consommation électrique mondiale. Il aurait émis 76 millions de tonnes de CO₂ en 2014, avec une prévision de 400 millions de tonnes de CO₂ estimées pour 2050², soit l'équivalent des émissions actuelles de la France.

De plus en plus, les usines sont couplées avec des champs de panneaux photovoltaïques ou d'éoliennes, ce qui permet de réduire les émissions supplémentaires de GES mais nécessite un foncier significatif.

1.4.2.2 La gestion des saumures

Le processus de dessalement permet de séparer l'eau en deux parties : le perméat (eau dessalée) et le concentrat ou saumure.

En moyenne, chaque litre d'eau potable dessalée implique la production de 1,5 litres de saumure.

La saumure contient une teneur en sel très élevée (jusqu'au double de la salinité de l'eau prélevée pour un rendement de 50%) ainsi que les produits chimiques utilisés dans le prétraitement et l'entretien des installations.

Impropre à tout usage agricole, industriel ou de consommation, la saumure est, dans la majorité des cas, rejetée en mer. Selon un rapport des Nations Unies (2019), le dessalement d'eau de mer produirait plus de 150 millions de m³ de saumure par jour, valeur qui pourrait atteindre 240 millions de m³ en 2050.

1.4.2.2.1 La surface impactée par l'augmentation de la salinité

Sur les différents sites visités et selon la capacité de l'usine, les opérateurs en charge de la production dessalée déclarent que la variation de salinité est effective jusqu'à une distance maximale de 300 mètres autour des points de rejet.

Cependant, dans la littérature, des exemples de suivi réalisés pour quelques usines¹³ mentionnent des distances plus importantes : cf. tableau 2.

¹² Source connaissance des énergies

¹³ David A. Roberts*, Emma L. Johnston, Nathan A. Knott - University of New South Wales, Sydney, Australia. « Impacts of desalination plant discharges on the marine environment: A critical review of published studies ». *Water Research* 44, n° 18 (1 octobre 2010): 5117-28. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.04.036>

Localisation usine	Capacité (10 ³ m ³ /jour)	Salinité du rejet (g/l)	Habitat	Variation de la salinité
Muscat Oman	92,4	37,3	Sédiments meubles	Retour au niveau de référence à 100 m de l'exutoire
Muscat Oman	191	40,11	Sédiments meubles	Retour au niveau de référence à 980 m de l'exutoire ;
Ile de Sitra Barhein	106	51	Sédiments meubles	Panache étendu à au moins 160 m du point de rejet. Température également affectée : température du point de rejet : 10 à 15 °C au-dessus de la température ambiante, eau réceptrice jusqu'à 7 °C au-dessus de la température ambiante.
Floride Etats-Unis	9,1	40-55	Substrats durs artificiels et sédiments meubles	0,5 g/l au-dessus des niveaux de fond dans un rayon de 10 à 20 m de l'exutoire. Néanmoins, une légère élévation a été maintenue sur 600 m dans le bassin portuaire.
Iles Canaries Espagne		75.2	Récif rocheux subtidal	2 g/l au-dessus du niveau de fond sur le fond marin et 1 g/l : en surface dans les 20 m de l'exutoire ; similaire aux niveaux de fond à 100 m.
Dkelia Cyprius		60		Au-dessus de la valeur de fond à 100-200 m de l'exutoire, parfois jusqu'à 60 g/l.
Alicante Espagne	50	68	Posidonies et sédiments meubles	+2,6 g/l a à 300 m de l'exutoire 1 g/l à 600 m. A 1300 m : niveau de référence.
Ashkelon Israël	274	42		+2 g/l à 400 m de l'exutoire. Inférieur à 1g/l à 4000 m.
Iles Canaries, Espagne	25	75,2	Sédiments meubles	38 g/l à 20 m
Iles Baléares, Espagne		60	Posidonies et sédiments meubles	+ 5,5 g/l à 10m, +2,5 à 20 m, +1 à 30 m

Tableau 2 : Variation de la salinité selon la distance au point de rejet des saumures

Source : Roberts, D. et al. (2010).

Dans une approche différente, le bureau d'étude Creoccean a modélisé la surface impactée par une augmentation de la salinité de plus de 1 g / l pour une usine de dessalement ayant une capacité de 250 000 m³ /jour. Celle-ci serait au maximum égale à :

- 3 ha avec des diffuseurs à une profondeur de 10 m
- 9 ha sans diffuseur et en rejetant à 2 m de profondeur

Ces calculs paraissent cohérents avec les observations.

1.4.2.2 Effets de la variation de la salinité

Quelques résultats de recherche relatifs aux effets de l'augmentation de la salinité sur la flore et la faune sont présentés dans le tableau en annexe n°2.1. De manière simplifiée, il apparaît que :

- avec une augmentation de 1 à 2 g/l : diminution de la survie des herbiers marins, et réduction de l'abondance et de la pousse, et présence de lésions nécrotiques. Croissance des posidonies réduite avec une augmentation de la salinité de 2g/l.
- avec une augmentation de 5 g/l :
 - mortalité accrue des ascidies¹⁴,
 - survie réduite des échinidés¹⁵.
- avec une augmentation supérieure à 10 g/l :
 - survie et reproduction des huîtres affectées à partir de 45-50 g/l (les effets toxiques étant principalement attribués à la teneur en cuivre de la saumure),
 - mortalité accrue des daurades japonaises (*pagrus major*) à partir de 50 g/l, des larves de pleuronectes à partir de 55 g/l et des palourdes à partir de 60 g/l
 - éclosion des œufs de poisson [daurade japonaise] retardée à partir de 60 g/l (et inhibée à 70 g/l).

¹⁴ Les ascidies sont des animaux marins intermédiaires (entre les invertébrés et les vertébrés) fixés ou pélagiques. Leur taille (0.5 à 30 cm), forme (le plus souvent en forme d'outre), couleur et consistance sont très variables.

¹⁵ Les Échinidés sont des invertébrés marins de forme arrondie au corps recouvert de piquants, nommés communément oursins.

Très peu de mesures ont été réalisées en vraie grandeur et dans la durée.

En complément de ces résultats de recherches scientifiques, la mission a également examiné les résultats d'études résultant du monitoring d'usines en fonctionnement. Cf. tableaux en annexe 2.2.

On peut retenir de ces tableaux que des effets sur la flore ont été constatés dès une augmentation de la salinité de 1 ou 2 g/l. Les impacts sont significatifs dès une augmentation de salinité supérieure à 5 g/l. Ces effets touchent en priorité les posidonies.

Les effets sur la faune se font sentir pour des augmentations supérieures de la salinité.

Nous retiendrons également que les surfaces impactées sont très diverses selon les conditions de milieu et en particulier de la courantologie : parfois la salinité retrouve son état initial quelques dizaines de mètres après le rejet, parfois à plusieurs centaines de mètres.

Il est établi qu'à proximité immédiate du rejet, les effets sont majeurs, en particulier dans les cas où les rejets sont effectués directement à l'extrémité d'un tuyau posé directement sur le fond (et sans diffuseur). Par exemple, au regard de l'étude commandée par l'entreprise exploitant l'usine de Petite Terre à Mayotte¹⁶, il n'y a plus aucune vie marine apparente dans un rayon de 40 m autour du point de rejet [usine ayant une capacité de 5 000 m³/j et qui ne dispose pas de diffuseur (rejet direct à l'extrémité d'un tuyau)].

1.4.2.2.3 Les impacts des produits chimiques contenus dans la saumure ou générés par le rejet d'oxydants actifs dans le milieu

Les produits utilisés dans le cadre du dessalement sont variables en qualité et en quantité selon les technologies, la qualité des eaux brutes, les pratiques développées par les opérateurs, etc.

Les principaux produits chimiques pouvant être présents dans la saumure sont les suivants :

- Produits antibactériens et antialgue : Chlore, sels de cuivre...
- Produits anti-mousse : polyglycols alkylés, acides gras...
- Produits antiscalants : polyphosphates, phosphonates, acides polycarboniques, polymères de l'acide maléique
- Flocculants : chlorure ferrique, chlorure d'aluminium
- Solutions acides ou basiques (pour ajuster le pH de l'eau) : acide sulfurique, acide chlorhydrique...
- Réactifs pour le nettoyage des membranes : acide citrique, soude, bisulfite de sodium
- Produits issus de la corrosion des métaux (cuivre, fer, nickel...).

Il y a également les produits issus de la réaction des oxydants (chlore ou autre) sur la matière organique contenue dans l'eau de mer après rejet de la saumure : organohalogénés (essentiellement bromés), dont le bromoforme, toxique et cancérigène. Ces produits se forment dans l'usine par réaction immédiate des oxydants sur la matière organique : ils sont alors détectés et peuvent être quantifiés dans les saumures. Ils se forment également après rejet dans les eaux marines du fait de la poursuite des réactions après rejet des oxydants résiduels contenus dans les saumures (dont le chlore résiduel). Si les produits de réaction sont parfois quantifiés dans les saumures, la production de ces éléments directement dans l'eau de mer n'est jamais réalisée.

Une étude (Sabine Latteman – 2008) a permis d'estimer que 21 unités de dessalement de la mer rouge dont la capacité totale était de l'ordre de 1,5 millions de m³ par jour rejetaient quotidiennement 9,5 tonnes de produits antitartres, 2,7 tonnes de chlore et 36 kg de cuivre.

La mission n'a pas réussi à identifier d'études spécifiques sur les impacts du rejet de ces produits chimiques. Certaines études portant plus globalement sur l'impact des saumures mentionnent néanmoins les effets négatifs du cuivre, comme à Key West en Floride.

La mission considère qu'une analyse plus approfondie des résultats des recherches en écotoxicologie devrait être réalisée.

¹⁶ Rapport d'intervention subaquatique, concernant l'inspection des émissaires en mer de l'usine de dessalement de petite terre-22 décembre 2023

1.4.2.2.4 Une gestion des saumures à reconsidérer

Une communication publique trop restreinte

Pour compléter notre connaissance, nous avons demandé à toutes les directions des usines visitées, ou à des établissements publics (Espagne, Maroc), quel était le résultat des monitorings, et donc les effets réels de leur usine sur l'environnement marin. Toutes nous ont dit qu'elles réalisaient un monitoring, mais aucune ne nous a transmis les résultats. Cette absence de diffusion des informations interpelle d'autant plus que ces mêmes interlocuteurs déclarent qu'il n'y a pas d'effet, ce qui est contredit par les études examinées. Ce manque délibéré de transparence ne permet pas d'instaurer une confiance dans les déclarations des gestionnaires des unités de dessalement sur les impacts environnementaux de ces dernières.

Nous avons néanmoins pu obtenir, par l'intermédiaire de grands groupes français, les résultats d'une évaluation environnementale effectuée sur le site de l'usine de Sur a Wilayat à Oman (en exploitation depuis 2007)¹⁷. On constate que l'usine d'Oman aurait moins d'impact que ceux mentionnés dans les articles scientifiques et décrits plus haut. Ce qui laisse penser que des techniques existent (comme par exemple les diffuseurs et la prise en compte de la courantologie, la dilution avant rejet...) pour réduire les impacts. Il est aussi possible que les exigences des autorités administratives aient été renforcées.

En toute fin de mission, nous avons pu obtenir du ministère espagnol chargé de l'environnement le résultat du monitoring de toutes les usines de dessalement construites et exploitées par un établissement public ad hoc, Aquamed. Les résultats sont détaillés et montrent que les limites fixées par les arrêtés d'autorisation sont respectées.

Ce document mentionne également un élément tout à fait intéressant, la fixation d'un seuil d'alerte si les mesures (en continu) dépassent ce seuil.

La dilution ne doit pas être considérée comme la seule réponse environnementale

Plusieurs méthodes de traitement des saumures ont été étudiées et économiquement évaluées :

Méthode	Principe	Coût (€/m ³)	Enjeu environnemental
Bassin d'évaporation	La saumure est évaporée et les sels sont collectés	De 3 à 10	Risque de pollution des eaux souterraines et salinisation des sols Emprise foncière
Rejet dans le milieu marin	La saumure est rejetée dans la mer (procédé classique)	0,05-0,3	Pollution par le sel et les produits chimiques
Injection en puits profond	La saumure est injectée dans des formations rocheuses souterraines poreuses	0,5, 2,7	Pollution des eaux souterraines et salinisation des sols

Tableau 3 : Evaluation du coût de différentes méthodes de traitement des saumures

Source : Panagopoulos (2020) ¹⁸

Aujourd'hui, la solution la moins onéreuse est le rejet des saumures en mer.

Sur un plan environnemental, cette approche est beaucoup moins efficace que les mesures plus classiques d'évitement, et de réduction des pollutions. Pour les industries « classiques », les technologies pour réduire à la source les rejets dans l'eau et dans l'air sont de plus en plus performantes d'année en année. Si dans les années 60, des industriels en France comptaient sur la dilution dans les cours d'eau pour atténuer les impacts des effluents, cela a conduit à des pollutions très importantes de ces cours d'eau. Il ne faudrait pas que le dessalement réitère cette expérience et ce, même si le sel contenu dans les saumures est le même que celui qui a été prélevé dans la mer

¹⁷ « marine environmental assessment & evaluation of fish assemblages within the underwater infrastructure of the sur desalination plant », oman survey report - november 2024.

¹⁸ Panagopoulos, Argyris, et Katherine-Joanne Haralambous. « Environmental impacts of desalination and brine treatment - Challenges and mitigation measures ». *Marine Pollution Bulletin* 161 (1 décembre 2020): 111773. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111773>.

quelques heures avant. Il reste la question des produits chimiques rejetés en même temps que la saumure, dont on ignore les effets, et celle du cumul des impacts de plusieurs usines dans une mer fermée (Méditerranée, Mer Rouge, Golfe Persique)

Même si la majorité des entreprises rencontrées déclarent que les impacts environnementaux des saumures sont faibles, les opérateurs du dessalement s'intéressent de plus en plus au concept ZLD (rejet liquide nul) et de manière plus pragmatique au concept MLD¹⁹ (rejet liquide minimum). Considérant que la saumure contient des composants intéressants tels que du lithium, l'idée est de transformer le défi de réduction de la saumure en opportunité via la production de différents composants. Des entreprises comme Suez par exemple ont des plans de réduction d'utilisation des produits chimiques, dont le coût est loin d'être négligeable.

L'eau et les sels récupérés dans le ZLD et le MLD peuvent avoir diverses utilisations en fonction de leur qualité et de leur quantité. Les sels peuvent trouver des applications en tant qu'agents de déglaceage, composants de batteries, etc. Aujourd'hui, par exemple, Veolia développe des recherches pour valoriser le calcium, le sodium et le magnésium.

Les recherches relatives au ZLD et MLD sont aujourd'hui balbutiantes et se heurtent à plusieurs difficultés :

- ce sont des procédés énergivores (qui pourraient en outre augmenter les émissions de GES),
- les métaux rares (lithium...) sont présents en quantité trop faible pour que l'exploitation soit rentable [0,2 mg/l (source CNRS) à comparer à 150 mg/l dans les saumures géothermales (source BRGM) et à 9000 mg/kg pour un minerai comme celui d'Echassières dans l'Allier (source IMERYS)]
- le sel, mélangé avec des produits chimiques, peut ne pas être comestible (Il existe néanmoins une usine en Inde qui a couplé la production d'eau potable et celle de sel alimentaire)

1.4.2.3 Autres impacts potentiels sur l'environnement

Le fonctionnement des usines de dessalement peut avoir des impacts ou risques environnementaux autres que ceux liés à la consommation d'énergie et au rejet des saumures. Sans les avoir véritablement analysés, on peut citer :

- Les boues issues des bassins de prétraitement et de traitement des eaux de nettoyage des membranes ;
- Les prélèvements qui peuvent engendrer des impacts mécaniques locaux sur la faune et la flore sauvage du fait de la collision d'organismes marins contre les tambours tamiseurs et l'introduction d'organismes dans les circuits d'eau (phytoplancton, zooplancton, alevins). Cet impact est peu documenté dans la littérature. Il est plutôt aisément réduit par un filtrage ad hoc à l'entrée ;
- Le bruit et les vibrations, en particulier pendant la phase de travaux.

Il y a aussi les risques liés au stockage des produits chimiques pour le prétraitement et la potabilisation.

1.4.3 Quelles mesures pour réduire les impacts environnementaux

La mission a pu examiner des dossiers de demande d'autorisation d'usines, qui sont extrêmement détaillés. Les études pour évaluer les effets des rejets, notamment les études de courantologie, sont systématiques. Les études de courantologie (si possible sur différentes périodes de l'année) sont utilisées pour modéliser la diffusion, et la dilution des rejets.

¹⁹ Le concept de ZLD fait référence à un système de gestion de la saumure qui garantit qu'il n'y aura pas de rejet d'eaux usées dans l'environnement. Le concept de MLD fait référence à un système de gestion qui minimise le rejet de saumure dans l'environnement, récupérant plus de 95 % de l'eau douce, et seulement 5 % du volume étant un effluent concentré, qui peut être géré de manière plus durable. La différence entre le ZLD et le MLD réside dans le degré de récupération de l'eau et des ressources, ainsi que dans la quantité et la qualité des effluents générés.

En général, un des objectifs de ces études est d'estimer à partir de quelle distance du point de rejet il n'y aura plus d'impact, ou de prévoir l'installation de telle manière qu'il n'y ait plus d'impact à une distance donnée du point de rejet. Par « plus d'impact », la mission comprend « moins de 1 g de plus de sel que la salinité ambiante », norme régulièrement adoptée dans les réglementations qui fixent ce genre de limite, sachant qu'il n'y a pas forcément de règle générique dans tous les pays (cas de l'Espagne). Cf. chapitre 3.1 « réglementation »

Les entreprises rencontrées nous ont montré, dossiers détaillés à l'appui, que les techniques pour réduire l'impact des prélèvements et des rejets sont multiples. On peut mentionner :

- Le mode de captage : privilégier le captage via un puits à drains rayonnants (évite l'aspiration d'animaux, de poser des tuyaux dans la mer, permet d'avoir une eau brute de meilleure qualité et donc de réduire l'utilisation de produits chimiques ou le nombre d'étapes de prétraitement) ;
- L'amélioration du prétraitement avant traitement par des produits chimiques ;
- Le choix du point de rejet : choisir un point où il y a du courant, et où les enjeux écologiques sont moins élevés ;
- Le mode de diffusion (privilégier plusieurs points de diffusion, éviter le rejet sans diffuseur) ;
- Accroître la dilution (permet de réduire la variabilité de salinité) :
 - Le mélange du rejet avec d'autres rejets. Par exemple :
 - mélange avec de l'eau salée de refroidissement d'une usine (Maroc) ;
 - mélange avec les eaux issues d'une STEP (Barcelone) ;
 - La baisse de rendement eau douce/eau de mer (rejeter une saumure moins salée) ;
- Energie décarbonée pour réduire les GES (nucléaire, éolien, photovoltaïque) ;
- Réduction de la consommation d'énergie en privilégiant les eaux saumâtres ;
- Le recyclage des membranes ;

Comme cela a été évoqué dans la partie relative aux technologies, des recherches sont développées pour réduire les impacts environnementaux, soit en améliorant le process d'osmose inverse (efficacité et durabilité des membranes, réduction de la consommation d'énergie, développement du MLD...), soit en s'inscrivant dans une logique plus disruptive mais beaucoup plus incertaine.

1.4.4 Qualité de l'eau produite et risques sur la santé humaine

L'arrêté du 11/01/2007 relatif à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine définit les seuils de nombreux composants de l'eau (paramètres microbiologiques, chimiques, de radioactivité).

L'eau dessalée en sortie des osmoseurs ou des appareils de distillation est très pure, mais impropre à la consommation humaine, car trop pauvre en minéraux (exemple : calcium, magnésium, potassium). Ces minéraux sont importants pour la santé osseuse, musculaire et cardiovasculaire.

Ils permettent notamment d'équilibrer le niveau d'acidité de l'eau (pH). Une eau trop acide (pH < 6,5) peut entraîner la dissolution de métaux toxiques (comme le plomb, le cuivre ou le zinc) à partir des canalisations, ce qui pose un risque pour la santé. À l'inverse, une eau trop basique (pH > 8,5), peut être irritante pour les muqueuses et la peau.

Avant d'envoyer l'eau issue de la désalinisation dans le circuit de distribution au consommateur final, il faut donc reminéraliser correctement l'eau en la laissant passer dans des bacs prévus à cet effet (exemple : utilisation de calcite et/ou de dolomie, dioxyde de carbone).

Malgré ces précautions, il est déjà arrivé qu'il soit en pratique parfois difficile de maîtriser tous les paramètres, surtout en environnement difficile (climat tropical, réseau de distribution dégradé, coupures d'eau trop fréquentes). C'est pourquoi, outre les autocontrôles effectués par les opérateurs, l'ARS procède à des mesures au minimum mensuelles de la qualité de l'eau distribuée.

- **Un risque connu et déjà rencontré en France : les bromates**

Les bromates représentent un composant chimique extrêmement toxique pour l'homme (dont des insuffisances rénales pouvant entraîner la mort). C'est également un cancérigène.

Le niveau élevé de bromures dans l'eau de mer, associée à des conditions de traitement mal contrôlées (ozone, chloration, pH, temps de contact trop long dans les canalisations, température ambiante élevée...), peut engendrer la formation de bromates.

Ce composant a déjà donné lieu à des interdictions de consommation de l'eau pour certains usages (boisson, cuisson, lavage de dents) pendant plusieurs mois dans deux îles des Antilles alimentées chacune par une usine de dessalement de l'eau de mer : St Barthélémy (d'août 2018 à octobre 2019, soit plus d'un an) et St Martin (de juin 2019 à décembre 2019), sa présence dans l'eau distribuée au-delà du seuil réglementaire (10 µg/litre, selon l'arrêté du 11/01/2007) ayant été constatée. La solution a consisté à changer la stratégie de désinfection, purger le réseau et mieux contrôler l'ensemble du processus.

- **Un risque non estimé : la présence de PFAS liée au process de dessalement**

Les PFAS (substances per- et polyfluoroalkylées, parfois appelées « polluants éternels ») ont des effets néfastes sur la santé : effet immunitaire, métabolique, cancérigène possible, perturbation hormonale (cf. site ANSES).

Ils sont réglementés dans l'eau potable en France depuis janvier 2023 (arrêté du 11 janvier 2007 modifié). Les seuils sont issus de la directive européenne 2020/2184 (directive eau potable). Adoptée fin 2020, elle prévoit : 0,1 µg/l pour la somme de 20 PFAS prioritaires et 0,5 µg/l pour la somme de l'ensemble des PFAS détectables. Les États membres ont jusqu'au 12 janvier 2026 pour appliquer ces obligations. L'introduction de ces seuils réglementaires sur les PFAS devrait permettre d'obtenir davantage d'informations.

Les membranes d'osmose inverse éliminent efficacement la majorité des PFAS présents dans l'eau brute (98²⁰ à 99% selon les différentes sources²¹). Ces PFAS se retrouvent concentrés dans la saumure. Par ailleurs, certaines membranes peuvent, en conditions spécifiques (membranes neuves ou dégradées), relarguer de faibles traces de PFAS. La mission n'a cependant pas trouvé de documentation scientifique sur ce sujet.

Il est donc recommandé, dans tout projet important de dessalement, de documenter la présence de PFAS et d'évaluer leur impact sur les rejets et sur l'eau produite.

Recommandation 1.

(1) [DEB et DGPR] Rendre obligatoire le monitoring environnemental des usines de dessalement et la publication de ses résultats ainsi que la communication, dans les études d'impacts, des résultats du monitoring environnemental des usines déjà exploitées par le demandeur.

(2) [DEB & MESR] Développer les recherches sur les effets à long terme des saumures sur les écosystèmes et leur contamination des chaînes trophiques, et sur la réduction à la source et le traitement des saumures.

(3) [DEB] Interdire les rejets dans les zones de protection forte.

1.5 Des coûts de revient de l'eau dessalée qui diminuent en fonction de la taille des usines

Les coûts relatifs au dessalement d'eau de mer sont très variables selon la localisation, la qualité des eaux brutes, la technologie utilisée, la capacité des usines... Cette variabilité est tellement importante, et les sources d'information peu qualifiées, que l'objet de cette partie est de donner, non pas des évaluations chiffrées précises, mais des ordres de grandeur des différents coûts ou prix.

²⁰ United States Environmental Protection Agency - Multi-Industry Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Study – 2021 Preliminary Report

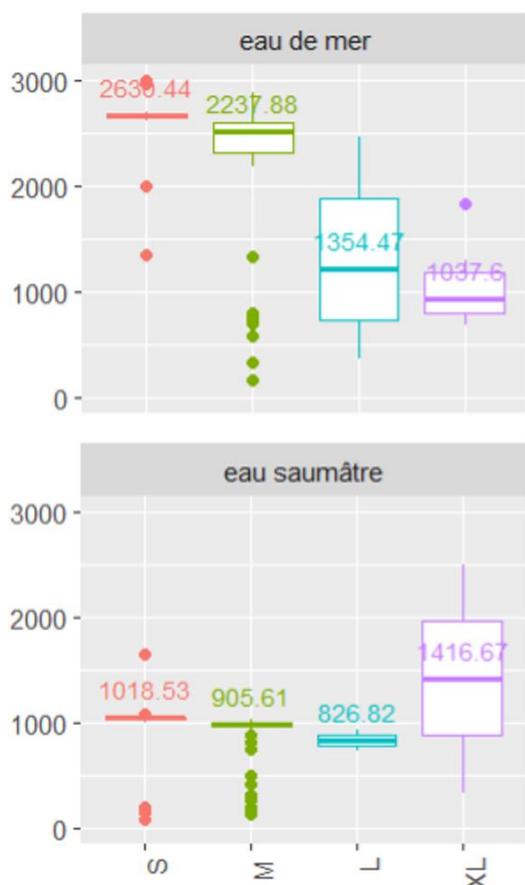
²¹ « L'osmose inverse montrerait une efficacité partielle pour capturer le TFA métabolite PFAS » (source : <https://filtrepfas.fr/>)

Cette partie traite des coûts de production d'eau douce hors transport et distribution.

1.5.1 Les coûts d'investissement

Au Proche et Moyen-Orient, les coûts d'investissement, pour des usines de grande capacité [supérieure à 200 000 m³ / jour] sont généralement estimés à environ 1000 €/m³/jour.

En Europe, les coûts médians d'investissement par m³/jour selon la capacité de l'usine de dessalement sont les suivants :



Taille des usines	Capacité de traitement journalière (m ³ /jour)
S	100 – 999
M	1 000 – 9 999
L	10 000 – 49 999
XL	≥ 50 000

Les « **boîtes à moustaches** » sont utilisées ici pour visualiser la distribution des coûts d'investissement par quartile :

- la limite basse correspond au premier quartile (25 % des projets) et la limite haute au troisième quartile (75 % des projets) ;
- les traits horizontaux continus représentent les coûts médians (50 % des projets) ;
- les traits verticaux continus définissent le minimum et le maximum ;
- les points représentent des valeurs aberrantes.

Figure 10 : Variation du coût d'investissement en Europe (euros par m³/jour).

Sources :

- Données : EMODnet ;
- Traitement : mission

Les effets d'échelle sont importants et les coûts d'investissement par m³/jour diminuent fortement avec la taille des usines. Par exemple, en Europe, pour le dessalement de l'eau de mer, le coût médian par mètre cube est de 2 630 \$ pour une petite usine (catégorie S) contre 1037 \$ pour une grande usine (catégorie XL), soit un rapport quasiment du simple au triple.

L'usine de Barcelone a coûté 230 millions d'€ pour une capacité de 200.000 m³ / jour), soit un investissement équivalent à 1150 € / m³ jour.

Les quelques chiffres obtenus par la mission sur les unités opérationnelles en France sont cohérents avec ces ordres de grandeur, en particulier pour les petites unités portuaires récemment installées (hors bien évidemment les unités qui font l'objet de location) et pour lesquelles l'investissement est généralement compris entre 2 000 et 3.000 €/m³ jour.

Quant au projet d'usine de dessalement à Ironi Bé (Mayotte), il présente un coût d'investissement prévisionnel par m³/jour très largement supérieur aux chiffres médians : 94 M€ [40 M€ pour la plateforme et 54 M€ pour les travaux d'équipement] pour une capacité de 10.000 m³/j, soit plus de 9 000 euros par m³/j.

Même si on considère que la capacité peut être portée à 17.000 m³/jour, ce coût reste très élevé (quasiment 6 000 euros par m³/j).

Ce coût extrêmement élevé peut s'expliquer, au moins partiellement, par les conditions d'acheminement, les exigences de sécurité, les difficultés et coût de logement des techniciens, l'octroi de mer, le manque de concurrence...

1.5.2 Décomposition du coût de l'eau dessalée

La décomposition du coût de l'eau dessalée au Moyen-Orient et pour des usines d'une capacité supérieure à 100 000 m³/jour est la suivante :

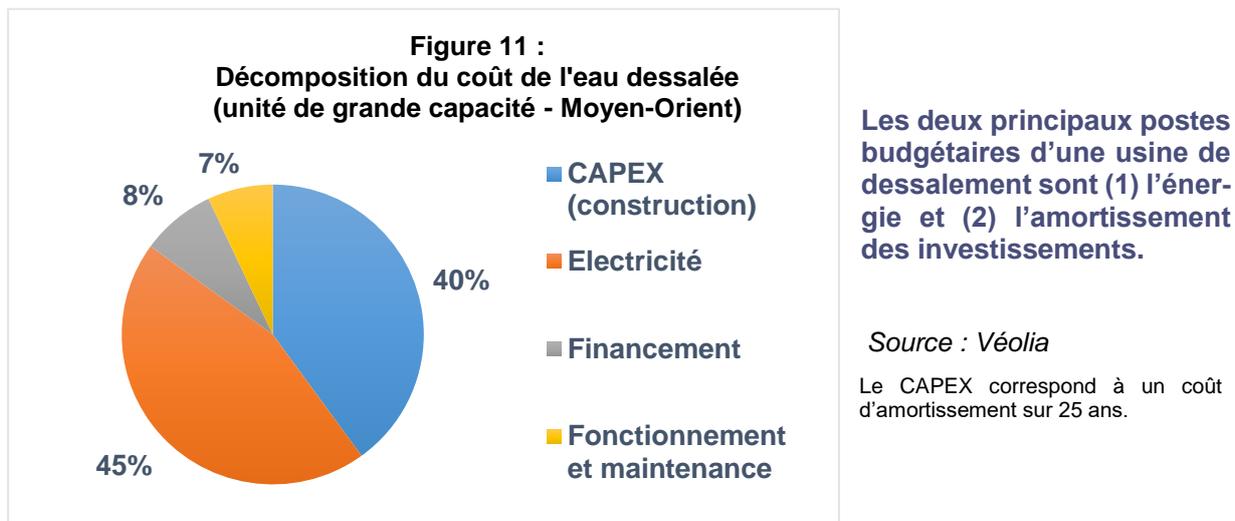


Figure 11 : Décomposition du coût de l'eau dessalée : exemple d'une unité de grande capacité au Moyen-Orient

Comparaison selon la technologie utilisée :

La figure suivante montre le différentiel de coût, en 2015, entre les technologies utilisées au Moyen-Orient et explique la prédominance actuelle de la technologie membranaire par rapport aux technologies thermiques (d'autant plus, que depuis 2015, la consommation énergétique de l'osmose inverse a diminué).

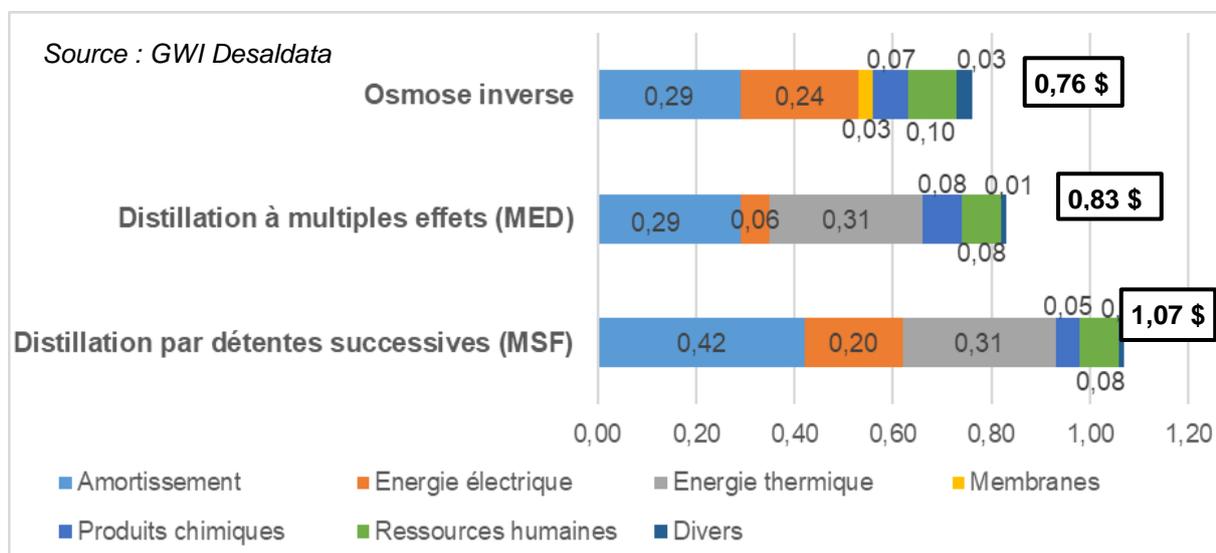
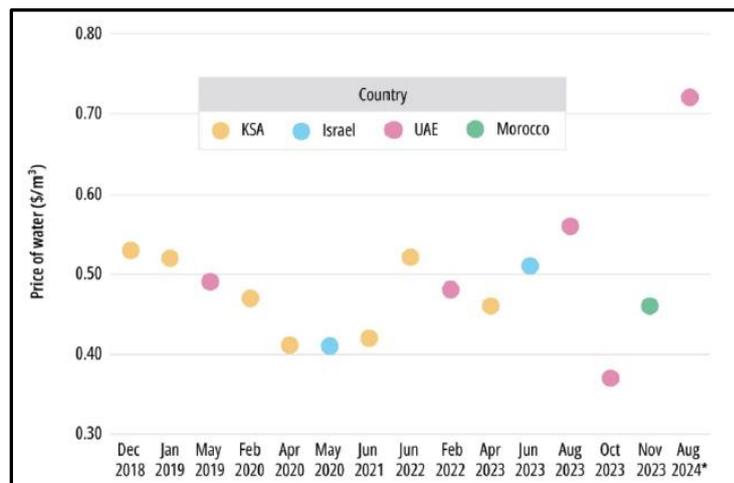


Figure 12 : Coût de revient de l'eau dessalée / m³ (données 2015 pour une usine au Moyen-Orient d'une capacité supérieure à 100.000 m³ / jour

Coûts considérés pour cette analyse : électricité : 0,05 \$ / kWh ; baril de pétrole : 60 \$

Les coûts actuels pour l'osmose inverse pour des usines de très grande capacité :

Les récents appels d'offre pour la construction et l'exploitation d'usine de dessalement par osmose inverse, basés sur la base d'un prix de vente au mètre cube, constituent un bon révélateur du coût de revient d'un m³ d'eau dessalée (hors foncier).



KSA : Arabie Saoudite
UAE : Émirats arabes unis
* : Appel d'offre non encore attribué
(soumission la plus basse)

Source : Tracking the price of desalinated seawater – GWI Desaldata – Août 2024

Figure 13 : Prix de vente de l'eau, sortie usine (\$/m³) : résultats des appels d'offre en Arabie saoudite, Emirats arabes unis, Israël et Maroc

Dans les pays du Moyen-Orient, le prix du m³ d'eau dessalée varie entre **0,4 et 0,7 \$/m³**.

Au Maroc, les dirigeants d'OCP Green Water – en charge de la gestion de l'usine de dessalement de Jorf Lasfar [capacité actuelle de 200 000 m³/jour] ont déclaré un coût de revient de **0,45 \$/m³**, sachant que l'usine de dessalement utilise certaines infrastructures (bassins, tuyaux...) de l'usine de production de phosphates.

À Barcelone, l'agence catalane de l'eau a estimé le coût de revient de l'eau dessalée, en 2024, à **0,60 €/m³**.

Les coûts actuels pour l'osmose inverse pour des unités de petite capacité : selon la source énergétique utilisée (panneaux photovoltaïques, batteries, alimentation électrique, générateur...) une société comme Osmosun® qui commercialise des unités de petite capacité, principalement dans les pays du sud, déclare obtenir un coût de production de l'eau compris **entre 1,5 et 2.75 €/m³** (pour une capacité de production d'environ 50 m³/jour).

Ordre de grandeur des coûts pour les petites unités en France :

En France, où seules des unités de petite capacité ont été construites, les prix de revient de l'eau dessalée (sortie usine) sont plus élevés :

- A Mayotte, le coût prévisionnel de l'eau dessalée, pour l'usine d'Ironi Be, a été estimé à 2,18 € / m³ ;
- Sur l'île de Sein, le prix de revient de l'eau dessalée est supérieur à 8 € / m³ mais il intègre, au moins en partie, les coûts de distribution et d'entretien du réseau ;
- Pour l'usine de Saint-Martin le coût de revient est estimé à environ 2,4 € / m³ ;
- À Saint Barthélémy, le coût de revient est de 3,19 €/m³ (données 2024) ;
- Dans les ports équipés d'unité de dessalement de très petite taille, les prix de revient sont plus élevés. Ceci s'explique par la très faible capacité de ces unités, une production bien souvent très inférieure à la capacité de production...ce qui n'est pas rédhibitoire au vu de la faible sensibilité des utilisateurs à ce coût, l'objectif des opérateurs n'étant pas de commercialiser l'eau mais d'assurer un service inclus dans un ensemble de prestations délivrées au bénéfice des clients du port.

Quel pourrait être le prix de l'eau dessalée en France métropolitaine pour une usine de grande capacité (environ 200 000 m³/jour) ?

À dire d'experts, le coût de revient d'un m³ d'eau dessalée, pour une usine de grande capacité pourrait au minimum être de l'ordre de 0,7 € (sans intégrer le coût du foncier ni le coût du transport de l'eau vers les lieux de stockage pour redistribution).

Une simulation très sommaire fondée sur un investissement à 1000 €/m³, une durée de vie de 25 ans, un coût de l'électricité à 0,09 €/kWh²², la mission confirme cet ordre de grandeur.

À titre de comparaison, les coûts de traitement pour les autres sources d'eaux sont les suivants :

- Eaux conventionnelles : 0,2 – 0,4 € (source Suez²³)
- REUT : 0,20 – 1 € (sources : Chambre Agriculture France et CGAAER²⁴)

En Espagne, les responsables de l'agence catalane de l'eau estiment que le coût de l'eau dessalée représente deux fois le coût de la REUT et quatre fois le coût des eaux conventionnelles.

1.5.3 Le financement du dessalement :

L'octroi des financements : un moyen d'exigence environnementale et sociale

L'octroi de financement pour des grands projets industriels et d'infrastructure implique de plus en plus le respect des principes de l'Équateur²⁵, des normes de performance d'IFC²⁶ (International Finance Corporation)... Ces principes et normes définissent un niveau minimum d'exigences pour un investissement dans différents domaines de responsabilité sociétale et environnementale. Ils permettent de mieux évaluer et gérer les risques sociaux et environnementaux. Par ailleurs, l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) a élaboré un guide méthodologique²⁷ pour réaliser une évaluation environnementale et sociale pour les projets à risque modéré ou élevé.

En outre, et face à l'essor du dessalement, l'AFD travaille actuellement à la définition de conditions de légitimité et de réalisation d'un projet de dessalement pour déterminer son éventuelle contribution à son financement. Ce projet de doctrine, non encore finalisé, a fait l'objet d'un échange avec la mission.

La mission considère que le respect de ces règles peut permettre de garantir un niveau minimal d'exigences environnementales et que la France devrait user de son influence diplomatique pour renforcer ces règles.

Des modalités de financement et de gestion très variables

À l'international, certains investissements de grande envergure sont réalisés sous forme d'IWP (Indépendant Water Project), c'est-à-dire que la construction et l'exploitation sont assurées par un opérateur privé ou un consortium d'opérateurs, rémunérés selon un prix au m³ d'eau dessalée.

²² Au premier semestre 2024, les entreprises ont payé en moyenne 172 €/MWh. Les entreprises grandes consommatrices d'électricité bénéficient d'un prix jusqu'à trois fois moins élevé que les entreprises faiblement consommatrices.

²³ Pour des eaux polluées (nitrates et pesticides), le surcoût de traitement peut être compris entre 0,21 et 0,5 €/m³ pour une population supérieure à 40.000 habitants- Rapport IGEDD – IGAS 2024 (tableau n°10).

²⁴ Rapport CGAAER n° 21045 : Parangonnage sur les techniques et pratiques innovantes de gestion de l'eau en agriculture. Mars 2022.

²⁵ **Les principes de l'Équateur** sont au nombre de 10 (version juillet 2020) et plusieurs peuvent s'appliquer au dessalement : « Évaluation environnementale et sociale », « normes environnementales et sociales applicables », « système de gestion environnementale et sociale et plan d'action », « suivi indépendant et reporting », « reporting et transparence »

²⁶ **Les normes de performance d'IFC** couvrent huit domaines dont certains concernent plus particulièrement le dessalement à savoir : « système d'évaluation et de gestion des risques et des impacts environnementaux et sociaux », « prévention et atténuation de la pollution », « conservation de la biodiversité et gestion durable des ressources naturelles »

²⁷ Environmental and Social Impact Assessment (ESIA) – Guidance Note, version du 15 mars 2020. <https://iucn.org/sites/default/files/2022-05/esms-environmental-and-social-impact-assessment-esia-guidance-note.pdf>

Au Maroc, le financement est généralement assuré sous la forme de partenariat public-privé avec une contribution de l'État à hauteur de 50 % (et possibilité pour les opérateurs privés de bénéficier de prêt par une fondation nationale)

En France différentes modalités sont utilisées pour gérer les petites unités de dessalement :

- Une gestion en régie (Île de Sein, majorité des petites unités portuaires visitées...)
- Une gestion par DSP (Délégation de service public)
 - en îlot concessif, c'est-à-dire une concession²⁸ uniquement pour une partie du système de production et distribution d'eau potable, à savoir l'usine de dessalement, à Saint-Barthélemy ;
 - en affermage²⁹ : Petite Terre à Mayotte, Saint Martin³⁰ ;

Dans certaines situations particulières (unité temporaire, unité portuaire de Saint Cyprien...), l'unité de dessalement a été ou est louée à une société privée.

En France où il n'y a que des structures de capacité très réduites et souvent anciennes, le coût de production d'eau douce par dessalement d'eau de mer est supérieur à 2 € par m³. Ce coût peut dépasser les 10 €/m³ pour des unités de production d'eau potable de très faible capacité (île de Sein) ou pour certaines unités portuaires.

En conclusion, le coût du dessalement d'eau de mer est caractérisé par des économies d'échelle relativement importantes, ce qui explique, au moins en partie, la construction d'usines de plus en plus grande (jusqu'à un million de m³/jour).

Selon certaines recherches (école polytechnique fédérale de Lausanne), en considérant à la fois le traitement et la distribution de l'eau, ces économies d'échelle seraient caractérisées par un seuil au-delà duquel les économies d'échelle réalisées sur le traitement seraient annihilées par les surcoûts d'investissement pour le réseau. Dans les années 90, les Suisses étaient ainsi arrivés à déterminer une taille optimale de 50 à 100 000 habitants pour une usine de potabilisation traditionnelle. Ce seuil est fonction de nombreux critères et en particulier l'importance des investissements pour effectuer le traitement de l'eau, de la densité de la population et des branchements.

Aujourd'hui ce seuil est certainement beaucoup plus élevé à la fois car les coûts des investissements pour le traitement de l'eau ont augmenté (ils seraient encore plus importants pour le dessalement) et les coûts d'investissement sur les réseaux se réduisent (le réseau existant est déjà important et le réseau est fortement interconnecté).

Il n'est pas possible de définir de manière générale une capacité optimale pour une unité de dessalement ; cette dernière est spécifique à chaque territoire.

En termes d'ordre de grandeur, et de manière empirique, la mission considère qu'une unité de dessalement devrait correspondre au minimum aux besoins de 200 000 à 300 000 personnes (soit une population comprise entre 500.000 et 1 M d'habitants si on considère un mix avec 30% d'eau dessalée). Cela équivaut à une capacité minimale de 35.000 m³ / jour.

Recommandation 2. [DEB] Éviter autant que possible la multiplication, sur une même territoire, d'unités de dessalement de petite capacité (< 35.000 m³ jour) afin d'optimiser le coût de revient de l'eau dessalée, faciliter la gestion des compétences et permettre un suivi environnemental de qualité.

²⁸ Il s'agit de contrats conclus par écrit et à titre onéreux par lesquels un pouvoir adjudicateur (« autorités concédantes ») confie l'exploitation de travaux ou la prestation et la gestion de services, à un ou plusieurs opérateurs économiques (« concessionnaires ») à qui est transféré le risque d'exploitation de l'ouvrage ou du service et dont la contrepartie consiste soit uniquement dans le droit d'exploiter les ouvrages ou services, soit dans ce droit accompagné d'un prix.

²⁹ L'affermage est un contrat par lequel le contractant s'engage à gérer un service public, à ses risques et périls, et facture l'eau distribuée, dont une partie assure sa rémunération (part fermière ou délégataire). Une autre partie de la facturation de ce service est reversée à la collectivité concédante (part collectivité).

³⁰ L'usine de dessalement de Saint-Martin était gérée en tant qu'îlot concessif au sein de l'affermage du réseau d'eau potable jusqu'en 2018.

2 Les prérequis au développement du dessalement

2.1 Les usages et territoires à cibler

2.1.1 Un usage prioritaire : l'alimentation en eau potable

Les usages de l'eau dessalée sont très variables selon les pays :

En Europe, en moyenne, 61 % des volumes d'eau dessalée sont destinés au besoin d'eau potable des villes, 30 % aux industries et 6 % pour l'agriculture.

En Espagne, le recours au dessalement n'est pas conditionné à des usages particuliers. L'eau dessalée est considérée comme une ressource supplémentaire pour répondre aux besoins d'eau dans leur ensemble. Le plan de développement récent cible 50 % d'eau dessalée produite pour l'agriculture.

Au Maroc, le plan de développement du dessalement évoque tous les usages : eau potable, industrie, agriculture... même s'il est préconisé d'utiliser l'eau dessalée plutôt pour l'eau potable et les eaux conventionnelles pour l'agriculture.

Au Koweït, plus de la moitié de l'eau dessalée est utilisée pour l'agriculture.

En France, à l'heure actuelle, l'eau issue du dessalement de l'eau de mer est utilisée principalement pour l'approvisionnement en eau potable dans certains territoires insulaires, dans des ports et pour quelques applications industrielles. Elle n'est pas utilisée à des fins agricoles.

Quels sont les usages de l'eau douce en France ?

Les prélèvements d'eau douce selon les usages (hors hydroélectricité)³¹ et leurs évolutions peuvent se résumer de la manière suivante :

De manière globale, on constate une baisse des usages industriels (1,6 % par an) et de l'eau potable (0,8 % par an). Les usages agricoles sont variables (selon la pluviométrie), sans évolution significative sur le long terme.

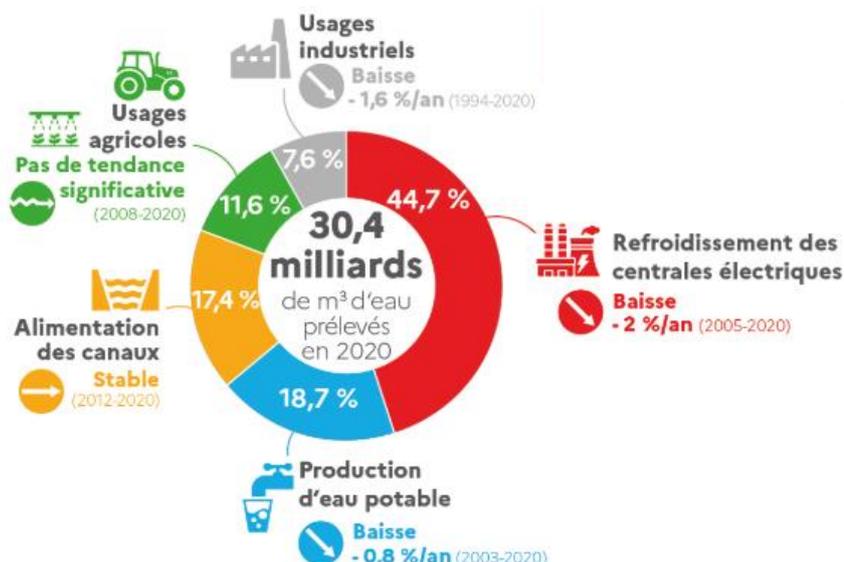


Figure 14 : Les prélèvements d'eau douce : principaux usages en 2020 et évolution depuis 25 ans

Source : Commissariat général au développement durable

Les autres usages (refroidissement des centrales électriques et alimentation des canaux) n'intéressent pas directement la problématique du dessalement.

³¹ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/les-prelevements-deau-douce-principaux-usages-en-2020-et-evolution-depuis-25-ans-en-france>

L'eau dessalée est-elle adaptée à tous les usages ?

Chaque usage d'eau douce issue du dessalement présente des intérêts et limites.

Usage	Applications	Avantages	Limites
Eau potable (consommation humaine)	Fourniture d'eau potable dans les zones en déficit d'eau douce, en période de sécheresse, ou lors d'évolutions démographiques temporaires (zones touristiques) ou continues (Mayotte, certaines zones littorales)	<ul style="list-style-type: none"> • Permet de maintenir une population en bonne santé (couverture des besoins vitaux, respect des normes sanitaires...) • Modèle économique viable (en général, 2 à 3 €/m³ et proche de 1 € pour les très grandes unités) • Permet d'éviter la distribution d'eau potable en bouteille, container, bateau citerne... • Permet de gérer des crises (si usines pas utilisées toute l'année) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité de sensibiliser la population à la qualité de l'eau dessalée (pour qu'elle soit bue effectivement) • Risque d'effet rebond : coupler avec démarche de sobriété • Réseau de transport et distribution performant indispensable (limiter les fuites, éviter la stagnation d'eau...) • On ne dessert que les zones côtières³² • Coût plus élevé par rapport à la potabilisation d'eaux conventionnelles • Procédures administratives nécessitant une très bonne anticipation pour monter le dossier d'autorisation (autorisation ARS et environnementale)
	Sécurité civile : intervention en situation d'urgence (ex : catastrophe naturelle) ; Défense nationale	<ul style="list-style-type: none"> • Il existe des systèmes de traitement transportables pour dessaler l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Solutions valables pour de courtes durées d'intervention, compte tenu des contraintes de logistique et de coûts
	Navigation : alimentation en eau potable pour les marins, plaisanciers et touristes	<ul style="list-style-type: none"> • La plupart des navires de grande capacité sont équipés de système de dessalement 	<ul style="list-style-type: none"> • Modalité de rejets en mer, voire dans les ports (cf. annexe 9)
Agriculture	Irrigation dans des régions sèches (Maroc, Espagne), fermes aquacoles, élevage	<ul style="list-style-type: none"> • Permet de maintenir voire de développer une activité agricole • Contribue à la sécurité alimentaire et à la compétition internationale 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque important d'effet rebond • Coût de l'eau dessalée très élevé comparativement au prix actuellement payé par les agriculteurs (entre 0,07 à 0,12 €/m³ selon l'agence de l'eau Adour Garonne, ou 0,3 euros/m³ en Paca) • Teneur minérale parfois inadaptée aux sols et cultures (exemple 'des effets négatifs de l'excès de bore sur les agrumes)
Usages industriels et touristiques	Eau pour process industriels (électronique, chimie, énergie) et autres usages (nettoyages...) Eau pour infrastructures touristiques (hôtels, piscines, golfs, nettoyage des bateaux dans les ports de plaisance, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité de disposer d'une eau très pure (et de qualité constante) • Maintient les activités économiques, même en période de pénurie (la disponibilité en eau douce peut constituer un avantage comparatif) 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût élevé par rapport à des alternatives comme la récupération des eaux de pluie ou la REUT (réutilisation des eaux usées traitées) * Développement peu contrôlé du rejet des saumures issues de propriétés privées (hôtels, ...)
Usage urbain	Arrosage d'espaces verts, nettoyage des voiries, et des véhicules)	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de nécessité de potabiliser • Alternative en cas de pénurie d'eau douce • Maintien du confort urbain (et des conditions sanitaires) 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût pouvant être élevé • La REUT peut être plus intéressante

Tableau 4 : Intérêts et limites du dessalement selon les usages

³² Même si au Maroc, une usine dessert Marrakech, ville à 150 km des côtes et à 600 m d'altitude

Quel que soit l'usage, le dessalement peut présenter un intérêt environnemental dans le sens où il permet de réduire les prélèvements d'eau douce issue du milieu naturel. Il peut faciliter le maintien d'un débit d'étiage des cours d'eau suffisant, éviter la surexploitation de ressources souterraines, limiter le risque de remontée du biseau salé... (Certaines régions espagnoles commencent à l'observer).

En ce qui concerne l'eau potable, le dessalement constitue une réponse adaptée lorsque les ressources conventionnelles sont insuffisantes pour couvrir les besoins et que les moyens adéquats ont été mis en œuvre pour réduire la consommation (sobriété, rendement des réseaux de transport et de distribution...). Les coûts de production peuvent être considérés comme acceptables pour l'eau potable (2,21 €/m³ en 2023 hors assainissement³³).

Quant à la question de l'utilisation d'eau dessalée pour l'irrigation agricole, elle mérite d'être appréhendée très sérieusement.

Plusieurs éléments de réponse doivent être pris en considération et, en premier lieu, la question de la rentabilité économique. Une étude³⁴ réalisée en Espagne montre que le bénéfice généré par 1 m³ d'eau dessalée est très variable selon les cultures :

Type de culture	Rendement (tonnes/ha/an)	Consommation d'eau (litres/kg)	Prix (€/kg)	Productivité par ha (€/ha/an)	Productivité de l'eau * (€/m ³)
Riz	4,9	2,28	0.3	1 318	0,15
Pomme de terre	33,6	199	0.2	7 716	1,98
Blé	70	121	0.1	9 691	1,15
Légumes sous serre	85	80	0.6	48 531	6,97
Légumes hors serre	37	199	0.4	14 536	3,11
Fruits	21	350	0.5	11 444	2,48
Coton	2	4,32	0.3	721	0,17
Citronnier	30	257	0.2	7 000	1,38
Amande	1,1	4,45	1.0	1 112	0,51
Olivier	7,6	485	0.5	3 905	3,90

* : la productivité de l'eau représente l'augmentation de revenu générée avec 1 m³ d'eau (si on considère qu'un m³ d'eau dessalée coûte 1 €/m³, cela signifie que seuls les produits dont les valeurs de productivité sont supérieures à 1 €/m³ pourraient théoriquement supporter le prix de l'eau dessalée).

Tableau 5 : Evolution des revenus agricoles liés à l'utilisation d'eau

Dans les deux pays visités par la mission, l'eau dessalée utilisée à des fins agricoles est largement subventionnée. Au Maroc, elle est généralement subventionnée à hauteur de 50 % du coût de revient. En Espagne, elle peut être subventionnée entre 0.32 et 0.37 €/m³, soit un pourcentage similaire. Ces soutiens financiers à l'eau agricole permettent de développer des productions agricoles « à haute valeur ajoutée », très compétitives sur le marché européen et français (exemple des tomates et myrtilles produites au Maroc, susceptibles de concurrencer les productions françaises).

A priori, l'eau dessalée, déminéralisée et pauvre en éléments nutritifs, serait moins adaptée que la REUT pour l'agriculture mais, avec une unité de grande taille, elle pourrait présenter des coûts de revient analogues : le CGAAER³⁵, en mars 2022, estimait le prix de l'eau d'irrigation issue de REUT dans une fourchette comprise entre 0,8 et 1 €/m³, contre 0,05 à 0,20 €/m³ pour celles issues d'eaux brutes.

La mission considère qu'il ne faudrait pas que le dessalement conduise à développer des cultures qui n'ont rien à faire dans des zones sèches. À défaut, cela constituerait un contresens écologique et économique.

³³ <https://www.eaufrance.fr/chiffres-cles/prix-moyen-global-de-leau-au-1er-janvier-2023>

³⁴ Terrero et Zarzo (2022) Experiences of Desalination for agriculture in Spain. Technology, Economy and Innovation. 21 p.

³⁵ Rapport CGAAER n° 21045 : Parangonnage sur les techniques et pratiques innovantes de gestion de l'eau en agriculture, mars 2022.

Considérant les évolutions des besoins de l'eau en agriculture du fait du changement climatique, la mission considère que, avant de considérer l'eau dessalée comme une ressource pour l'irrigation agricole, il faudrait définir et mettre en œuvre toutes les mesures pour réduire la consommation d'eau (adaptation des cultures : espèces, variétés... ; optimisation des techniques d'irrigation ; tarification progressive ; gestion des réseaux ; etc.) et s'assurer de l'absence d'effet rebond (par exemple via des quotas d'irrigation). Si l'utilisation d'eau dessalée ne doit pas être exclue par principe pour l'irrigation agricole, un tel usage mérite d'examiner les prérequis mentionnés ci-dessus.

2.1.2 Des territoires prioritaires

Les territoires français pour lesquels le dessalement mérite d'être pris en considération sont ceux dont les ressources hydriques (eaux de surface et souterraine) sont insuffisantes pour couvrir les différents besoins (eau potable, alimentation et industrie), évalués dans une trajectoire de sobriété des usages.

La mission a identifié trois types de territoires, par ordre de priorité dans le temps, à savoir :

1. Certains territoires insulaires. C'est le cas des îles dites « sèches » (sans cours d'eau ou retenue naturelle exploitable) comme St Martin et de St Barthélémy. C'est également le cas de Mayotte confrontée à une augmentation considérable de sa population (près de 47 000 en 1980, près de 320 000 en 2024) et en situation de pénurie hydrique extrême (la ressource par habitant est inférieure à 500 m³/an).
2. Les territoires dont les ressources actuellement exploitées sont altérées (ou en cours d'altération) et sans autres ressources alternatives :
 - a. Territoires alimentés par une nappe littorale avec remontée du biseau salé
 - b. Territoires alimentés par des nappes d'eau qui ne respectent pas les normes sanitaires actuelles ou en cours de définition (PFAS par exemple)
3. Les territoires dont le stress hydrique devraient s'accroître en considérant les besoins fluctuant dans l'année. Malgré les incertitudes entourant les projections climatiques et les modélisations scientifiques, le projet Explore 2 a d'ores et déjà permis de mettre en évidence la vulnérabilité accrue de certains territoires³⁶.

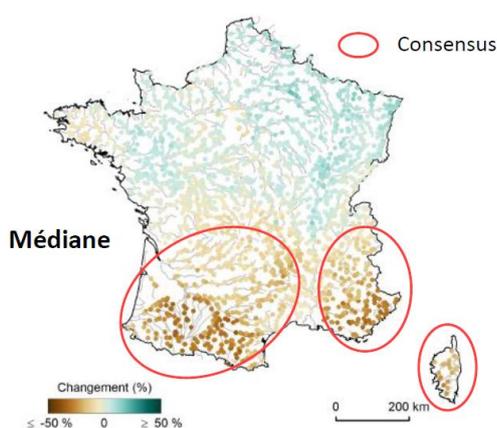


Figure 15 : Evolution des débits annuels 2070-2099 versus 1976-2005 sous scénario d'évolution forte (RCP8.5) ; c'est-à-dire le scénario le plus défavorable.

Source : Explore 2

Cette carte illustre la vulnérabilité du Sud-Ouest (de Perpignan à Bordeaux) et du Sud-Est de la France métropolitaine à la sécheresse.

En ce qui concerne le Sud-Est, il s'agit d'un secteur très interconnecté, et nous estimons que ses besoins en eau seront satisfaits encore pendant plusieurs décennies, avec l'eau du Rhône et de la Durance (tant qu'il y a des glaciers en capacité suffisante).

Recommandation 3. [DEB] Prioriser le dessalement pour l'alimentation en eau potable et sur trois types de territoires : les territoires insulaires d'ores et déjà déficitaires, ceux confrontés à une dégradation des eaux exploitées et sans autres ressources et ceux qui devront faire face à un accroissement du stress hydrique dans les prochaines décennies (sud-ouest de la France).

³⁶ <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/explore2-impacts-du-changement-climatique-ressource-eau-horizon-2100>

2.2 D'une gestion dans l'urgence à une gestion anticipatrice... qui doit s'inscrire dans les documents stratégiques et de planification

2.2.1 Ne pas attendre l'urgence pour gérer le dessalement

En Espagne et au Maroc, la gestion de l'eau est nationale : il y a une planification à cette échelle.

Ainsi, l'**Espagne** a élaboré un plan national de développement du dessalement dans les années 2000 et dénombre aujourd'hui plus de 750 usines de dessalement, (dont la moitié sont des usines de dessalement d'eau de mer) dont 86 % ont une capacité inférieure à 10 000 m³. Au début, au motif de « l'urgence », Barcelone a imaginé un moment faire appel à un bateau de dessalement, solution finalement abandonnée semble-t-il pour des raisons économiques.

Ce plan de dessalement a été mis en œuvre après une phase de construction de nombreux barrages (1 200 au total) et une opération majeure de transfert d'eau depuis le Tage vers le Sagura plus au sud.

Le programme global de dessalement AGUA a été décidé suite à l'abandon d'une interconnexion de l'Ebre vers l'Andalousie et Murcie. Il était initialement destiné à la production d'eau potable mais au final 21 % de l'eau dessalée est utilisée à des fins agricoles.

En parallèle du dessalement, l'Espagne s'est engagée de manière déterminée dans la réutilisation des eaux usées.

Pour le **Maroc**, le développement massif du dessalement répond à une situation subie d'un déficit de pluie de sept ans. Aujourd'hui, le Maroc compte 16 unités de dessalement opérationnelles et 8 supplémentaires ont été programmées. Le principe général est de développer le dessalement pour l'eau potable et de privilégier l'usage des eaux conventionnelles pour l'agriculture. Quantitativement, l'objectif serait d'assurer 50 % de l'approvisionnement en eau potable des grandes agglomérations y compris des villes comme Marrakech située à 150 km du littoral et 600 m d'altitude. Dans la pratique, une part non négligeable de l'eau dessalée est utilisée à des fins agricoles pour développer des cultures à haute valeur ajoutée principalement destinées au marché de l'export vers l'Europe principalement.

Préalablement au dessalement, le Maroc s'était engagé dans la construction de nombreux barrages, mais avec une pluviométrie faible, la quantité totale d'eau stockée dans les barrages reste insuffisante et n'a pas augmenté.

En parallèle au dessalement, le Maroc a développé la REUT mais uniquement pour l'arrosage des espaces verts, des golfs... l'utilisation d'« eaux usées » n'étant pas acceptée pour l'arrosage des produits alimentaires du fait de considérations religieuses.

En France, pratiquement tous les projets réalisés l'ont été pour répondre à une situation d'urgence et ont fait l'objet d'une gestion au cas par cas.

C'est notamment le cas et de manière criante à Mayotte, (voir annexe 4), où les retards du projet et le manque d'anticipation ont créé une situation d'urgence.

Ces situations d'urgence ont plusieurs effets :

- pratiquement, aucune installation de production d'eau potable dessalée n'était autorisée à son démarrage, et peu le sont aujourd'hui. En outre l'usine de Petite Terre à Mayotte ne respecte pas son arrêté encadrant son fonctionnement ;
- ce ne sont pas toujours les solutions les plus économiques ni les plus favorables à la préservation de l'environnement qui ont été choisies, mais les solutions les plus rapides ;
- Les installations n'ont pas fonctionné correctement pendant plusieurs années (cas de Petite Terre) ou subissent des coupures régulières (cas de Saint-Martin) ;
- La compétence n'a pas toujours été au rendez-vous.

Aussi, la mission recommande à la France de ne pas attendre les problèmes de disponibilité en eau pour décider de la place du dessalement dans le mix. Le délai entre la décision de construire

une usine et sa mise en exploitation est d'environ cinq ans (délai de référence en Espagne, actuellement, à Mayotte, c'est beaucoup plus long). Elle recommande de prendre en compte dans les projets l'évolution probable de la demande (du fait de l'évolution démographique ou du changement climatique) sur la durée de vie de l'usine afin d'augmenter la résilience du système d'approvisionnement en eau. La flexibilité de production offerte par les usines de dessalement peut permettre d'adapter la production à la variabilité de la demande et de mieux répondre aux baisses de ressources conventionnelles et/ou aux pics de demande (en particulier pour les zones touristiques). Par ailleurs, en période de faible consommation, les capacités d'une usine de dessalement pourraient être mieux valorisées en permettant la recharge des nappes.

2.2.2 Utiliser les résultats des démarches prospectives

Deux réflexions prospectives et territorialisées sur l'eau ont été conduites récemment au niveau de la France métropolitaine.

Explore 2³⁷ : Ce projet porté par Inrae et OIEau a pour objet d'évaluer l'impact du changement climatique sur la ressource en eau. Ces évaluations ont été réalisées en prenant en considération les trois scénarios du GIEC (RCP 2.6 ; 4.5 et 8.5), trois horizons temporels jusqu'en 2100 et en utilisant différents modèles hydro-climatiques (cf. annexe n° 3.1).

France stratégie³⁸ a mené une analyse prospective territorialisée de la demande en eau en fonction du changement climatique à horizon 2050. Cette prospective a considéré différentes projections climatiques (printemps-été sec, printemps-été humide...) et trois scénarios d'usage futur : « tendanciel » qui prolonge les tendances passées, « politiques publiques » qui simule la mise en place de politiques publiques récemment annoncées, et « de rupture » qui se caractérise par un usage sobre de l'eau (cf. cartes annexe n° 3.2).

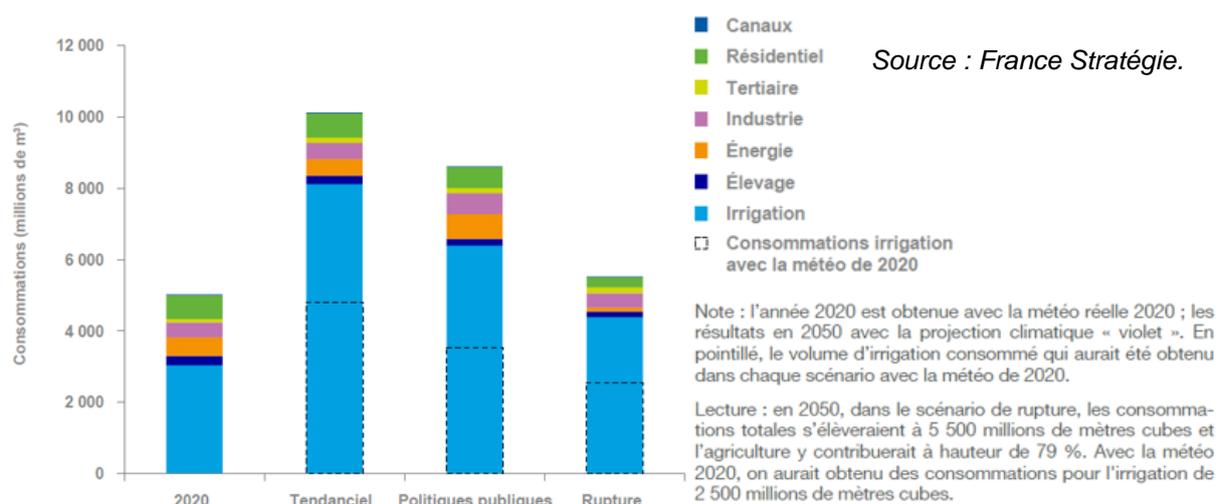


Figure 16 : Consommations totales annuelles (en millions m³) en 2020 et en 2050 dans les trois scénarios d'usage, obtenus sous la projection climatique la plus défavorable pour un printemps-été sec.

Même si ces travaux sont caractérisés par de nombreuses hypothèses et des incertitudes, ils doivent être pris en considération pour identifier les territoires à prioriser en fonction de l'évolution prévisible des besoins et des ressources.

Outre l'information spatiale, ces réflexions prospectives peuvent également permettre d'identifier les secteurs qui risquent d'être le plus touchés par le stress hydrique. Ainsi, l'étude de France Stratégie anticipe une augmentation du besoin en eau d'ici 2050, différenciée selon trois scénarios. Le besoin qui croît le plus est celui de l'agriculture, principalement du fait de l'augmentation de l'évapotranspiration.

³⁷ <https://meandre.explore2.inrae.fr/>

³⁸ <https://www.strategie.gouv.fr/publications/demande-eau-prospective-territorialisee-lhorizon-2050>

2.2.3 Prendre en considération le dessalement dans la planification

Une telle approche anticipatrice plaide pour que le dessalement figure dans les documents de planification comme les SDAGE et les schémas directeurs d'alimentation en eau potable (C'est déjà le cas pour Mayotte).

Étant donné les impacts sur le milieu marin et sur la consommation d'énergie, il serait souhaitable que le dessalement soit aussi inscrit dans des documents stratégiques tels que :

- ✓ Les schémas directeurs de l'alimentation en eau potable (SDAEP) ; leur élaboration ou leur révision apparaissent nécessaires, dès lors que du dessalement est envisagé ;
- ✓ Les schémas et schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE/SDAGE) ;
- ✓ Document stratégique de façade (DSF) / impacts environnementaux sur le milieu marin et définition de zones propices (rapport aux enjeux environnementaux, au foncier disponible...) ;
- ✓ Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), surtout pour les territoires insulaires ;
- ✓ SRADDET et SAR (Outre-Mer), dont le schéma de mise en valeur de la mer.

Recommandation 4. [DEB, DGEC] Développer une gestion du dessalement par anticipation en valorisant les résultats des démarches prospectives en France métropolitaine et en développant des démarches équivalentes dans les Outre-Mer et (2), en inscrivant le dessalement dans les documents stratégiques ou directeurs concernés : SDAEP, SDAGE/SAGE, SDAEP, DSF, Schéma régional sur l'énergie ou PPE et les ENR.

2.3 Éviter l'effet rebond du dessalement sur la consommation d'eau

L'effet rebond

L'effet rebond est défini comme « l'augmentation de consommation liée à la réduction des limites grâce à l'utilisation d'une technologie, ces limites pouvant être monétaires, sociales, physiques... »³⁹.

En 1865, l'économiste britannique W. Stanley Jevons a mis en évidence pour la première fois le mécanisme de rebond – ou « paradoxe de Jevons » - pour une ressource énergétique (le charbon) : si un progrès technologique rend un équipement plus efficace en énergie, moins d'énergie est utilisée pour produire la même quantité d'un produit ou service, ce qui permet à l'entreprise de diminuer le prix de vente du produit ou du service. Cependant, la baisse du prix peut augmenter la demande du produit ou service et alors, la quantité produite augmente également. Les économies d'énergie initialement prévues sont donc en partie perdues, compensées par une plus grande production de cet équipement et une plus grande consommation d'énergie pour faire fonctionner le total de ces équipements.

Un exemple d'effet rebond lié à l'irrigation :

Un exemple d'effet rebond relatif à la consommation d'eau est celui lié à l'amélioration des techniques d'irrigation en agriculture. En effet, l'Union européenne avait instauré des subventions pour inciter les producteurs à investir dans des technologies d'irrigation plus efficaces leur permettant d'atteindre des rendements agricoles identiques à ceux obtenus initialement mais en utilisant un volume d'eau moins important (irrigation verte). Si l'objectif affiché était la réduction de la consommation d'eau, des études appliquées ont montré que, dans certaines conditions, ces mesures destinées à améliorer l'efficacité de l'irrigation pouvaient avoir comme effet une augmentation de la consommation d'eau⁴⁰. En effet, les producteurs agricoles utilisant des techniques plus efficaces peuvent être incités à utiliser plus d'eau en irriguant de nouvelles surfaces agricoles ou en cultivant d'autres cultures exigeant plus d'eau, ce qui annulerait les gains d'efficacité (Berbel et al.⁴¹ ; Sears

³⁹ « Increase of consumption linked to the reduction of limits to use a technology. These limits might be monetary, temporal, social, physical, linked to efforts, spatial or organisational » (François Schneider, Fritz Hinterberger, Roman Mesicek, Fred Luks, 2001).

⁴⁰ Quand « l'irrigation verte » augmente la demande d'eau - Catherine Benjamin, Alejandra Giraldo Hurtado. Dans Revue économique 2021/6 (Vol. 72), pages 929 à 946 - Éditions Presses de Sciences Po

⁴¹ Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a spanish case study - J, Gutierrez-Martin C, Rodriguez-Diaz JA, Camacho E, Montesinos P (2015) - . Water Resour Manag 29(3):663-678.

et al.⁴²).

Pour éviter un tel effet rebond, l'utilisation de techniques d'irrigation plus économes devrait être associée à l'octroi de volumes prélevables.

L'augmentation de la consommation d'eau liée au dessalement en Arabie Saoudite

Le dessalement qui permet d'accroître la ressource en eau douce peut, selon les conditions de mise en œuvre, se traduire par une augmentation de la consommation d'eau. Ainsi, à Riyad (Arabie Saoudite) et selon l'Autorité générale des statistiques, la consommation quotidienne d'eau par habitant a progressivement augmenté, passant de 289 litres en 2009 à 357 litres en 2017, soit une augmentation de l'ordre de 25 % en seulement huit ans. Les citoyens de certaines villes de la région du Golfe, pourtant l'une des régions du monde les plus touchées par le stress hydrique, utilisent actuellement plus de 500 litres d'eau par personne et par jour, ce qui représente environ 3,5 fois la consommation moyenne d'un Français. Avec le développement du dessalement et de la disponibilité en eau douce associée, certaines villes du Golfe ont, au cours des 50 dernières années, transformé leurs conditions de vie et leur culture, passant d'une utilisation de l'eau très prudente et parcimonieuse à une consommation d'eau parmi les plus élevées au monde.

Comment Barcelone a essayé de maîtriser la consommation pour éviter l'effet rebond ?

En ce qui concerne la consommation d'eau douce, au regard des informations dont dispose la mission, Barcelone est une des villes européennes ayant la plus faible consommation d'eau : 106 litres par personne par jour (Reales, 2023⁴³), bien en dessous de la moyenne européenne de 144 litres par habitant (Agence européenne pour l'environnement, 2018⁴⁴). C'est seulement à partir des années 2000 que la consommation d'eau a baissé drastiquement : en effet, un habitant de Barcelone consomme aujourd'hui 29 litres de moins par jour qu'un Barcelonais en 2000 (Garfella, 2022⁴⁵) et l'objectif de la ville est de consommer moins de 100 litres par habitant et par jour.

Pour développer cette sobriété d'usage, la ville a développé deux politiques :

- une politique de sensibilisation du public commencée en 2008 : information des citoyens sur l'état des ressources, sensibilisation à la valeur de l'eau et encouragement à s'engager dans sa préservation, mise en œuvre de mesures de restriction selon l'état de la ressource...
- Une politique tarifaire fonction de la consommation (Garfella, 2022 ; Reales, 2023). À Barcelone, la facture d'eau est constituée de plusieurs éléments :
 - le prix à la consommation qui varie en fonction de ce qui est consommé. L'eau est facturée par paliers, et le prix de chaque m³ d'eau augmente à chaque palier (de 0,78 €/m³ pour les 6 premiers m³ à 3,89 €/m³ au-delà de 18 m³) ;
 - les frais de service. Il s'agit de la partie fixe qui dépend du type de logement. Plus il y a de points d'eau, plus les frais sont élevés.
 - les taxes payées à l'Agence catalane de l'eau. Comme le prix à la consommation, les taxes sont également facturées par paliers.

Le système de facturation inclut une tarification particulière (tarif social de l'eau) pour les populations vulnérables (handicap, âge, critères socio-économiques...) qui peuvent avoir droit à des réductions pour diminuer le coût de leur facture. Les réductions peuvent s'effectuer sur les taxes ou sur les frais de services mais ne peuvent se faire sur la ressource en eau en elle-même, témoignant de la valeur de la ressource.

⁴² « Jevons' Paradox and Efficient Irrigation Technology » Sears L., Caparelli J., Lee C., Pan D., Strandberg G., Vuu L. et Lin Lawell C.-Y. C. [2018], - Sustainability, 10 (5), p. 1-12.

⁴³ Reales, L. (2023, July). Strategies to tackle water shortages. Barcelona Metròpolis. <https://www.barcelona.cat/metropolis/en/contents/strategies-tackle-water-shortages>.

⁴⁴ AEE (Agence européenne pour l'environnement) (2018). Water use in Europe - Quantity and quality face big challenges. <https://www.eea.europa.eu/signals-archived/signals-2018-content-list/articles/water-use-in-europe-2014>

⁴⁵ Garfella, C. (2022, 12 August). Los barceloneses consumen 29 litros de agua menos al día que hace 20 años. El País. <https://elpais.com/espana/catalunya/2022-08-12/losbarceloneses-consumen-25-litros-de-agua-menos-al-dia-quehace-20-anos.html#>

Ces différentes situations, même si elles ne peuvent pas être généralisées, illustrent le risque d'effet rebond sur la consommation d'eau lié au dessalement et quelques moyens pour se prévenir d'un tel effet.

Recommandation 5. [Collectivités] Éviter l'effet rebond sur la consommation d'eau en adoptant une tarification incitative aux économies d'eau, tout en s'assurant que le coût global de l'eau dessalée soit couvert par les bénéficiaires de l'eau douce produite (avec possibilité de dérogation pour les territoires insulaires de petite taille).

2.4 L'échelle d'analyse et de décision à privilégier

En France, la gestion de l'eau est multiscalair :

- **L'échelle nationale**

La politique de l'eau en France est décentralisée. L'échelle nationale n'est pas une échelle de gestion. C'est à cette échelle que pourrait s'élaborer une stratégie globale sur la place du dessalement dans le mix de l'offre, les orientations en matière d'usage, de sobriété. C'est aussi l'échelle de construction de la réglementation.

- **L'échelle des communes ou EPCI**

La distribution d'eau potable relève compétence des communes, et peut relever des EPCI ou d'autres structures de mutualisation entre communes.

En 2022, la France comptait quasiment 25000 services publics d'eau et d'assainissement, dont :

- 10 518 pour l'eau potable, soit en moyenne un service d'eau potable pour 6500 habitants ;
- 12 043 pour l'assainissement collectif ;
- 2 409 pour l'assainissement non collectif.

Légende :

- Seulement la compétence Eau potable
- seulement la compétence Assainissement collectif
- Les deux compétences
- Aucune des compétences

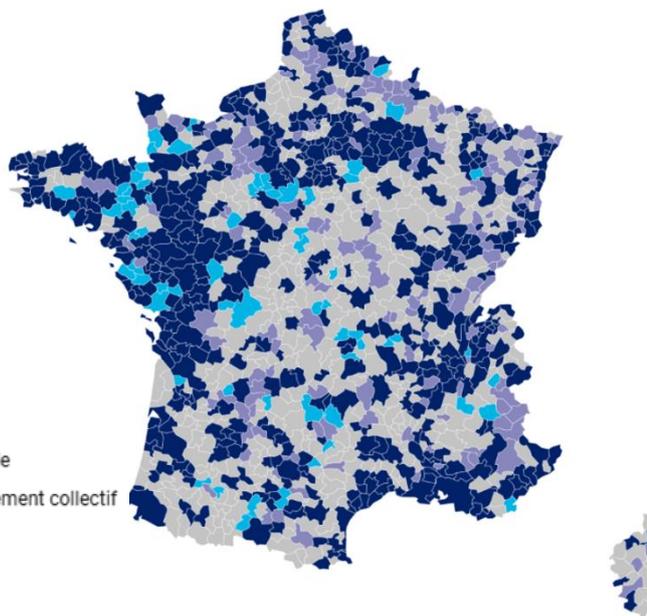


Figure 17 : carte des compétences des intercommunalités pour l'eau potable et l'assainissement (mars 2024)

Source : <https://www.intercommunalites.fr/domaines-daction/environnement-et-amenagement/politique-globale-de-leau/eau-potable-et-assainissement-la-carte/>

Il ne paraît pas pertinent d'imaginer des installations de dessalement à l'échelon des communes. Comme on l'a vu, une taille d'usine d'au moins 35 000 m³/j⁴⁶ permet d'escompter un coût de l'eau au m³ inférieur à 1 € (à la sortie de l'unité de dessalement).

⁴⁶ Une usine de 35.000 m3/jour peut alimenter 200.000 personnes en eau potable, soit 600.000 de personnes si le dessalement contribue à hauteur de 33% de l'alimentation en eau potable.

- **L'échelle du bassin administratif⁴⁷**

C'est à cette échelle que pourraient se discuter les orientations stratégiques en matière de gestion quantitative de l'eau. Élaboré au niveau du bassin, le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) fixe, pour ce bassin :

- les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau,
- ainsi que les objectifs de qualité et de quantité des eaux à atteindre.

Prévu pour 6 ans, le SDAGE est adopté par un comité de bassin et approuvé par le préfet coordonnateur de bassin.

C'est aussi à cette échelon que pourraient se discuter les aspects financiers et les éventuels soutiens des agences de l'eau. Le soutien d'une agence de l'eau pourrait être conditionné à la mise en œuvre d'un plan de sobriété et de réduction individuelle de consommation.

À noter que Le SDAGE de Mayotte prévoit explicitement la construction de plusieurs usines de dessalement (y compris le projet actuel)

- **L'échelle du SAGE**

Le SAGE est aujourd'hui une échelle de gestion qui décline les orientations du SDAGE à l'échelle d'un territoire partageant une même problématique de l'eau. Le schéma d'aménagement et de gestion des eaux dresse un constat de l'état de la ressource en eau et du milieu aquatique. Il recense les usages des ressources en eau existantes sans pour autant traiter spécifiquement les questions d'eau potable.

La gouvernance des SAGE, où l'État et même les communes ne sont parfois pas très présents, ne paraît pas l'échelle la plus adaptée pour décider d'implanter une usine de dessalement.

- **L'échelle du département**

C'est l'échelle compétente en matière de gestion des sécheresses et de restriction d'eau. C'est actuellement une échelle de gestion des crises.

Le périmètre d'un département correspond généralement aux frontières des EPCI inclus dans le département.

C'est aussi un territoire suffisamment grand pour que des projets mutualisés d'équipements, répartissant les coûts, et ainsi permettant un prix de l'eau moindre, tels que des usines de dessalement, puissent être envisagés.

Cette échelle du département peut aussi se matérialiser par la mise en place, là où cela n'existe pas, d'un syndicat départemental de gestion des eaux.

Recommandation 6. [Collectivités, DEB & DGCL] Choisir une échelle de décision et de gestion du dessalement correspondant soit à un EPCI de taille importante (population), soit à une somme d'EPCI voire à un syndicat départemental de l'eau. La décision doit alors prendre en considération à la fois des prérequis définis nationalement et une analyse coûts-avantages des différentes options à l'échelle de ce territoire.

2.5 Changer de paradigme par rapport au dessalement

Aujourd'hui en France, le dessalement est considéré uniquement comme la solution de dernier recours et quasiment toujours dans des situations d'urgence pour répondre à un déficit de l'offre par rapport à la demande en eau....

Toutefois, cette notion de dernier recours n'est pas strictement définie :

- s'applique-t-elle uniquement et strictement à l'offre d'eau...ou faut-il considérer l'arrêt ou la modification d'une activité économique comme une alternative à mettre en œuvre préala-

⁴⁷ Il y a 12 bassins administratifs en France (6 en métropole, 6 en Outre-mer)

blement ? En d'autres termes plus illustratifs, dans le cas d'un territoire confronté à un déficit d'eau pour l'activité agricole et sans autre alternative, faut-il recourir au dessalement en considérant le système de production en place ou faut-il préalablement envisager de changer de système productif ?

- quels sont les impacts environnementaux (et économiques) du prélèvement d'autres ressources en eau (eaux conventionnelles, REUT...) acceptables avant d'avoir recours au dessalement ?

Le fait d'afficher le dessalement comme le dernier recours se traduit par :

- l'absence de considération du dessalement dans les politiques et réglementations sur l'eau [ainsi que sur l'énergie (Schéma régional ou PPE et les ENR) et sur le milieu marin (Stratégie nationale mer et littoral 2024 – 2030⁴⁸)];
- le risque d'une mise en œuvre uniquement dans des situations d'urgence avec le risque d'une gestion anarchique (absence d'étude d'impact voire d'autorisation, suivi environnemental inexistant ou a minima, etc) ;
- des coûts environnementaux de renoncement, sans doute faibles mais non négligeables localement : le dessalement peut permettre de réduire les prélèvements sur les eaux conventionnelles et les impacts environnementaux associés (remontée du biseau salé, diminution du débit d'objectif d'étiage – DOE- ...).

Dans quelles situations le dessalement peut-il être « légitime » ?

Du fait de la consommation énergétique associée et de ses impacts environnementaux, le dessalement ne doit en aucun cas être considéré comme une réponse à tous les déficits d'offre d'eau douce par rapport aux besoins exprimés.

Même si la légitimité d'une telle pratique reste subjective, la mission considère que le dessalement peut être considéré comme légitime dans les cas suivants :

- territoires ne disposant pas d'autres ressources suffisantes pour assurer l'alimentation en eau potable de la population. En France, cette situation concerne quelques territoires insulaires et en particulier Mayotte. Cela pourrait également concerner certains territoires dont les seules ressources en eau douce sont devenues (ou risquent de devenir) inutilisables du fait de pollutions [situation dans le département des Charentes-maritimes]. Ainsi selon la feuille de route co-signée par les ministères chargés de l'environnement, de l'agriculture et de la santé et intitulée « Améliorer la qualité de l'eau par la protection de nos captages », 100 captages⁴⁹ sont fermés ou abandonnés chaque année pour des pollutions non traitables techniquement ou du moins à un coût raisonnable. Qui plus est, le changement climatique pourrait accentuer ce risque : quand l'alimentation des nappes baisse, la concentration en polluants augmente.
- moyen de maintenir ou de renforcer les ressources conventionnelles en eau douce pour les générations futures en évitant soit une surexploitation des ressources naturelles soit la remontée du biseau salé (qui peut être accélérée par des prélèvements dans une nappe littorale)
- lorsque les impacts environnementaux du dessalement peuvent être considérés comme moindres comparativement à ceux d'autres options telles que des prélèvements supplémentaires dans les ressources naturelles ou la REUT. L'écosystème ne doit pas être considéré uniquement comme une ressource mais également comme un usager (nécessité de maintenir des zones humides, DOE ...). À ce niveau, il semble important de mentionner que l'eau qui part à la mer ne doit pas être considérée comme perdue : les apports d'eau

⁴⁸ https://www.mer.gouv.fr/sites/default/files/2024-06/strategie_nationale_mer_littoral_20242030.pdf

⁴⁹ Il y a aujourd'hui 32900 captages en France dont 96% prélèvent de l'eau souterraine et fournissent 2/3 du volume d'eau consommé.

douce jouent un rôle important dans la conservation de l'écosystème marin littoral ou estuarien. Les coûts environnementaux doivent être pris en considération pour effectuer les choix entre les différentes solutions d'approvisionnement en eau douce.

- lorsque le coût du dessalement est plus faible comparativement à celui des autres options telles que des prélèvements supplémentaires dans les ressources naturelles lointaines, dont certaines seront également menacées par le changement climatique dans quelques décennies (fonte des glaces, baisse de débit ...) ou la REUT.

Le dessalement comme un élément du mix d'approvisionnement en eau douce

À l'exception des territoires en situation « ultime », le dessalement aujourd'hui n'est pas considéré comme une solution du fait soit des impacts environnementaux associés soit du coût de revient de l'eau.

Si l'objectif n'est pas d'élaborer un plan de développement du dessalement, la mission considère que le dessalement devrait, dans certains cas, être considéré comme un élément du mix d'approvisionnement en eau douce. Comme indiqué précédemment, il peut présenter certains avantages comparatifs par rapports à l'exploitation d'autres ressources.

La diversité et la complexité des territoires fait qu'il est difficilement envisageable d'élaborer un arbre de décision. Cela n'est même pas souhaitable car la décision doit être prise à l'échelle des territoires. Quelques principes généraux peuvent néanmoins aider les territoires à décider :

1. Primauté de la gestion de la régulation de la demande :
 - réduction des pertes sur les réseaux,
 - sobriété : réduction de la consommation, amélioration de l'efficacité de l'eau consommée (technologies), solutions fondées sur la nature (recharge de nappe, agroécologie...).
2. Gestion de l'offre (possibilités de prélèvements)
 - dessalement sur quelques territoires spécifiques :
 - ✓ territoires en situation ultime (stress hydrique avéré),
 - ✓ territoires où l'exploitation actuelle des ressources pourrait remettre en question l'approvisionnement en eau douce des générations futures.
 - soit du fait de l'altération des ressources (remontée du biseau salé, fermeture de captage pour cause de pollution...). Dans cette hypothèse, il faut bien évidemment privilégier la prise de mesures correctives relatives aux pollutions : le dessalement ne doit pas être considéré comme une « autorisation » à continuer à dégrader la qualité des eaux douces.
 - soit du fait du changement climatique
 - arbitrage entre les différentes solutions envisageables :
 - ✓ priorité à l'augmentation des prélèvements sur les ressources naturelles ou à la REUT lorsque leurs impacts environnementaux sont jugés « faibles »
 - ✓ analyse comparative coûts-bénéfices entre dessalement, REUT et augmentation des prélèvements dans les ressources naturelles dans les autres cas. Pour une telle analyse il est important de distinguer le dessalement d'eau de mer et le dessalement d'eaux saumâtres car les impacts environnementaux et les coûts engendrés diffèrent.

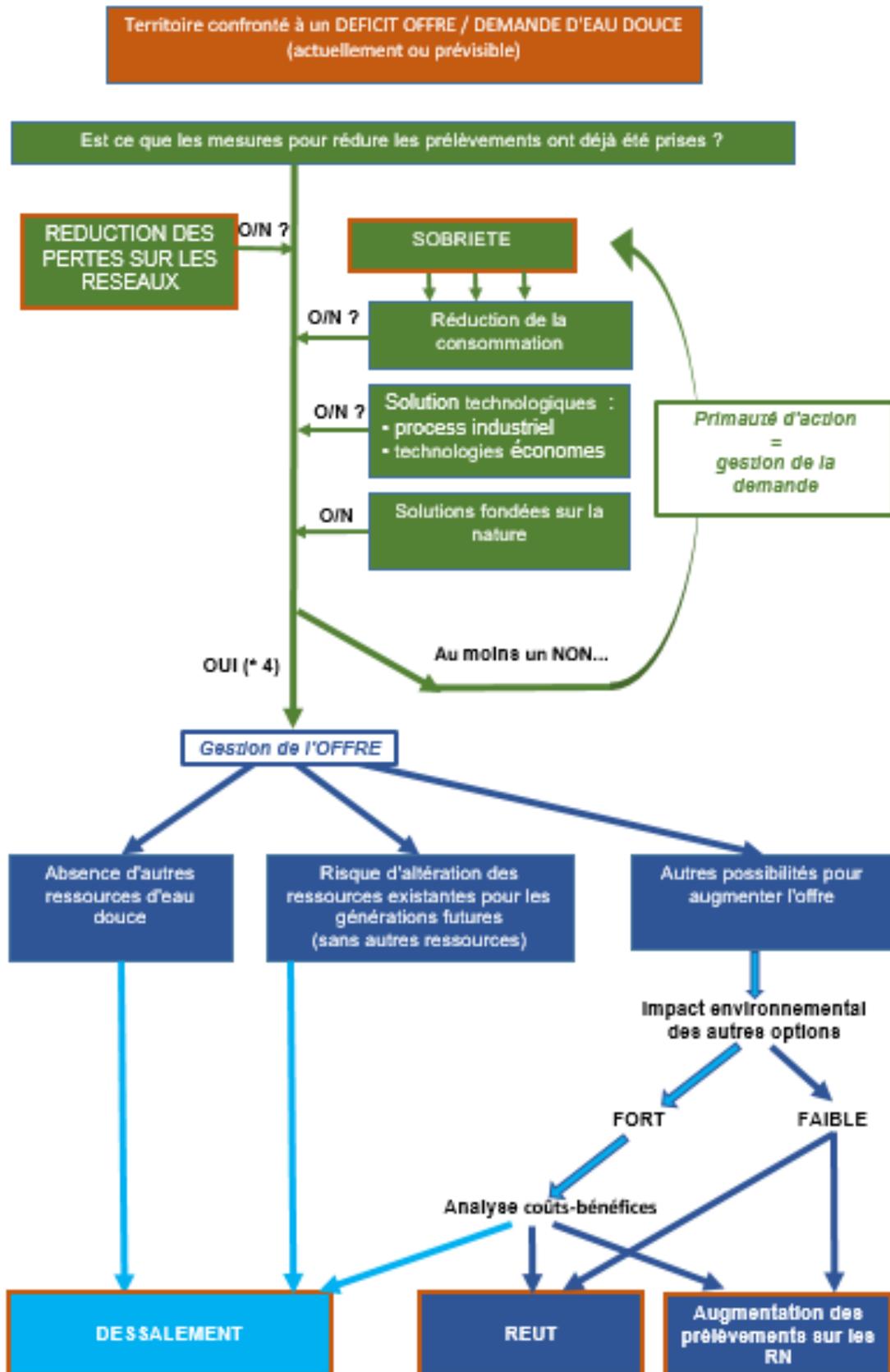


Figure 18 : Principes d'aide à la décision pour le recours au dessalement dans les territoires

Source : mission

En conclusion, et par analogie avec l'évolution de la prise en compte de la REUT ces dernières années, la mission estime qu'il serait souhaitable de changer de paradigme en faisant passer le dessalement vu comme une « *solution de dernier recours* » à « *une des solutions pour contribuer au mix d'approvisionnement en eau douce* ». Un tel changement de paradigme ne doit pas être lu comme une volonté de développer le dessalement mais comme une volonté d'utiliser le dessalement à bon escient et dans de bonnes conditions de réalisation. Le fait de considérer le dessalement comme un tabou et d'y renoncer systématiquement peut être contre-productif.

Recommandation 7. [DEB] Considérer le dessalement comme un élément du mix d'approvisionnement en eau douce :

1) sous condition d'avoir mis en œuvre des actions de réduction de la demande (sobriété, solutions fondées sur la nature, solutions technologiques d'économie d'eau) et de réduction des pertes sur les réseaux

2) en réalisant des analyses coûts-avantages comparatives, intégrant les coûts environnementaux, avec les autres solutions (REUT, prélèvement supplémentaire dans les eaux conventionnelles...).

3 Quelles mesures prendre pour maîtriser le développement du dessalement

3.1 Adopter une réglementation pour maîtriser les conditions de développement du dessalement

Il n'y a pas de réglementation spécifique en France sur le dessalement.

Considérant que le recours au dessalement pourrait se développer dans les prochaines décennies, voire même dans les prochaines années, la mission préconise de définir un cadre réglementaire sur les volets environnemental et sanitaire.

3.1.1 Les réglementations environnementales des autres pays et les lignes directrices internationales

À l'échelle de la Méditerranée, le programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) a publié ses lignes directrices (Plan d'Action pour la Méditerranée, publié en 2008) qui stipulent des pratiques de base, comme la réalisation d'une étude d'impact avant construction de toute usine.

Ces lignes directrices encouragent les parties contractantes à « veiller notamment à ce que :

- l'utilisation de sources d'eau et des mesures de gestion d'eau alternatives (telles que la conservation de l'eau, le traitement et la réutilisation de l'eau, la prévention du gaspillage d'eau imputable à des infrastructures défectueuses, etc.) soient examinées avant l'option de dessalement ;
- l'utilisation des technologies de dessalement qui minimisent la consommation de l'énergie, le recours aux énergies renouvelables, réduisent les émissions de gaz à effet de serre, les rejets de saumure et les produits chimiques, et utilisent des matériaux écologiques soit encouragée et préconisée pendant les phases de planification ;
- l'élaboration et à l'adoption des critères et des normes pour la gestion des prises d'eau et des rejets de saumure et leur application par les autorités réglementaires nationales, en gardant à l'esprit que les effets cumulatifs du dessalement .../... devraient être évalués à l'aide de l'approche écosystémique et des outils de modélisation. »

Les signataires étaient donc conscients de la nécessité de considérer les autres sources d'approvisionnement ou d'économie avant le dessalement et de l'impact possible d'effets cumulés.

Le tableau ci-dessous (source CREOCEAN) illustre les réglementations environnementales mises en place dans différents pays.

Region/Authority	Salinity Limit	Compliance Point (relative to discharge)	Source
US EPA	Increment \leq 4 ppt		
Carlsbad, CA	Absolute \leq 40 ppt	1,000 ft	San Diego Regional Water Quality Control Board 2006
Huntington Beach, CA	Absolute \leq 40 ppt salinity (expressed as discharge dilution ratio of 7.5:1)	1,000 ft	Santa Ana Regional Water Quality Control Board 2012
Western Australia guidelines	Increment $<$ 5%		
Oakajee Port, Western Australia	Increment \leq 1 ppt		The Waters of Victoria State Environment Protection Policy
Perth, Australia/Western Australia EPA	Increment \leq 1.2 ppt at 50 m and \leq 0.8 ppt at 1,000m	50 m and 1,000 m	Wec, 2002
Sydney, Australia	Increment \leq 1 ppt	50-75 m	ANZECC (2000);
Gold Coast, Australia	Increment \leq 2 ppt	120 m	GCD Alliance (2006).
Okinawa, Japan	Increment \leq 1 ppt	Mixing zone boundary	Okinawa Bureau for Enterprises
Abu Dhabi	Increment \leq 5%	Mixing zone boundary	Kastner (2008)
Oman	Increment \leq 2 ppt	300 m	Sultanate of Oman (2005)

Les réglementations existantes sont fondées pour la majorité d'entre elles sur le principe de la dilution : il est demandé de respecter une salinité maximum au-delà d'une certaine distance du point de rejet. Deux approches existent :

- salinité en proximité du point de rejet
- salinité au-delà d'une certaine distance : la zone en deçà de cette distance est appelée par les Australiens la « *mixing zone* », zone de mélange, en quelque sorte une zone artificialisée sous-marine où la vie peut être fortement altérée. Elle varie entre 50 et 1 000 m.

Il est demandé que la hausse de salinité soit limitée soit de manière relative (par exemple augmentation inférieure à 1 à 4 g/l ou 5 %), soit de manière absolue (par exemple moins de 40 g/l) dans la zone du mélange.

Le principe de respect d'une salinité maximum au-delà d'une certaine distance pourrait inspirer la réglementation française.

De même, la fixation d'un seuil d'alerte, comme en Espagne (décrit plus haut) pourrait également être intéressante.

Nous n'avons pas trouvé de réglementation encadrant spécifiquement⁵⁰ les produits chimiques (dont les impacts sur l'environnement n'ont d'ailleurs pas été étudiés).

3.1.2 Les réglementations françaises

Deux types de réglementations ont été examinées : la réglementation portant sur la protection de l'environnement (code de l'environnement), réglementant la construction et le fonctionnement d'une usine, et celle portant sur la santé (Code de la santé publique) réglementant les conditions d'exploitation de la ressource en eau, les procédés de traitement autorisés et la qualité de l'eau produite destinée à la consommation humaine.

3.1.2.1 Code de l'environnement

Les arrêtés d'autorisation pour les usines existantes, visent une ou plusieurs des rubriques suivantes de la nomenclature des IOTA (installations, ouvrages, travaux, activités).

Rubrique 2.2.3.0 : « *Rejet dans les eaux de surface, à l'exclusion des rejets réglementés au titre des autres rubriques de la présente nomenclature ou de la nomenclature des installations classées annexée à l'article R. 511-9, le flux total de pollution, le cas échéant avant traitement, étant supérieur ou égal au niveau de référence R1 pour l'un au moins des paramètres qui y figurent.* » : cette rubrique prévoit uniquement la déclaration (aucun seuil d'autorisation).

Rubrique 4.1.2.0 : « Travaux d'aménagement portuaires et autres ouvrages réalisés en contact avec le milieu marin et ayant une incidence directe sur ce milieu :

- d'un montant supérieur ou égal à 1 900 000 € (Autorisation)
- d'un montant supérieur ou égal à 160 000 € mais inférieur à 1 900 000 € (Déclaration)

Les quelques arrêtés vus pour les usines de dessalement pour de l'eau potable s'appuient sur la rubrique 2.2.3.0. Elles ne sont soumises qu'à déclaration, mais en fait leur activité est encadrée comme pour une installation soumise à autorisation.

La mission plaide pour que la nomenclature prévoit une rubrique spécifique aux installations de dessalement d'eau de mer.

Parce que les installations stockent ou utilisent aussi des produits chimiques dangereux, dont le chlore, et que les installations visées sont en fait des usines, et qu'il s'agit avant tout de réduire les impacts d'un rejet polluant, la mission estime que ce type d'usines pourrait devenir une ICPE. Cela impliquerait de créer une rubrique « dessalement » dans les rubriques ICPE. Il conviendrait aussi

⁵⁰ Hors règlements REACH, CLP & Biocides

que ces installations soient encadrées par un arrêté préfectoral, dès 1 000 m³/jour, qu'elles soient soumises à autorisation ou déclaration.

En outre, la mission a constaté que l'instruction de tels dossiers requérait une forte compétence des services instructeurs. Un dossier ICPE est traité par la DREAL, un dossier « loi sur l'eau » par la DDT(M). Or, il y a huit DREAL littorales, contre 25 DDT littorales (DDTM).

On pourrait avoir aussi une autre approche, comme celle en vigueur en Occitanie, où la police de l'eau littorale est mutualisée entre plusieurs départements, et exercée par la DREAL. La DREAL instruit donc, dans cette région, des dossiers de « loi sur l'eau ».

Une telle mutualisation pourrait également être envisagée pour les DOM par grande zone géographique.

Au regard de la nécessité d'un haut niveau de compétence, et du retour d'expérience de Mayotte, il est important de ne pas multiplier les services instructeurs, ce qui constitue un argument supplémentaire pour un classement ICPE. Il paraît également important de créer une compétence réglementaire « dessalement » à la DGPR.

Aujourd'hui, aucun texte relatif à la protection de l'environnement ne fixe de prescription spécifique pour le dessalement.

Les prescriptions générales qui s'appliquent sont celles de l'arrêté du 27 juillet 2006 « *fixant les prescriptions générales applicables aux rejets soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 2.2.3.0 (1° b et 2° b) de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié.* » Elles ne sont nullement spécifiques au dessalement, et inadaptées à celui-ci

Il y a aussi l'arrêté du 30 juin 2020 modifiant l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement. Il semble que cet arrêté limite à 1t/j le rejet de sel à la mer, ce qui correspond à quasi 15 m³ de saumure avec une salinité à 70 g/l.

La mission a examiné les arrêtés d'autorisation de Corse, de Mayotte et de quelques ports des Pyrénées Orientales, sachant que l'usine de Sein, celle de Saint-Martin et celle de Saint Barthélemy, fonctionnent sans autorisation. Ces arrêtés diversifiés s'accordent sur un certain nombre d'invariants que nous reprenons ci-dessous.

Ainsi la mission plaide pour un arrêté générique sur les usines de dessalement, qui fixerait des limites à ne pas dépasser, quelle que soit la capacité de production d'eau douce et au moins :

- une étude d'impact soumise à avis de l'autorité environnementale, intégrant des études de courantologie, de modélisation du panache (diffusion et dilution), et le respect d'un cahier des charges :
 - justification du projet (examen préalable des solutions de sobriété ou solutions alternatives) ;
 - application de la démarche éviter, réduire, compenser (ERC), par exemple :
 - analyse des alternatives et en particulier la réduction de la consommation
 - protection des captages,
 - réduction des émissions de GES, de polluants chimiques dans les saumures...
 - application des meilleures techniques disponibles ;
 - présence de diffuseurs et mesures de dilution des rejets.
- avec cependant des spécificités liées au dessalement. Par exemple :
 - un captage situé à une distance minimale du point de rejet (afin d'éviter l'influence des rejets sur la qualité des eaux prélevées), une eau pompée dont la turbidité est

inférieure à une certaine limite, qui bloque l'aspiration des espèces vivantes d'un diamètre à déterminer ;

- un suivi dans le rejet et le milieu des polluants et autres paramètres (par exemple à 100m, à 300 m et à 1000 m du point de rejet) ;
- ⊖ un suivi régulier de la biodiversité (faune et flore) aux mêmes périmètres doit permettre de vérifier le degré d'efficacité et la pérennité des prescriptions ;
- ⊖ une salinité maximale à ne pas dépasser au point de rejet (le double de la salinité de l'eau du milieu) ;
- ⊖ une salinité maximale à 300 m du rejet ne dépassant pas de plus de 2 g la salinité du milieu ;
- ⊖ une appréciation spécifique des impacts en cas de rejet dans un milieu sensible (pour rappel, la mission recommande d'interdire les rejets dans les zones à protection forte) ;
- la mise en place d'un comité de suivi de site et une transparence sur les résultats des mesures ci-dessus (publication sur un site internet facilement accessible).

3.1.2.2 Code de la santé publique

Le Code de la santé publique, à propos de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, s'inscrit dans le cadre de la directive européenne 2020/2184 qui ne distingue pas l'eau de mer dans les eaux brutes utilisables. La production d'eau destinée à la consommation humaine (EDCH) à partir d'eau de mer, par un traitement de dessalement, est soumise à la réglementation de droit commun en matière de production d'EDCH. Une autorisation préfectorale d'exploitation et de distribution est requise.

Pour les ressources qui ne respectent pas les limites de qualité pour les eaux brutes (normes définies par l'arrêté du 11 janvier 2007 pour produire de l'eau potable), ce qui est le cas de l'eau de mer compte tenu de son fort niveau de salinité⁵¹, le préfet peut adresser la demande à la Direction générale de la santé (DGS) pour solliciter l'avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail (Anses).

Les risques spécifiques au dessalement sont traités dans le guide de l'OMS « Eau potable salubre issue du dessalement : orientations sur l'évaluation et les procédures de gestion des risques pour assurer la sécurité de l'eau potable dessalée de 2011 ». Il s'agit notamment des éléments suivants :

- comme toutes les eaux de surface et certaines eaux souterraines, les dangers sont des contaminants physiques, microbiens et chimiques qui pourraient avoir un impact sur la santé ou affecter négativement l'acceptabilité (par exemple, le goût et l'odeur) de l'eau pour les consommateurs ;
- la survie de nombreux agents pathogènes microbiens est considérablement réduite dans les eaux salines, en particulier en combinaison avec un niveau élevé de rayonnement solaire. Toutefois, certains agents pathogènes, comme *Vibrio cholerae*, survivent bien dans les eaux salines. Il existe également de nombreuses algues marines qui peuvent produire des toxines préoccupantes pour la santé humaine.
- du point de vue de la contamination chimique, les constituants chimiques d'intérêt compte tenu de leurs effets sur la santé sont le bore (borate), le bromure, l'iode, le sodium et le potassium. Les concentrations de ces substances dans l'eau de mer peuvent nécessiter des mesures supplémentaires pour leur élimination (bore).

Ainsi, le dessalement de l'eau de mer pour la production d'eau potable nécessite des filières de traitement adaptées et différentes de celles utilisées pour la production d'EDCH à partir d'eau douce.

⁵¹ L'arrêté du 11 janvier 2007 mentionne un seuil de 0,2 g / l pour le sodium

L'arrêté du 20 juin 2007 relatif à la constitution du dossier de demande d'autorisation d'utilisation d'eau destinée à la consommation humaine mentionné aux articles R. 1321-6 à R. 1321-12 et R. 1321-42 du code de la santé publique précise les informations qui doivent figurer dans le dossier adressé au préfet. Elles portent sur les éléments principaux suivants :

- la désignation des personnes responsables de la production ou de la distribution d'eau ;
- les informations relatives à la qualité de l'eau de la ressource utilisée ;
- l'évaluation des risques de dégradation de la qualité de l'eau de la ressource utilisée ;
- lorsque le débit maximal de prélèvement est supérieur à 8 m³/heure, une étude portant sur :
 - les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du secteur aquifère concerné ou, pour les eaux superficielles, sur les caractéristiques hydrologiques du bassin versant concerné,
 - la vulnérabilité de la ressource,
 - les mesures de protection du captage à mettre en place ;
- l'avis d'un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique ;
- la justification des traitements mis en œuvre et l'indication des mesures prévues pour maîtriser les risques ;
- la description des installations de production et de distribution d'eau ;
- la description de la surveillance de la qualité de l'eau à mettre en œuvre.

Dans le cadre de l'instruction de cette autorisation, depuis la modification introduite par le décret du 24 janvier 2024, la saisine de l'ANSES par le préfet est optionnelle. En pratique, pour Ironi Bé, l'avis de l'ANSES a été demandé.

Les procédés de traitement et matériaux en contact avec l'eau potable

Les usines de dessalement d'eau de mer par osmose inverse utilisent des membranes qui doivent bénéficier d'une attestation de conformité sanitaire (ACS) délivrée par un laboratoire habilité par le ministère de la santé tel que prévu à l'article R.1321-50 du Code de la santé publique. L'arrêté du 12 juin 2012 relatif aux conditions de mise sur le marché et de mise en œuvre des modules de filtration membranaires utilisés pour le traitement de l'eau destinée à la consommation humaine fixe les exigences relatives à l'obtention d'une ACS. Il revient au maître d'ouvrage d'effectuer les démarches nécessaires auprès de l'ARS pour l'obtention de cette ACS. En cas de doute l'ARS peut interroger la DGS ou l'ANSES. Dans la pratique, l'ANSES regarde si les membranes bénéficient d'attestations d'un autre Etat-membre ou d'autres équivalentes. Si l'attestation existe, la membrane est réputée pouvoir être utilisée dans l'installation.

La Commission a adopté le 23 janvier 2024 de nouvelles normes minimales en matière d'hygiène pour les produits (et non pour les procédés de traitement) entrant en contact avec l'eau potable, applicables à partir du 1^{er} janvier 2027. Les produits conformes aux nouvelles normes de l'UE recevront une déclaration de conformité et un marquage spécifique à l'Union européenne, et pourront donc être vendus dans toute l'Union sans aucune restriction liée à d'éventuelles préoccupations en matière de santé publique ou d'environnement. L'osmose inverse étant considérée comme un procédé, elle reste soumise à la réglementation nationale.

Les lignes directrices de l'ANSES

L'ANSES a établi en 2009 des lignes directrices spécifiques aux usines de dessalement en appui aux exploitants pour la constitution d'un dossier de demande d'exploitation d'une ressource destinée à la production d'EDCH par dessalement de l'eau de mer. Ces lignes mentionnent que « *...le dessalement d'eau de mer pour la production d'eau potable est l'un des trois axes de travail du plan interministériel de gestion de la rareté de l'eau destiné à faire face à des sécheresses récurrentes dans un contexte de changement climatique* ».

Elles demandent par exemple :

- Une présentation de l'état qualitatif et quantitatif des ressources d'eau douce disponibles et de leur évolution et, notamment :
 - tous les éléments descriptifs des variabilités intra et inter annuelles, ainsi que les évolutions prévisibles,
 - les données climatiques et notamment pluviométriques.
- Une présentation des besoins en eau et de leur évolution et, notamment :
 - tous les éléments descriptifs des variabilités intra et inter annuelles des besoins en eau ainsi que les évolutions prévisibles détaillées par type d'utilisation (agriculture, industrie, domestiques, élevage...),
 - la description de la situation locale qui a conduit à un déficit d'eau douce accessible.
- Une description du système d'alimentation en eau de consommation humaine et notamment :
 - la liste des collectivités alimentées par le système de production et de distribution d'eau et l'estimation de la population concernée (permanente et saisonnière),
 - le schéma d'alimentation en eau de consommation humaine avec les possibilités d'interconnexions,
 - le pourcentage en perte en eau dans le réseau d'alimentation,
 - les ressources de secours en eau douce.
- Un document présentant les mesures mises en œuvre pour :
 - contribuer aux économies d'eau,
 - réduire les fuites du réseau de distribution,
 - protéger la ou les ressources d'eau douce et en garantir la pérennité sur le plan tant quantitatif que qualitatif.
- Une étude de l'impact de l'implantation de l'unité de dessalement sur les ressources en eau douce

À partir de ces lignes directrices, et en y ajoutant des lignes directrices environnementales, la mission préconise d'établir des lignes directrices pour les services de l'État et les opérateurs (annexe 10).

Recommandation 8. [DEB, DGPR, DGS] Sur le plan réglementaire, la mission recommande
(1) d'établir une instruction pour les services de l'État pour l'implantation d'une usine d'eau de mer ou d'eau saumâtre, incluant un dossier type ;
(2) par rapport au Code de l'environnement : de rédiger un arrêté générique sur les usines de dessalement et de créer une rubrique « dessalement » dans les rubriques ICPE, ce qui implique de créer une compétence dessalement à la DGPR ;
(3) par rapport au Code de la santé publique : de modifier l'arrêté du 11 janvier 2007 pour qu'il s'applique aux eaux salées sans obligation de dérogation systématique en particulier sur les paramètres chlore et sodium ainsi que l'arrêté du 12 juin 2012 afin d'y inclure, en annexe, la liste des membranes de filtration ayant obtenu une attestation de certification sanitaire.

3.2 Autres mesures accompagnatrices au développement du dessalement

3.2.1 Analyser les synergies possibles avec d'autres industries

Le dessalement de l'eau peut être intégré à d'autres activités industrielles ou énergétiques ce qui permet d'optimiser les ressources, de réduire les coûts et de limiter les impacts environnementaux. Plusieurs exemples illustrent cette approche.

3.2.1.1 Couplage avec une activité industrielle

Au Maroc, l'Office chérifien des phosphates (OCP) a initialement développé une adduction d'eau de mer pour le refroidissement, couplée avec une unité de dessalement pour ses besoins industriels internes, notamment sur le site de Jorf Lasfar. Dans le cadre du plan d'urgence national, la ville voisine a sollicité un appui pour l'approvisionnement en eau potable. Cette augmentation de la capacité de production de l'usine a alors été assurée par la filiale "OCP Green Water".

L'usine utilise de grandes quantités d'eau de mer pour le refroidissement d'une fabrication de phosphate qui nécessite de l'acide sulfurique, dont la synthèse est fortement exothermique. L'énergie fatale est valorisée pour alimenter le système d'osmose inverse. Chaque année, environ 2 milliards de m³ d'eau salée sont utilisés pour le refroidissement et 300 millions de m³ d'eau douce et potable sont produits pour les usages municipaux. L'eau pour le dessalement n'est pas directement prélevée en mer, mais puisée dans les bassins d'eau salée de l'usine. La saumure produite est également rejetée dans ces bassins, où elle est diluée avant de retourner en mer, n'entraînant qu'une faible augmentation de la salinité aux points de rejet (1 à 2 g/l). Outre le double avantage évoqué (énergie et dilution des saumures), un tel couplage a permis d'éviter une installation spécifique de tuyaux pour le captage et les rejets.

3.2.1.2 Couplage avec une activité énergétique

À Saint-Barthélemy, l'usine de dessalement utilise à la fois la distillation et l'osmose inverse. L'unité de distillation dispose d'une capacité de 1 250 m³/jour. Elle repose sur un procédé thermique multi-effet utilisant la chaleur issue de l'usine d'incinération PAPREC, située à proximité. Cette chaleur est achetée à un coût très modique (10 € la tonne de vapeur d'eau à 240° C) et est utilisée dans un enchaînement de cellules de vaporisation. Grâce à cette récupération énergétique, la consommation électrique est particulièrement faible, de l'ordre de 0,8 kWh/m³ produit.

L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) promeut également le couplage entre les centrales nucléaires et les usines de dessalement. La production simultanée de chaleur et d'électricité en continu permet un dessalement efficace.

Si aujourd'hui le dessalement thermique est de moins en moins utilisé du fait de sa consommation énergétique, un tel couplage avec une activité industrielle génératrice de chaleur⁵² pourrait relancer son intérêt d'autant plus qu'il permet de produire une eau de très bonne qualité (exempte de produits chimiques de filtration) et demande peu de prétraitement comparativement à l'osmose inverse.

3.2.2 Analyser la résilience du système d'alimentation en eau douce, notamment en milieu insulaire

3.2.2.1 Adaptation de la capacité des usines

Les besoins en eau évoluent, du fait du changement climatique et de l'évolution démographique (temporaire dans le cas des régions touristiques ou permanente, comme à Mayotte). Sachant qu'il n'est pas recommandé, pour des raisons techniques et économiques, de surdimensionner la capacité de production d'une usine par rapport aux besoins, il est important de construire des usines présentant une capacité d'adaptation :

- l'anticipation d'une évolution peut s'effectuer en surdimensionnant certains équipements (captage et tuyaux de rejets, ...), avec un espace foncier suffisant pour accroître les capacités de production. Par exemple, à Mayotte, l'usine en projet de 10 000 m³/jour, sera extensible à 17 000 m³/jour ;
- le dessalement modulaire (sous forme de containers adjacents) peut apporter une flexibilité intéressante ;

⁵² Selon l'Ademe sur un gisement total de 109,5 TWh/an à la fin de 2022, 27,9 TWh/an de cette chaleur étaient valorisés, représentant 23,7 % du gisement total. Ainsi, environ 90 TWh/an de chaleur fatale restent non récupérés, dont 85,2 TWh/an dans le secteur industriel. <https://bibliothèque.ademe.fr/industrie-et-production-durable/2312-chaleur-fatale-9791029708954.html?utm>

- Dans certaines situations (besoin exceptionnel, cas d'urgence) et sur une période limitée, le recours à la location de systèmes « portables » de dessalement peut constituer une réponse rapide et adaptée. Cela a été le cas à Saint-Martin où, suite au cyclone Irma en 2017, une production d'eau potable a été réalisée dans un délai de 8 jours grâce à une station de 800 m³/j transportée par avion. Se pose alors la question de la prise en charge financière d'une telle opération et des nécessités d'assurance (opérateur en charge de la concession, collectivités...).

Malgré tout, pour certains territoires isolés et fortement touristiques où il n'existe aucune autre source d'eau douce, des usines de dessalement surdimensionnées restent nécessaires pour couvrir les pics de consommation liés à la haute saison touristique, comme c'est le cas à Saint Martin et Saint-Barthélemy. Dans certains cas, un tel surdimensionnement pourrait sans doute être réduit grâce au développement des capacités de stockage de l'eau dessalée, par exemple, via la recharge de nappe.

3.2.2.2 Capacité de stockage suffisante

À Saint-Barthélemy, la capacité totale de stockage d'eau potable est actuellement de 1 750 m³, soit une demi-journée de consommation. En cas de panne prolongée, cette réserve s'avère très insuffisante. Un projet d'extension est en cours pour garantir plusieurs jours de réserve, assurant ainsi une meilleure sécurité hydrique.

La technologie du solaire sans batterie implique d'avoir une capacité de stockage d'eau douce suffisante pour compenser les périodes sans production possible.

3.2.2.3 Mix en eau douce et en énergie propre

Pour accroître la résilience d'un système d'approvisionnement en eau potable, les ressources doivent être diversifiées. Nous n'avons pas trouvé d'exemple où tout dépendait du dessalement, hormis dans les ÉAU et en Arabie Saoudite. Dépendre uniquement d'une usine de dessalement présente des risques de rupture d'approvisionnement en cas de problèmes techniques sur l'usine, de rupture d'approvisionnement énergétique... Le dessalement doit donc s'intégrer dans un mix d'approvisionnement comme cela est devenu le cas à Barcelone où 1/3 de l'approvisionnement en eau potable est assurée avec le dessalement d'eau de mer.

3.2.2.4 La maîtrise technique des opérateurs, et le pilotage par la collectivité territoriale

Le dessalement nécessite un niveau minimum de maîtrise technique pour assurer un rendement élevé de l'usine (et donc un coût acceptable) et une bonne qualité de l'eau produite avec un impact environnemental réduit autant que possible.

La gestion d'une usine de dessalement implique le recours à des opérateurs spécialisés. Ceux-ci doivent être très expérimentés (cela n'a pas toujours été le cas, notamment sur Mayotte Petite Terre, où de nombreux correctifs ont été nécessaires) et disposer d'équipes bien formées. En effet, la technicité est plus exigeante que pour une installation de potabilisation d'eau douce, l'eau de mer ayant des contraintes plus fortes : présence de nombreux sels minéraux à forte dose dans l'eau brute, gestion d'osmoseurs à haute pression (avec risques non négligeables d'accidents du travail), gestion de produits chimiques pour nettoyer les membranes, reminéraliser l'eau en sortie d'osmoseur et maîtriser le pH, et risques de bromates plus élevés dans les canalisations.

La collectivité doit elle-même disposer de bonnes compétences pour assurer un pilotage efficace des marchés et des projets. Elle peut déléguer ses compétences à une structure publique chargée de la gestion de l'eau dans sa globalité (potabilisation, distribution, assainissement, facturation et gestion des impayés).

Il est recommandé d'avoir, côté collectivité, une vision d'ensemble de tous les maillons de la chaîne sur l'eau : traitement de l'eau brute pour la rendre potable, distribution jusqu'au consommateur abonné, retraitement des eaux usées, prévention et gestion des incidents. Ceci n'implique pas que toute la chaîne de l'eau à savoir la production, le transport et la distribution soit assurée par un même opérateur.

Il existe plusieurs types de contrat pour gérer les relations collectivité territoriale (ou sa structure dédiée) avec l'opérateur chargé de l'usine de dessalement. Ces différents types de contrats peuvent être les suivants : régie directe, régie à autonomie financière, délégation de service public (en concession ou en simple affermage), société d'économie mixte, société publique locale. Le contrat de partenariat public privé est une solution qui permet à la collectivité d'éviter de consacrer de gros budgets d'investissement lors de la construction de l'infrastructure, l'investissement étant à la charge de l'opérateur, qui se rémunère sur le long terme, via des loyers qu'il facture à la collectivité, celle-ci les finançant via son budget de fonctionnement.

Les avantages et inconvénients des différents modes de gestion des services d'eau potable ont fait l'objet de nombreuses études et recherches. "Intercommunalités de France" (fédération nationale des métropoles, agglomérations, communautés urbaines et communautés de communes) a d'ailleurs élaboré un guide⁵³ pour aider les intercommunalités dans le choix des modes de gestion. Toutes ces réflexions s'appliquent bien évidemment au dessalement, au même titre que les autres éléments constitutifs d'un service d'eau (potabilisation, distribution...). Les principales différences à considérer sont la technicité et les compétences requises, les coûts de fonctionnement de l'usine et le coût de revient de l'eau potable (plus élevés que pour une unité de potabilisation classique).

Néanmoins une interrogation persiste quant aux modalités de gestion d'une unité de dessalement mise en service pendant la période d'exécution d'une DSP relative à la production et distribution d'eau potable. En effet, se pose la question de la possibilité juridique d'intégration de l'unité de dessalement dans la DSP par avenant. Se pose également la question de l'articulation entre l'intérêt général porté par la collectivité et l'intérêt financier de l'opérateur. La mission n'a pas approfondi ces questions mais considère qu'une expertise serait souhaitable pour aider les intercommunalités (ou les communes) à mieux intégrer une unité de dessalement dans une DSP existante.

Recommandation 9. [DEB, collectivités] Dans le cas d'un développement du dessalement :
(1) analyser les possibilités et intérêts du couplage avec d'autres activités industrielles
(2) concevoir des projets résilients (capacité d'adaptation à l'évolution des besoins, capacité de stockage, diversité des sources d'approvisionnement en eau, maîtrise technique des opérateurs...).

⁵³ <https://www.intercommunalites.fr/actualite/choisir-les-modes-de-gestion-des-services-deau-potable-et-assainissement/>

Conclusion

Le dessalement ne saurait être une solution par défaut, encore moins un prétexte pour différer les efforts indispensables en matière de sobriété, de lutte contre les fuites dans les réseaux de transport et de distribution, ou de réutilisation des eaux usées traitées. Mais face à l'aggravation probable des déséquilibres territoriaux en matière d'eau, il est indispensable de se doter dès aujourd'hui du cadre réglementaire, des outils, et des compétences nécessaires pour recourir au dessalement quand il deviendra, pour certains territoires, une évidence.

Outre les recommandations citées dans le rapport, il apparaît essentiel d'approfondir plusieurs axes :

- Réduire les impacts des rejets de saumures sur les écosystèmes via la recherche sur le traitement et la valorisation de ces dernières ;
- Explorer le potentiel d'eaux saumâtres pour lesquelles le dessalement est moins énergivore et moins coûteux que pour l'eau de mer ;
- Intégrer pleinement l'outre-mer dans les politiques nationales de prévision et d'adaptation au changement climatique (travaux de modélisation et prospectives).

La France doit se tenir prête, non pas à généraliser le dessalement, mais à l'activer de manière efficiente, au bénéfice des populations les plus exposées et dans le respect de ses engagements environnementaux. Ce choix, s'il doit rester mesuré et ciblé, suppose une appropriation des enjeux aux niveaux national et local, une vision globale et proactive de la politique de l'eau et une capacité d'instruction et de pilotage des projets sur le terrain. C'est à ces conditions que l'on pourra concilier sécurité hydrique, responsabilité écologique et cohérence territoriale.

Michel
PASCAL



Inspecteur général
IGEDD

Hanitra
RAKOTOARISON



Inspectrice
IGEDD

Patrick
ROUX



Inspecteur général
IGEDD

Frédéric
SAUDUBRAY



Inspecteur général
IGEDD

Annexes

Annexe 1. Lettre de mission



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Réf : MTECT/2024-05/22154

Paris, le 7 août 2024.

La directrice adjointe du cabinet

à

Monsieur le chef du service
Inspection générale de l'environnement
et du développement durable
Tour Séquoia
1, place Capeaux
92800 PUTEAUX

Objet : Mission IGEDD sur le potentiel et les limites au développement du dessalement de l'eau de mer en France.

L'accélération du changement climatique, et le bouleversement engendré sur le cycle de l'eau en particulier, provoquent des événements extrêmes de plus en plus fréquents. À ce titre, l'épisode de sécheresse de l'été 2022, qui s'est prolongé dans une large partie du territoire hexagonal par une sécheresse hivernale historique, a rappelé l'urgence d'une adaptation dans le domaine de la gestion de l'eau. Cette période a aussi été marquée par une sécheresse sur le territoire de Mayotte, avec de graves difficultés dans l'accès à la ressource. Face à ces situations de tensions accrues sur la ressource en eau, en sus des efforts indispensables de sobriété dans les usages de l'eau, le dessalement est régulièrement évoqué comme une des solutions envisageables à l'avenir. Malgré un contexte industriel et d'innovation qui semble porteur sur le sujet, le gouvernement ne dispose pas d'une analyse étayée quant aux potentialités réelles ni aux limites du développement de cette technologie. C'est pourquoi nous souhaitons nous appuyer sur une mission IGEDD pour éclairer le potentiel de développement de cette technologie en France et le soutien qui pourrait lui être apporté.

Vous commencerez par présenter les solutions technologiques commercialisées et opérationnelles, les principales avancées à venir et les principaux usages correspondant, en France – y compris outre-mer- ou à l'étranger. Vous établirez un inventaire des projets en cours d'instruction ou déjà autorisés ou en service en France.

Vous dresserez un état de la connaissance des problèmes de qualité des eaux potables produites avérés (Bromates...) ou possibles (PFAS...) et des solutions envisageables, des impacts environnementaux des technologies inventoriées notamment sur le milieu marin, ainsi que de leur coût énergétique et des émissions de gaz à effet de serre qu'elles génèrent selon la source d'énergie utilisée. Vous examinerez par ailleurs les conditions d'attribution des attestations de conformité sanitaire ou d'obtention de dérogation pour les équipements nécessaires au fonctionnement de ces installations.

-/-

Hôtel de Rouquémont
246 boulevard Saint-Denis - 75007 Paris
Tél : 89301 40 61 21 22
www.ecologie.gouv.fr



Votre analyse s'attachera à identifier les bénéfices potentiels en termes de préservation de la ressource en eau, dès lors que le projet s'accompagne de règles permettant la limitation des prélèvements en eau douce et la comparaison avec les autres solutions, dont la réutilisation des eaux issues des stations de traitement des eaux usées littorales. Cette analyse fournira une grille d'analyse et un arbre de décision logique, afin de flécher les projets pertinents.

Vous porterez une attention particulière à la question des rejets et des différents sous-produits des process résultant de la désalinisation, et identifierez des préconisations pour en éviter et réduire l'impact. Votre analyse pourra également pointer les innovations technologiques nécessaires à la réduction des impacts.

Vous évalueriez dans quelle mesure et sous quelles conditions la mise en place d'une usine de désalinisation peut faire partie d'un mix de solutions durables pour certains territoires (projet d'adaptation au changement climatique « sans regret »), et identifierez le cas échéant les territoires propices au déploiement de ces technologies, en prenant en compte les documents locaux de planification dans le domaine de l'eau (SAGE ou PTGE par exemple) et le contexte hydrologique.

La mission identifiera par ailleurs dans quelle mesure le déploiement de ce type de dispositifs peut être un appui dans la gestion de crise, notamment en mode temporaire ou intermittent (unités déployables, stations à large périmètre via interconnexion des réseaux...).

Votre analyse pourra faire un focus particulier sur les contextes ultramarins et insulaires.

Votre réflexion intégrera une analyse du modèle économique du dessalement (investissement mais aussi fonctionnement, impact sur le prix de l'eau pour les différents types d'usagers), et les cas et conditions de mise en œuvre et de gouvernance dans lesquels leur déploiement peut être raisonnablement envisagé. Une comparaison sera faite entre les coûts du dessalement et ceux d'autres ressources non conventionnelles pour des services de taille différente.

Votre analyse pourra utilement s'appuyer sur un parangonnage des retours d'expérience de l'existant en France (Saint-Martin, Saint Barthélemy, Mayotte, Iles de Sein et Groix...) et à l'étranger, notamment en Espagne ou plus généralement sur le territoire méditerranéen (Maroc, pays du golfe Persique). Vous déterminerez notamment si le recours au dessalement s'est effectivement traduit par une réduction de la consommation d'eau douce.

De manière transversale, vous analyserez dans un chapitre spécifique la pertinence et le potentiel de développement de petites unités de dessalement, en procédant à :

- un inventaire des petites installations pour des usages spécifiques comme le lavage des bateaux dans les ports en précisant les filières de traitement utilisées en lien avec la qualité de l'eau brute ;
- une évaluation de leur impact sur le milieu marin (en prenant en compte des milieux fermés comme les ports ou les petites baies) ;
- une analyse des besoins énergétiques, des coûts et des émissions de gaz à effet de serre associés en fonction de la technologie et de la source d'énergie utilisée : alimentation de la station par des panneaux photovoltaïques (préciser si cette solution est techniquement possible) ou connexion au réseau électrique, utilisation de la chaleur fatale d'origine industrielle ...
- une analyse du modèle économique (coût d'investissement, d'exploitation et de production d'un m³ d'eau dessalée et de traitement des rejets) ;
- un panorama des alternatives possibles en matière de fourniture d'eau qui vous sembleraient plus pertinentes sous certaines conditions que vous préciserez ;
- les modalités permettant d'insérer ce type de solution dans un panel d'ensemble incluant la sobriété des usages.

...

Vous conclurez sur l'intérêt et la pertinence écologique et économique de ce type d'installation pour un territoire pour un usage en substitution à l'eau distribuée par le réseau d'eau potable.

Vous pourrez compléter votre étude avec une revue des évolutions réglementaires à engager afin de favoriser le déploiement de cette solution dans les contextes que vous aurez préalablement jugés pertinents.

Vous pourrez également ouvrir sur les questions complémentaires sur la problématique, qui devraient faire, d'après vous, l'objet d'examens plus approfondis à l'issue de vos travaux.

Votre retour est attendu six mois après réception de la présente lettre de mission.

Elodie GALKO



Annexe 2. Les impacts environnementaux

Annexe 2.1. Effets de l'augmentation de la salinité sur les écosystèmes

Auteur Année & Pays	Espèces	Effet de l'augmentation de la salinité
Latorre 2005 Espagne	Posidonie	La croissance des herbiers marins en laboratoire était significativement plus faible lors d'une exposition à des salinités de 43 ppt (50 % inférieures) et 40 ppt (14 % inférieures) par rapport à des salinités témoins de 38 ppt.
Sanchez-Lizaso 2008 Espagne	Posidonie	Des expositions en laboratoire de quinze jours à diverses salinités ont montré des effets sublétaux significatifs de salinités supérieures de 1 à 2 ppt à la température ambiante sur la croissance et la survie des herbiers marins (voir également les résultats de surveillance et les expériences de terrain).
Chesher, 1971 USA (Floride)	Echinides ascidies et posidonies	Des organismes ont été exposés à des dilutions de saumure pendant 24 à 96 h. Les ascidies étaient les plus sensibles, avec une mortalité de 50 % après exposition à un effluent à 5,8 %. Les échinides ont montré une survie réduite après exposition à des dilutions à 8,5 %. La photosynthèse des herbiers marins a été inhibée après exposition à des saumures à 12 % pendant 24 h.
Dupavillon et Gillanders 2009 USA	Seiche	Embryons de seiche exposés jusqu'à l'éclosion à différentes salinités (avec un témoin à 39 ppm). La taille et le poids des nouveau-nés ont diminué à des salinités supérieures à 42 ppm. Moins d'individus ont survécu jusqu'à terme à 45 ppm, et les survivants ont présenté une production d'encre et une mobilité réduites. Aucun individu n'a survécu jusqu'à terme à des salinités supérieures à 50 ppm.
Mandelli 1975 USA (Texas)	Huitres	Des huîtres juvéniles et adultes ont été exposées pendant 60 jours à des saumures présentant des salinités de 45 à 55 ppt. La survie et la reproduction ont été affectées, les effets toxiques étant principalement attribués à la teneur en cuivre de la saumure. L'infection par des champignons pathogènes a également augmenté lors de l'exposition aux saumures.
Iso et al.1994	Poissons (dorade japonaise, pleuronectes) & palourdes	Des expositions en laboratoire à diverses salinités n'ont révélé aucun effet à des salinités inférieures à 50 ppt. Les jeunes Pagrus major exposés à des salinités de 70 ppt sont morts en moins d'une heure, avec une certaine mortalité à 50 ppt. Les larves de pleuronectes yokohamae sont mortes à des salinités de 55 ppt après environ 6 jours d'exposition. L'éclosion des œufs a été retardée à 60 ppt et complètement inhibée à 70 ppt. La mortalité des palourdes a été constatée à 60 ppt après 48 heures d'exposition. Les poissons semblaient éviter toutes les eaux testées dont la salinité était supérieure à la salinité témoin.

Annexe 2.2. Effets écologique et toxicologique des saumures sur les écosystèmes marins autour d'usines existantes

Référence de l'étude & localisation	Milieu/espèces	Effets écologiques et toxicologiques des saumures de dessalement sur les écosystèmes marins
Fernandez-Torquemada, et al. 2005 Alicante (Espagne)	Herbiers marins et épifaunes	Les échinodermes ont disparu du lieu d'impact après la mise en service de l'usine,
Chesher 1971 Key West, Florida	Plancton, échinides, ascidies et herbiers marins.	Diminution de l'abondance du plancton dans les eaux entourant le point de rejet, diminution de l'abondance de l'épifaune des substrats durs et des échinodermes dans les zones exposées. La majorité des effets ont été attribués à la teneur en cuivre de la saumure.
Gacia et al. 2007 Formentera (Espagne)	Posidonies	Augmentation de la nécrose foliaire, diminution des glucides dans les tissus des herbiers marins exposés aux saumures pendant plus de 6 ans.
Ruso, et al. 2008 Alicante (Espagne)	Endofaune sédimentaire	La surveillance des transects adjacents à un point de rejet et à 400 m au nord et au sud de ce point a révélé une diminution de l'abondance et de la diversité des assemblages de polychètes directement adjacents à l'exutoire. Les familles de polychètes présentaient des sensibilités variables, les Ampharetidae étant les plus sensibles et les Paraonidae les moins sensibles.
Sanchez-Lizaso et al 2008 Alicante (Espagne)	Posidonies	Les herbiers marins adjacents aux rejets végétaux connaissent une augmentation de la salinité ambiante de 1 à 2 ppt, ainsi qu'une augmentation des nutriments. Les herbiers exposés présentent des marques nécrotiques plus importantes et une abondance épifaunique plus faible
Latorre 2005 Espagne	Posidonies	Des simulations à petite échelle de rejets de saumure ont été réalisées dans des microcosmes et des parcelles expérimentales. Les détails de la méthodologie ne sont pas présentés. Une salinité de 50 ppt a entraîné une mortalité complète des herbiers en 15 jours. Une salinité de 45 ppt a entraîné une mortalité d'environ 50 %.
Sanchez-Lizaso 2008 Alicante (Espagne)	Posidonies	Des herbiers marins ont été exposés à des saumures sur le terrain pendant trois mois. L'exposition a augmenté la salinité naturelle de 37,7 ppt à 38,4-39,2 ppt dans les parcelles expérimentales. Les herbiers exposés ont connu une survie plus faible, et les plantes survivantes présentaient une abondance réduite de pousses et de feuilles

Annexe 3. Analyses prospectives des ressources et besoins en eau

Annexe 3.1. Explore 2

Le projet Explore2, piloté par l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) et l'Office international de l'eau (OIEau) a pour objectif d'actualiser les connaissances de l'impact du changement climatique sur l'hydrologie, et d'accompagner les acteurs des territoires dans la compréhension et l'utilisation de ces résultats pour adapter leurs stratégies de gestion de la ressource en eau.

Des résultats présentés selon 4 narratifs :

Une diversité de futurs possibles, impossible à résumer en une statistique : volonté de décrire les futurs selon 4 narratifs sous scénario d'émissions fortes (RCP 8.5) :

Violet : fort réchauffement et fort contraste saisonnier en précipitations

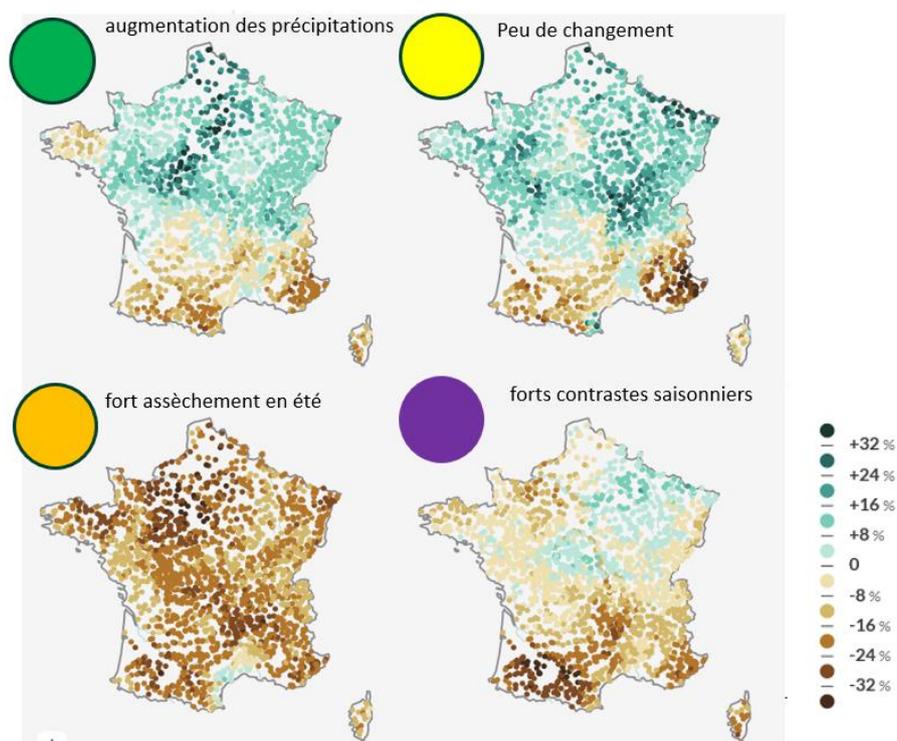
Vert : réchauffement marqué et augmentation des précipitations

Orange : fort réchauffement et fort assèchement en été

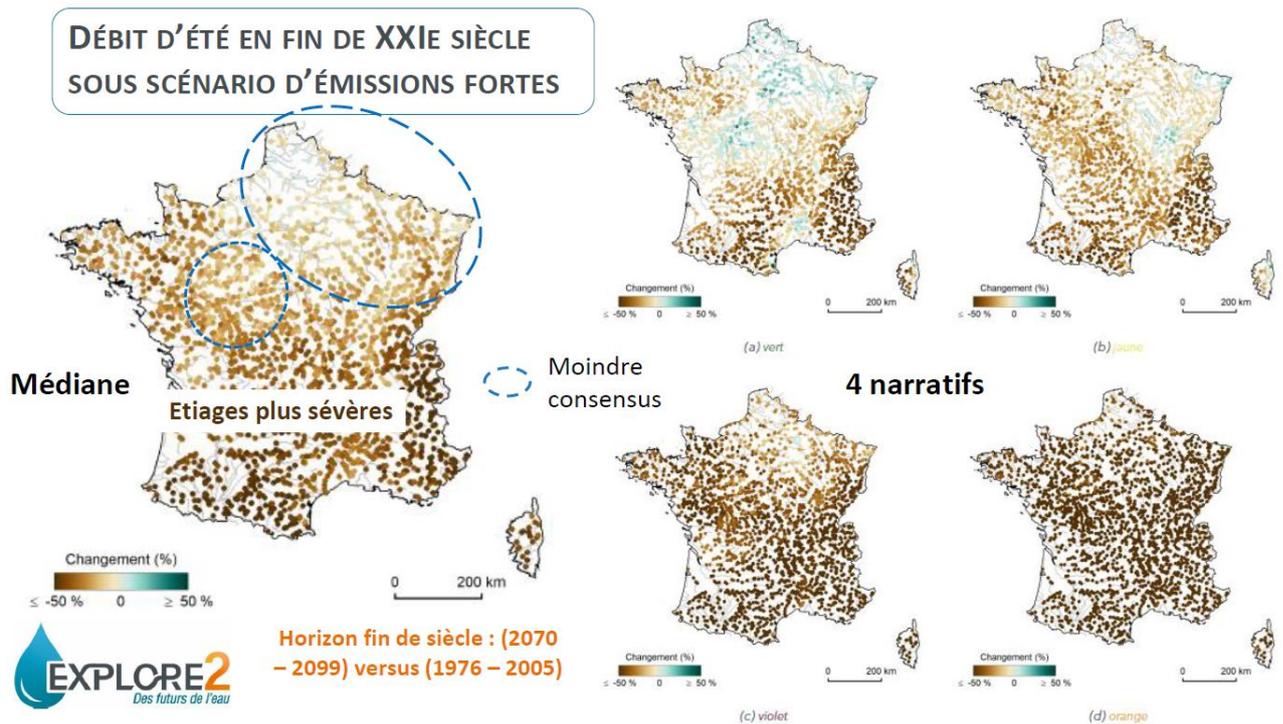
Jaune : changements futurs relativement peu marqués

Jaune		Vert		Orange		Violet	
Température		Température		Température		Température	
année	+ 3,7 °C	année	+ 4,8 °C	année	+ 4,6 °C	année	+ 5,0 °C
hiver	+ 3,2 °C	hiver	+ 3,8 °C	hiver	+ 3,7 °C	hiver	+ 4,2 °C
été	+ 4,2 °C	été	+ 6,1 °C	été	+ 6,4 °C	été	+ 6,5 °C
Précipitations		Précipitations		Précipitations		Précipitations	
année	+ 6 %	année	+ 6 %	année	- 9 %	année	- 8 %
hiver	+ 18 %	hiver	+ 26 %	hiver	+ 12 %	hiver	+ 26 %
été	- 10 %	été	- 13 %	été	- 40 %	été	- 45 %
Ressource en eau		Ressource en eau		Ressource en eau		Ressource en eau	
ETO	+ 28 %	ETO	+ 31 %	ETO	+ 43 %	ETO	+ 26 %

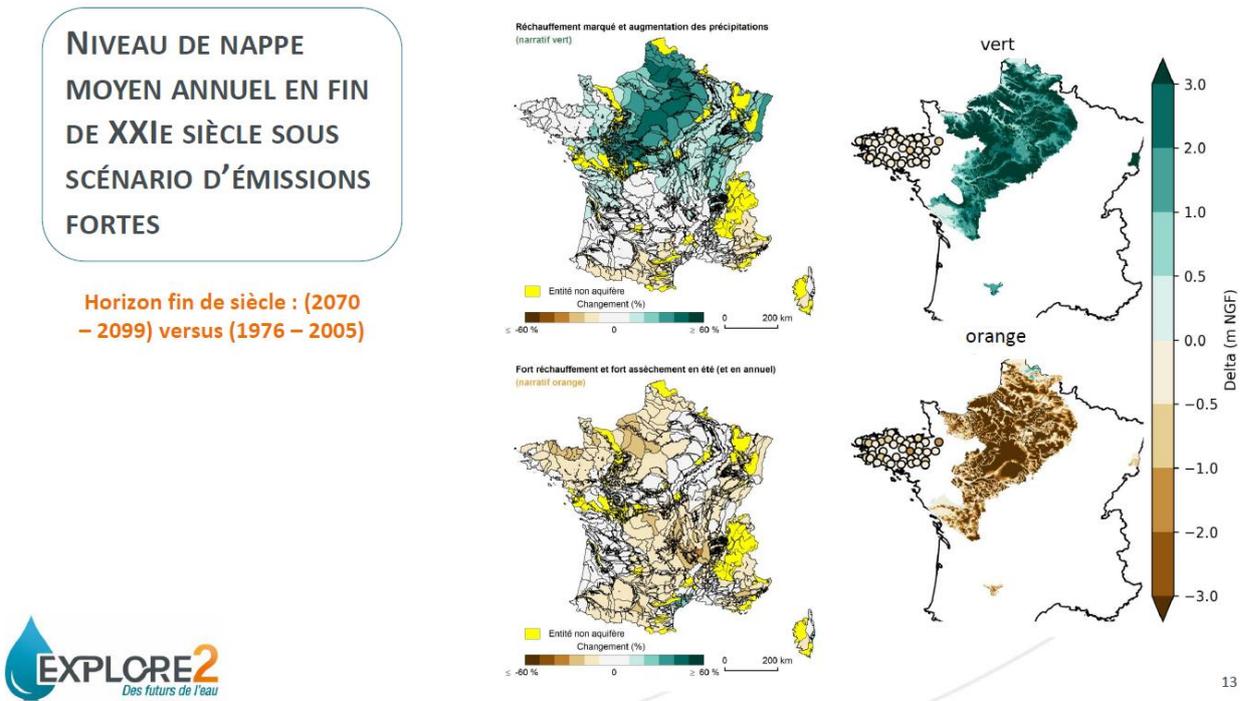
Débits annuels en fin de XXI siècle sous scénario d'émissions fortes



Débit d'été en fin de XXI siècle sous scénario d'émissions fortes



Niveau de nappe



Principales conclusions

PRINCIPAUX MESSAGES SOUS SCÉNARIO D'ÉMISSIONS FORTES

- **Débits annuels :**
 - évolutions avec d'importantes incertitudes (peu d'accord, sauf partie sud (Pyrénées et ses contreforts et Alpes du Sud))
- **Débits d'hiver :**
 - une majorité des projections qui s'accorde sur une hausse des débits en hiver
- **Débits d'été :**
 - une majorité des projections qui s'accorde sur une baisse des débits en été
- **Recharge potentielle des aquifères :**
 - augmentation en fin de siècle au nord de la France, stable sur le reste du pays
- **Niveaux de nappe :**
 - Bretagne : baisse des niveaux de nappe marquée en été en fin de siècle
 - Domaine AquifR : pas d'accord entre les projections en fin de siècle sur l'intégralité du domaine modélisé

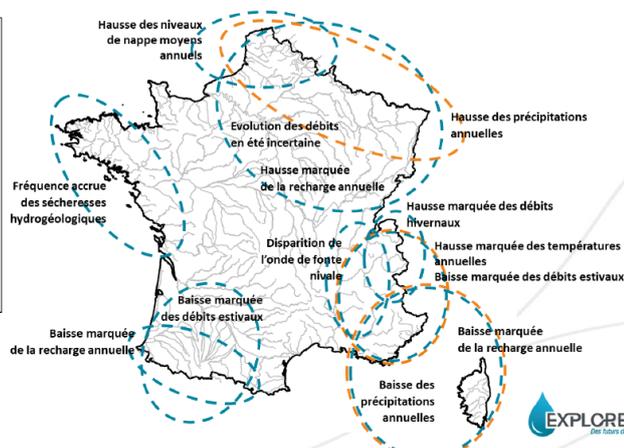
PRINCIPAUX MESSAGES SUR LES EXTRÊMES SOUS SCÉNARIO D'ÉMISSIONS FORTES

- Augmentation généralisée des pluies intenses journalières avec une bonne convergence des différents modèles sur le territoire en particulier dans la moitié nord
- Les scénarios sur les crues sont peu robustes et soumis à des fortes incertitudes
- Peu d'évolution des sécheresses météorologiques
- Augmentation des sécheresses du sol (agronomiques), en termes de surface touchée et d'intensité
- Augmentation de la sévérité des sécheresses hydrologiques avec un maximum de convergence entre les modèles pour le sud de la France. La moitié sud de la France verra le phénomène d'intermittence des cours d'eau s'amplifier dans la partie amont des bassins

DES « HOT-SPOTS » EN FIN DE XXIÈ SÈCLE SOUS SCÉNARIO D'ÉMISSIONS FORTES

L'absence d'indication sur les autres régions ne signifie pas l'absence de changement. Les secteurs en pointillés sont les zones particulièrement sensibles au changement climatique. Cette carte s'appuie sur l'ensemble des projections obtenues sous le scénario de fortes émissions

HOT SPOTS & PARTICULARITÉS RÉGIONALES SOUS SCÉNARIO DE FORTES ÉMISSIONS EN FIN DE SIÈCLE POUR
- - - : le climat
- - - : l'hydrologie
Se reporter aux chiffres « France hexagonale » pour les régions non identifiées



Annexe 3.2. La demande en eau - Prospective territorialisée à l'horizon 2050 - France Stratégie⁵⁴

Présentation

Cette prospective présente l'évolution dans les territoires de la demande en eau selon trois scénarios prospectifs d'usage : « tendanciel » qui prolonge les tendances passées, « politiques publiques » qui simule la mise en place des politiques publiques récemment annoncées, et « de rupture », qui se caractérise par un usage sobre de l'eau liées à de nouvelles politiques publiques.

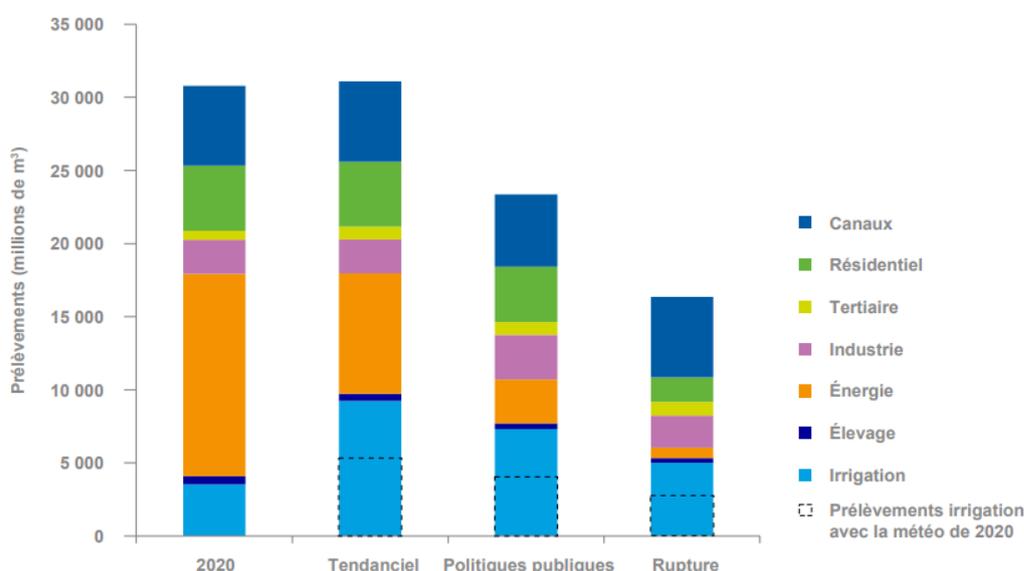
Pour chaque scénario d'usage, la demande en eau d'irrigation agricole est estimée selon deux projections climatiques et pour deux conditions météorologiques, pour un printemps-été sec et pour un printemps-été humide.

Le scénario climatique utilisé est le scénario « RCP 8.5 » du GIEC, le plus pessimiste pour le GIEC et qui diffère des projections de la TRACC (par rapport au RCP 8.5, et à échéance de 2050, les projections de la TRACC, à ce jour, sont légèrement inférieures pour les températures, supérieures pour le cumul des précipitations hivernales, inférieures pour l'assèchement en été et semblables pour les précipitations extrêmes⁵⁵).

Résultats

Entre 2020 et 2050, pour un printemps-été sec, les prélèvements annuels à l'échelle nationale stagnent dans le scénario « tendanciel » (+ 1 %). Ils diminuent dans les scénarios « politiques publiques » (- 24 %) et dans les scénarios de « rupture » (- 47 %), notamment du fait de la baisse de la demande pour la production énergétique dans la vallée du Rhône.

La demande pour l'irrigation augmente fortement et devient majoritaire dans tous les scénarios principalement en raison de l'évapotranspiration des plantes (première cause de l'augmentation des besoins en eau) et du stockage d'eau dans les produits agricoles (fruits, légumes, céréales...). Aussi les consommations pour l'irrigation augmentent substantiellement dans les scénarios tendanciel (+ 102 %) et politiques publiques (+ 72 %). Seul le scénario de rupture permet de contenir l'augmentation des consommations (+ 10 % par rapport à 2020).

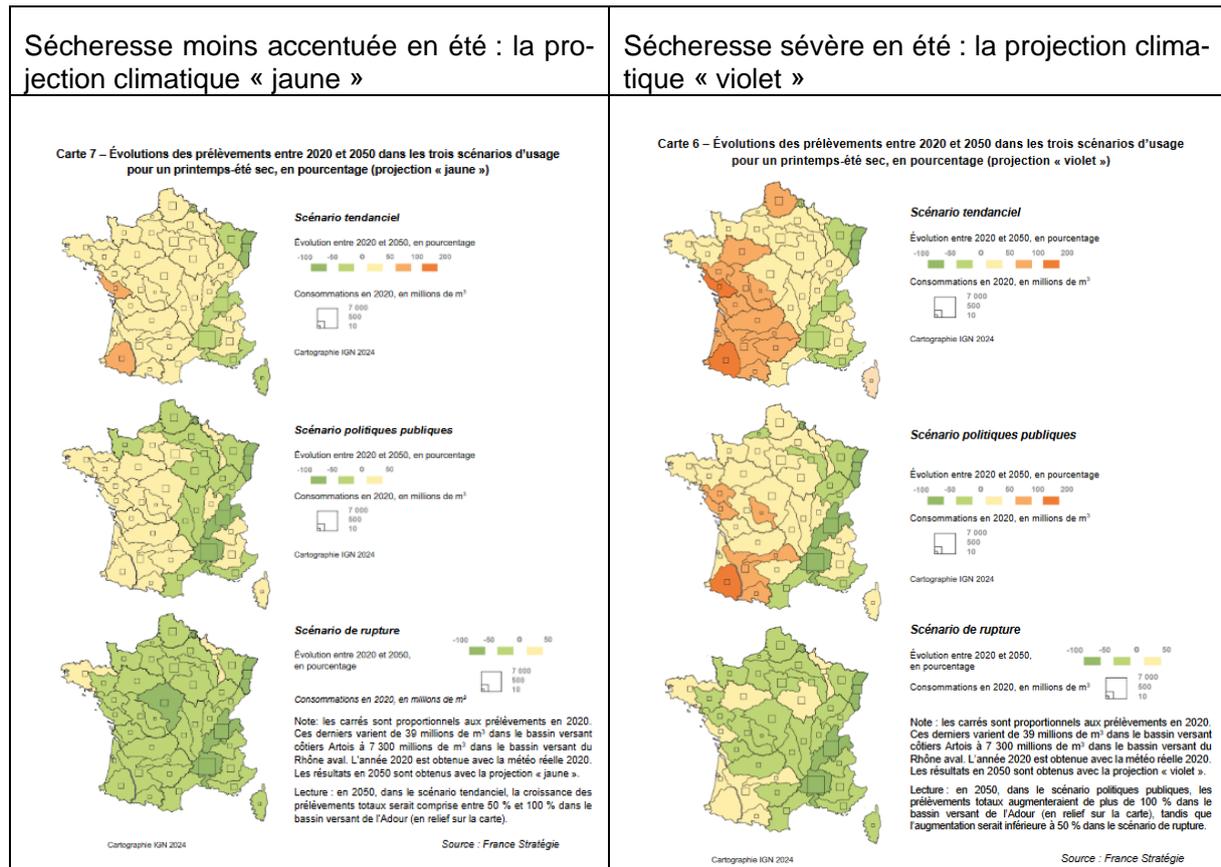


Prélèvements totaux annuels en 2020 et 2050 dans les 3 scénarios d'usage pour un printemps-été sec (en millions de m³)

⁵⁴ <https://www.strategie.gouv.fr/publications/demande-eau-prospective-territorialisee-lhorizon-2050>

⁵⁵ Projections climatiques en France métropolitaine : quel jeu de données utiliser dans les analyses de risques climatiques ? – Carbone 4 – Avril 2024

Cartographie de l'évolution des prélèvements entre 2020 et 2050 :



Ces évolutions sont détaillées selon 40 bassins versants dans le rapport et la note d'analyse.

Annexe 4. Le dessalement à Mayotte

USINE de Mayotte (976) à Petite Terre, et projet d'usine à Ironi Bé

Date visite :

- 3 mars 2025 pour Petite Terre,
- le 4 mars 2025 pour le site d'Ironi Bé.

Mayotte est un département composé de deux îles principales, Grande Terre et Petite Terre. L'ensemble est entouré par une barrière de corail, interrompue à quelques endroits par des passes, formant un grand lagon intérieur.

C'est un territoire doté de quelques ressources naturelles en eau douce (petits cours d'eau, nappes souterraines), mais dont les volumes disponibles sont peu connus. Le climat mahorais est marqué par une saison des pluies, susceptible de recharger les nappes et les retenues collinaires, et une saison sèche, pendant laquelle les six usines de potabilisation tirent sur les stocks réalisés jusqu'à la prochaine saison des pluies.

Mayotte connaît un déficit structurel entre offre et demande depuis 10 ans, et est en crise depuis plus de trois ans. En outre, l'accroissement de la population et de la consommation par habitant conduit à un besoin supplémentaire chaque année. Il y a eu une première grave crise de l'eau en 2017, qui a donné lieu à l'extension « en urgence »⁵⁶ de l'usine de dessalement de Petite Terre. Il y a un retard d'environ dix ans dans les investissements qui auraient été nécessaires pour assurer aux habitants de l'eau potable tous les jours en quantité suffisante

Début 2023, la saison des pluies a été quasi-inexistante, générant à nouveau une situation de sécheresse sévère. Mi-avril 2023, le Gouvernement a mobilisé l'ensemble des capacités de désalinisation des moyens nationaux terrestres de la sécurité civile, soit neuf osmoseurs pouvant fournir au total 50 mètres cubes d'eau douce par jour, sur une durée de deux mois. La logistique d'importation d'eau en bouteille par les acteurs économiques, depuis La Réunion et l'île Maurice, a été assurée grâce à un arrêté d'importation temporaire par le préfet pour un coût d'environ 100 M€ sur 7 mois.

Aujourd'hui Mayotte connaît des « tours d'eau ». Les habitants ont de l'eau potable un jour sur trois.

Usine de dessalement de Petite Terre.

Elle a été mise en service en 1997 et agrandie en 2017. Sa production initiale à la mise en service était de 1 600 m³/ jour, aujourd'hui, avec l'extension, elle est d'un peu moins de 4 500 m³/j.

Cette usine présente plusieurs caractéristiques.

Elle a été mise en service sans autorisation et régularisée plusieurs années ensuite. Mais cet arrêté n'est ni connu ni *a fortiori* appliqué par l'exploitant, sur des points majeurs comme l'obligation de mettre en place un diffuseur des saumures, pour réduire la pollution au point de rejet.

Les points de prélèvements et de rejet sont très proches, le prélèvement soutire une eau à forte turbidité. Le prélèvement de la première usine fonctionne mal à marée basse (situé trop haut).

Le rejet est canalisé, mais il fuit sur la plage, directement dans une mangrove

Le rejet n'a pas de diffuseur → suppression de toute flore marine dans un rayon de 40 m autour du point de rejet.

L'usine est exploitée par le groupe Vinci dont c'est la seule usine de dessalement. La compétence paraît très faible, preuve en est que l'agrandissement de l'usine n'a été opérationnel que quatre ans après les travaux. La turbidité de l'eau mal prétraitée a conduit à changer les membranes tous

⁵⁶ Notamment sans dossier de demande d'autorisation et donc sans autorisation

les 2 ans (au lieu de 5 à 7 ans pour les autres usines) et a nécessité la mise en place d'une installation de prétraitement non prévue au départ.

Pour finir, la falaise sur laquelle est construite l'usine s'écroule progressivement et recule. Il reste moins de dix mètres avant que les murs de l'usine soient à la verticale de la falaise. Les études estiment que d'ici 5 ans le bord de la falaise aura atteint le bord de l'usine.

Des réflexions sont en cours pour construire une autre usine sur un endroit plus protégé, et pour consolider la falaise (coût minimum : 30M€ selon une estimation de Vinci lors de la visite des locaux par la mission en mars 2025).

Projet d'usine a Ironi Bé

Les premiers travaux d'étude sur un projet de nouvelle usine de dessalement sur Grande Terre ont été initiés en 2011. Le projet s'est affirmé à la suite de la crise de l'eau en 2017.

C'est le site d'Ironi Bé qui a été choisi. Le projet a été travaillé sur le plan technique par la DEALM, service maîtrise d'œuvre.

Le choix du site a fait l'objet de nombreuses et longues investigations, avec des analyses multicritères. Ce choix a été guidé par deux considérations : disponibilité du foncier (zone appartenant au conservatoire du littoral⁵⁷) et proximité immédiate du réseau de transport d'eau

Ce site d'Ironi Bé est dans la partie de l'île où le lagon est le plus large, sans passe vers l'océan, et sur une zone arrière mangrove.

La procédure d'urgence civile a été décidée par le préfet pour cette usine (arrêté du 14 décembre 2023), la dispensant d'enquête publique, d'étude d'impact et d'avis de l'autorité environnementale (art. L122-3 et L181-23 du code de l'environnement). Dans les faits une étude d'impact très détaillée a tout de même été effectuée, qui a été instruite par la DEALM. Pour construire le projet et instruire le dossier, il a fallu s'entourer de compétences externes, dans la mesure où la compétence initiale des services instructeurs n'existait pas s'agissant d'usines de dessalement.

Suite à la consultation des services, plusieurs avis sont défavorables ou très réservés :

- Le CNPN a donné un avis défavorable. Cela a nécessité un avis conforme de Mme la ministre.
- L'avis du parc marin est réservé. Il a formulé 19 prescriptions et quatre recommandations.
- Le conservatoire du littoral a également rendu un avis réservé.

La lecture de ces trois avis est riche d'enseignements sur ce qu'il est intéressant de reproduire et surtout d'éviter si on veut installer une usine de dessalement ailleurs en France.

L'arrête d'autorisation des travaux terrestres a été signé par le préfet le 3 juillet 2025. Il est intéressant de noter que cet arrêté prévoit sept mesures de compensation portant sur les déchets, l'assainissement non collectif, et la mangrove. Ce sont d'ailleurs davantage des mesures d'accompagnement que des mesures de compensation.

Par ailleurs, une estimation des besoins futurs en eau réalisée par le LEMA montre que cette usine ne suffira pas à elle seule. En effet, il existe déjà un déficit de l'ordre de 10.000 m³ / an et l'augmentation annuelle des besoins en eau est estimée à 2.000 m³ / an

Les installations de dessalement de Mayotte sont présentées dans la fiche ci-après.

⁵⁷ Zone en principe inconstructible

Localisation (commune)	Mayotte Petite Terre Commune de Dzaoudzi-Labattoir (97610)		Mayotte Projet Ironi Be
Nom usine Capacité initiale	Plage Petit Moya 2 300 m³/j	Extension via des con- tainers (3x1000 m³/j)	Ironi Be 10 000 m³/j
Date construction initiale	1997	2017, livrée en 2018	livraison prévue début 2027
Date autorisation Préfecturale	21/11/2016	02/03/2020	
Société Conceptrice	Vinci	Fluence + Vinci	Fluence + STEREAU (filiale SAUR)
Coût de construction (en M€)		4,1	Près de 100 M€
Opérateur actuel	SMAE (Vinci)	SMAE (Vinci)	STEREAU (PPP max 3 ans du LEMA)
Nom du syndicat des eaux	LEMA	LEMA	LEMA
Technologies utilisées pour le dessalement	Osmose inverse	Osmose inverse	Osmose inverse
Mode d'énergie utilisée (élec- tricité, vapeur, ...)	Electricité	Electricité	Electricité
Capacité maximale en m³ eau douce/jour	2 500 (suite à change- ment de membranes et de dispositif de captage)	prévue initialement pour 5 300	10 000 (extensible à 17 000)
Capacité moyenne en m³ eau douce produits/jour		2 400 m³/j	
volume prélevé moyen en m³	Taux de conversion moyen : 38 %	Taux de conversion moyen : 42 % (50% théorique)	Taux de conversion moyen : 44 %
Type de membrane si OI	Standard (Hydranautics/ LG)	Standard (Hydranau- tics/ LG)	
Effectifs en équivalent plein temps	9 personnes		
Surface utilisée pour l'usine			1 hectare
Distance point de captage- usine en mètres	<600 m	<500 m	700 m (2 tuyaux en parallèle)
Distance point de rejet-usine en mètres	<1000 m	<1000 m	1000 m (1 tuyau)
Ecart point de captage /point de rejet	>500 m	< 250 m (faible profondeur)	sur la même ligne ; écart de 300 m en ligne droite
Bilan 2024 de l'usine			Prévision perf. Annuelle
Production effective d'eau potable en m³ en 2024	801 200 (soit 2195 m3/j)	601 300 (soit 1647 m3/j)	Prévision : 85 % de la capacité théorique
Consommation électrique to- tale en MWh en 2024	5 346, inclut le refoule- ment de l'eau produite	2 577	Prévision : 13 175 avec une hypothèse de fcnt moyen de l'usine de 85 % sur l'année
ratio kWh/m³ (calcul)	6,67	4,29	4,20
Apport éventuel d'ENR	0	0	Prévision de panneaux photo- voltaïques pour satisfaire 5 % des besoins énergétiques de l'usine (après mise en service)
Produits chimiques utilisés	Antiscalant, SMBS (à l'arrêt), Chlorure de calcium, Bicarbonate de soude, chlore	Chlorure ferrique (à l'arrêt), antiscalant, SMBS, Chlorure de calcium, Bicarbonate de soude, chlore	Floculants avec acrylamide (toxique), antitartres, etc.

Autres considérations sur Ironi Bé

Points positifs :

- L'usine a été confiée par appel d'offres à une société qui a plusieurs références en matière de dessalement d'eau de mer.
- La capacité de production est extensible.
- Il est prévu un monitoring très fin des impacts environnementaux, avec des résultats publics : grande avancée car on a vu qu'ailleurs dans le monde ce n'était pas le cas. Le public est associé au travers d'un comité ad hoc ce qui est aussi une excellente chose.

Points à améliorer :

- Le site choisi ne garantit pas une protection totale du lagon, puisque les saumures y sont rejetées directement. Les éléments de courantologie sont déterminants. Les deux critères de choix du site ne sont pas des critères environnementaux. La taille très modeste de l'usine permet de penser que l'impact sur le lagon sera elle-même modeste. Il est indispensable de le mesurer dans le temps et de prendre des mesures en cas d'impact trop important. Pour les prochaines usines, s'il y en a, le processus de détermination du choix du site sera à clarifier, ainsi que les critères à prendre en compte.
- Malgré la mise en service de l'usine, la production d'eau potable sur l'île sera insuffisante, et même si la capacité du site est directement passée à son niveau maximal.
- Vérifier si un système équivalent au système Barrel de VEOLIA-SIDEM est utilisable, pour gagner en compacité, en sécurité d'exploitation et en capacité de traitement. L'idéal serait de viser une capacité de production extensible à 50 000 m³/jour, pour tenir compte des besoins liés à l'évolution démographique.

Plus généralement :

- Le coût actuel de l'usine d'Ironi Bé, proche de 100 M€ (hors foncier, qui est gratuit ici puisque le terrain appartient à l'État) paraît très élevé. Avec 9 000€/m³ produit, il dépasse toutes les fourchettes obtenues auprès d'experts. En effet, cette fourchette varie entre 1000 et 3 000 € par m³ produit, la fourchette haute tenant compte des contraintes d'approvisionnement des matériaux dans une île (source : Véolia Sidem, qui a déjà l'expérience des territoires d'outremer et calculs mission). La situation de Mayotte (peu de concurrence locale sur le BTP, difficulté à recruter et à loger les employés, nécessité de sécuriser fortement le site pendant les travaux, coût de l'octroi de mer) ne paraît pas pouvoir expliquer la totalité de l'écart avec la fourchette haute.
- Il serait utile de résoudre les problèmes de qualité du réseau d'eau fuyard et fonctionnant par intermittence. Lors d'une coupure d'eau, à la remise en eau du circuit, l'eau n'est pas potable pendant un certain temps, selon les recommandations de l'ARS⁵⁸. À Mayotte, en 2025, les tours d'eau représentent une coupure d'eau d'un jour tous les trois jours. Vu qu'il faut douze heures, après remise en service du réseau, pour que l'eau délivrée soit potable, cela fait une disponibilité en eau potable de 36 heures toutes les 72 heures. Par ailleurs, des canalisations en mauvais état peuvent dégrader la qualité de l'eau, surtout dans les zones à climat chaud, ou quand l'eau stagne trop longtemps dans une partie du réseau.
- Il est important de prévoir des capacités de stockage importantes en aval de l'usine
- Le réseau de transport et de distribution d'eau doit être davantage maillé, comme il peut l'être dans d'autres îles d'Outre-mer.

En conclusion, la mise en service de cette usine est urgente compte-tenu des besoins de la population. Le retour d'expérience sera très précieux si d'autres projets doivent voir le jour en France. Il renforce la nécessité de se doter en France d'une forte compétence dessalement.

⁵⁸ « Après une coupure nocturne, un délai de 6h est nécessaire pour retrouver une eau de qualité suffisante au robinet. Après une coupure de 24h, il faut respecter un délai de 12 heures après le retour de l'eau au robinet. Si vous souhaitez consommer l'eau (pour la boire ou se laver les dents) avant ce délai, il faut la faire bouillir ». FAQ ARS Mayotte

Annexe 5. Usines dans les Antilles

Annexe 5.1. L'usine de Saint Barthélemy

Date visite : 6 février 2025

L'île de Saint Barthélemy est une île « sèche », c'est-à-dire sans ressource naturelle exploitable pour satisfaire les besoins de la population. La population est évaluée à 11 000 habitants permanents (9427 selon l'Insee en 2014) ; au plus fort de la saison touristique, elle peut atteindre 18 000 personnes (source : collectivité de St Barth). Certains hôtels ou résidences disposent de leur propre système de production d'eau potable (issue de citernes recueillant l'eau de pluie ou issue d'eau de mer retraitée par un osmoseur) ; il n'y a pas de données recensant ces systèmes privés. Cependant, le croisement de fichiers d'urbanisme et de facturation d'eau a permis de détecter des résidences ou hôtels privés, qui sans être abonnés au service public de l'eau, rejetaient leurs saumures dans le réseau public d'assainissement, sans en payer par conséquent le traitement. Une facturation spécifique leur a donc été appliquée.

La fiche sous forme de tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques de cette usine, composée de plusieurs unités de traitement de dessalement l'eau de mer, qui correspondent à l'évolution de cette usine depuis sa création, et à la présence d'une usine d'incinération capable de fournir de la vapeur à très bas coût.

Caractéristiques usine :

Localisation (commune)	St Barthélemy (97123)	Remarques
Nom usine	Commune de Public	
Date construction initiale	1973 à fin 2024 (plusieurs unités : distillation : 250m ³ /j puis 1200 m ³ /j; rajout unités d'osmose inverse depuis 2006)	
Date autorisation ARS et Contrôles qualité (fréquences)	Pas d'autorisation ARS ARS : contrôle mensuel (eau brute, eau en sortie d'usine) Autocontrôles : en continu : pH (acidité), TAC (mesure de la teneur en sels minéraux), conductivité (salinité) ; Mensuel : bactéries, composition physicochimique ;	Contrôle sanitaire ARS renforcé sur les bromates (les bromates apparaissent parfois dans certaines parties du réseau de distribution si l'eau circule insuffisamment et par fortes températures ; cela nécessite parfois un dosage ad hoc des produits permettant de désinfecter l'eau)
Date autorisation environnementale	Pas d'autorisation environnementale	Pas de suivi des rejets, ni de la qualité des milieux
Société Conceptrice	SIDEM (VEOLIA)	
Coût de construction (en million € HT) hors foncier	Coût initial non connu. Plusieurs étapes (construction puis extensions)	La valeur théorique 2025 de reconstruction (bâtiment + équipements) serait d'environ 2000 € par m ³ produit, soit 2000*8000= 16 M€
Financeurs	Collectivité de Saint Barthélemy	
Opérateur actuel	SIDEM (via une DSP)	L'opérateur ne produit que l'eau dessalée. La distribution de cette eau est assurée par une autre société, la SAUR, qui a une DSP confiée par la collectivité.
Nom du syndicat des eaux	Collectivité	
Technologies utilisées actuellement pour le dessalement	2 lignes de production : une par osmose inverse et une seconde par distillation (procédé MED)	
Mode d'énergie utilisée (électricité, vapeur, ...)	Electricité, et vapeur pour distillation	

Capacité maximale théorique en m3 produits par jour	8000	A St Barth, il y a notamment un système d'osmose inverse dit BARREL (8 M€ pour 4700 m3/j capacité max).
Production moyenne en m3 produits/jour	4800	Le rendement effectif maximal est en général de 85% de la capacité théorique (car maintenances, adaptation par rapport à d'éventuelles variations de la demande, par exemple, en saison touristique)
Type de membrane si OI	Hydraunautics	
Effectifs employés sur place en équivalent plein temps	7	
Surface utilisée pour l'usine		Surface très contrainte. Pas d'accès physique sécurisé aux locaux de l'usine.
Distance point de captage-usine en mètres	1 caisson immergé entre l'entrée de la rade de Gustavia et le port de commerce à 4m de profondeur	
Distance point de rejet-usine en mètres	Environ 50 m	
Ecart point de captage/point de rejet	250 m	
Capacité de stockage d'eau douce produite avant envoi dans circuit de distribution	environ 1/2 j de consommation à la pointe, soit 2800 m3	En général, les grosses usines stockent 1 j de conso avant envoi dans le circuit de distribution (souvent géré par un tiers)
Bilan 2024 de l'usine		
Production eau potable en m3 en 2024	1 228 075	Sur 365 jours, on arrive à une moyenne de 3365 m3/j
Consommation électrique totale en MWh en 2024	4915	Les qtés d'énergies électriques pour l'OI sont telles qu'il n'est pas possible de sécuriser l'usine par de simples groupes électrogènes ; il est utile d'être à proximité d'une centrale EDF ; souvent l'usine de dessalement est le plus gros client EDF d'un île ; enjeu : mieux utiliser les heures creuses (de nuit) ;
kWh/m3 produit	4	dont 1,5 kWh pour faire monter l'eau produite au réservoir situé à 150 m d'altitude.
Apport éventuel d'ENR	Non	
Le cas échéant : Consommation vapeur en volume (préciser l'unité) en 2024	31 570 tonnes	la tonne de vapeur à St Barth, issue de l'usine d'incinération proche, est achetée 10€/tonne ; l'unité consomme 4t de vapeur/heure
Produits chimiques utilisés	Pré-traitement : HYDREX ; sable hydro anthracite ; reminéralisation avec chlorure de sodium et bicarbonate de calcium	Pour stériliser les réseaux publics d'eau potables, 3 solutions : eau de javel, bioxyde de chlore (peut abimer les tuyaux en PEHD surtout si climat chaud), le chlore gazeux (manipulation délicate)
Durée de vie moyenne des membranes (en années)	7	
Etude d'impact des rejets	Aucune	
Coût d'achat des produits chimiques en 2024	200 000 €	
Frais de personnel 2024	430 000 €	

Coût de revient/m3 (sortie usine) eau potable produite en 2024	3,19 €/m3	Le prix tient compte du besoin de surstockage de pièces détachées et de consommables du fait de l'insularité
Prix vente m3 eau potable produite en 2024	3,40 €/m3	Prix de vente sortie usine (la concession Veolia-SIDEM ne portant que sur la production d'eau dessalée).
Salinité moyenne mer en entrée	35 g/l	
Salinité saumure en sortie	60 g/l	
CAPEX annuel (moyenne sur 10 ans ; hors foncier ; hors coût initial usine)	300 000 €	Pour St Barth, 300 K€ de maintien du stock de pièces de rechange ;
OPEX annuel en 2024 (hors frais de personnel)	2 550 000 €	

Points positifs :

- Le fonctionnement a paru à la mission très optimisé et efficace, avec une production suffisante, ce que recoupe l'absence restrictions dans la distribution d'eau potable (il n'y a pas de « tours d'eau », c'est-à-dire de coupure de la distribution d'eau pour répartir une pénurie de ressource). L'arrivée fin 2024 d'un nouvel osmoseur, le « Barrel », a permis d'augmenter la sécurité du personnel technique et la capacité de traitement sans nécessiter l'acquisition de surface supplémentaire.
- Malgré l'ancienneté de la structure, sa conception lui a permis de résister sans trop de difficulté au cyclone IRMA en septembre 2017 : l'île a subi une coupure d'approvisionnement en eau potable de seulement 11 jours.
- Une baisse de production à l'été 2018 a été constatée suite à une mauvaise qualité de l'eau potable au robinet des consommateurs, polluée dans les canalisations du réseau de distribution par un excès de bromates. L'eau en sortie d'usine était correcte, mais celle distribuée au robinet du consommateur a été considérée comme non potable par l'ARS. Depuis, dans les canalisations, la formule chimique du désinfectant (à base de chlore) a été modifiée (dioxyde de chlore, mis par le gestionnaire du réseau de distribution : la SAUR).

Points à améliorer :

- Régulariser la situation de l'usine en termes d'autorisation sanitaire et environnementale.
- Il n'y a pas été constaté de contrôle d'accès physique à l'enceinte de l'usine. L'usine ne semble donc pas à l'abri d'intrusions non désirées. Les locaux du personnel sont très exigu. Il n'y pas de salle dédiée aux réunions.
- Le stockage d'eau potable au sein de l'usine est inférieur à une journée de consommation (source : l'opérateur, la SIDEM). Cela semble insuffisant en cas d'interruption de la production de l'usine. Cela a été confirmé lors d'une visite des locaux du distributeur, la SAUR, qui gère le réservoir recevant la production de l'usine (réservoir sur la colline dite du Colombier).

Annexe 5.2. L'usine de Saint Martin

Date visite : 4 février 2025

L'île de Saint Martin est une île « sèche », c'est-à-dire sans ressource naturelle exploitable pour satisfaire les besoins de la population. La population est évaluée à 32 000 habitants permanents (selon l'Insee 2023) ; en saison touristique, elle est supérieure, mais les données précises n'ont pu être obtenues. Certains hôtels ou résidences disposent de leur propre système de production d'eau potable (issue de citernes recueillant l'eau de pluie ou issue d'eau de mer retraitée par un osmo-seur) ; il n'y a pas recensement de ces systèmes privés.

La fiche sous forme de tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques de cette usine.

Localisation (commune, pays)	St Martin Galisbay	St Martin Projet extension	Remarques communes
Nom usine	Galisbay1	Galisbay2	Baie de Potence, près du port de commerce, et de la centrale thermique EDF
Date construction initiale	1966 à 2006 (distillation ; 500 m ³ /j ; modernisée en 1984) ; osmose inverse depuis 2006	prévisions : attribution AO en juin 2025 ; livraison en mi 2028	Projet de modernisation complète en cours d'instruction
Date autorisation ARS et Contrôles qualité (fréquences)	Dossier initié en 2010.		Début 2011, demande à titre de régularisation d'une autorisation sanitaire : le syndicat des eaux de St Martin transmet un dossier à l'ARS locale, qui le fait suivre à la DGS, qui le transmet à l'ANSES. L'ANSES rejette le dossier en mai 2011 car très incomplet (non respect des lignes directrices ; ex : absence d'avis d'un hydrologue agréé, pas d'étude de courantologie, imprécisions sur les responsabilités entre les parties, ...). En 2013, tentative de régularisation du dossier par un sous-traitant du syndicat des eaux de SM. L'ARS indique en mai 2014 que le dossier complété devra être déposé à la Préfecture de Saint-Martin, pour faire l'objet d'un projet d'arrêté préfectoral et passera en COTERST. Ce n'est qu'à la suite de ces étapes que le dossier sera transmis à l'ANSES. Depuis, la préfecture a décidé de ne pas régulariser l'usine actuelle mais d'attendre le dossier complet avec la future usine.
Date autorisation environnementale	L'usine fonctionne sans autorisation environnementale.		
Société Conceptrice		SUEZ consulting	
Coût de construction (en Million €)	Travaux de modernisation en attendant la future usine : 1,3 M€	Coût prévisionnel (en mars 2025) : 23 (voire 35 ?) M€	

Financeurs	Collectivité de Saint Martin	Collectivité territoriale, FEDER, OFB, BdT, AFD, EEASM	
Opérateur actuel	SAUR (production et distribution)	à sélectionner	
Nom du syndicat des eaux	EEASM	EEASM	
Technologies utilisées actuellement pour le dessalement	Osmose Inverse	Osmose Inverse	
Mode d'énergie utilisée (électricité, vapeur, ...)	Electricité	Electricité	
Capacité maximale théorique en m3 produits par jour	9000	13500 à 18000	
Production moyenne en m3 produits/jour	5500	11475	Le rendement effectif est en général de 85% de la capacité maximale (car maintenances, adaptation par rapport à d'éventuelles variations de la demande, par exemple, en saison touristique)
volume prélevé de mer moyen en m3	14900	23000	
Volume rejeté moyen en m3	9370		
Type de membrane si OI	LG Nano		
Effectifs employés sur place en équivalent plein temps	7		
Surface utilisée pour l'usine		terrain attenant à l'usine actuelle	
Distance point de captage-usine en mètres	A ce jour : 2 prises d'eau brute en service, signalées chacune par une bouée, à env 30 m de la côte, à une profondeur de -2,5m, écartées chacune d'une quinzaine de m.		En janvier 2014, rapport d'un hydrologue agréé ; la prise d'eau se fait à partir de 4 canalisations (2 tubes par prise) en PEHD, à une trentaine de mètres du littoral, qui se terminent en mer par des cheminées verticales avec une grille de prise d'entrefer environ 25 cm de haut, disposées à 2,5 m du fond. Risques environnementaux élevés pour la qualité de l'eau brute (sites de nature industrielle à proximité, de même qu'un déversement ponctuel d'étang avec des eaux de mauvaise qualité). En cas de pollution plus importante que la normale, EEASM indique que l'usine de dessalement est stoppée automatiquement le temps nécessaire.
Distance point de rejet-usine en mètres	Environ 10m (sur la digue donnant sur la plage, en sortie d'usine)		
Ecart point de captage / point de rejet	Environ 40 m		
Capacité de stockage d'eau douce produite avant envoi dans circuit de distribution	capacité de stockage estimée en 2014 à 1,5 j de production		

Produits chimiques utilisés	pré-traitement (sable hydro anthracite) ; chlore liquide (stérilisation des réservoirs), sable calcaire (carbonate de calcium ; reminéralisation) ; hydroxyde de sodium (soude caustique désinfecter et pour corriger le Ph) ; acide citrique, NaOH, EDTA, acide sulfurique à 96% (H2SO4) ; pour nettoyer le réseau de canalisation (hors usine): bioxyde de chlore (mais capacité explosive de son stockage) ;	NaOCl, FeCl3 (coagulant minéral), hypochlorite de sodium (CEB) ; acide sulfurique (H2SO4), séquestrant, bisulfite de sodium HNaSO3 (pour réduire le chlore) ;	Pour stériliser les réseaux publics d'eau potables, 3 solutions : eau de javel, bioxyde de chlore (abime les tuyaux en PEHD surtout si climat chaud), le chlore gazeux (compliqué à manipuler)
kWh/m3 produit	3,6		Cf. rapport CdC 2023 page 23
Durée de vie moyenne des membranes (en années)	5 à 7 ans		
Etude d'impact des rejets	pas réalisée		
Coût de revient sortie usine en €/m3 de l'eau potable produite en 2024	Env 2,4 (coût de production hors coûts d'investissements en 2023 : de l'ordre de 1,7 €)		Le prix de vente de l'eau au consommateur final (sans l'assainissement) est beaucoup plus élevé. En 2023 : <u>Tranche 1</u> (0-30 m ³ par trimestre) : 5,61 €/m ³ ; <u>Tranche 2</u> (>30 m ³ par trimestre) : 11,23 €/m ³ . (Sur la formation du prix de l'eau à St Martin : cf. rapport CRC de 2017, pages 58 à 61)
Salinité saumure en sortie g/litre	entre 40 et 60		

Points positifs :

- Volonté des autorités locales pour moderniser l'usine.

Points à améliorer :

- Autorisation environnementale toujours pas délivrée par le préfet. Usine qui n'est pas en règle ni avec la réglementation sanitaire ni avec la réglementation environnementale.
- Pas de contrôle d'accès physique à l'enceinte de l'usine (contrairement par exemple à l'usine EDF voisine). L'usine n'est donc pas protégée d'intrusions non désirées.
- Le point de prélèvement se situe près de sources de pollution.
- Le point de rejet est sur une digue sans aucune mesure de l'impact.

Annexe 6. Petites unités de dessalement dans les ports de plaisance en Occitanie

La mission a visité trois ports de plaisance dotés de petites structures de désalinisation de l'eau de mer pour le nettoyage de bateaux à l'eau douce (nettoyage simple et carénage). Ils sont situés à Port-Vendres, Saint Cyprien, et Port-Leucate. L'objectif n'est donc pas de produire de l'eau potable, mais simplement de l'eau douce.

L'objectif assigné à ces petites unités portuaires peut être double :

- Pour les trois ports, il s'agit de trouver une solution face aux arrêtés préfectoraux de restriction d'eau potable suite aux sécheresses intervenues (notamment depuis 2022). En effet, les plaisanciers ont besoin de nettoyer leurs bateaux pour dessaler le pont et de temps en temps pour nettoyer la coque (carénage). Offrir un tel service est important pour ces ports : cela peut leur procurer un avantage concurrentiel par rapport à d'autres ports n'offrant pas ou ne pouvant plus offrir ce service et, dans l'autre sens, cela leur évite de perdre des clients qui seraient tentés de changer de port pour bénéficier de ce service s'ils n'étaient pas en mesure de l'offrir (le département voisin n'étant pas forcément concerné par le même arrêté de restriction). Cette offre de service, non payée directement par les bénéficiaires, mais incluse dans le prix de location d'un anneau au port constitue un élément de service et d'attractivité important ; ce qui n'est pas négligeable compte tenu du chiffre d'affaires de ces infrastructures, de plusieurs millions d'€.
- Pour Port Leucate, l'installation de l'unité de dessalement s'inscrit également dans une logique d'économie d'eau via la réutilisation des eaux de carénage et des eaux de pluie collectées sur le parking adjacent au port. La production d'eau dessalée a pour objectif de compenser les pertes inéluctables dans un tel circuit « fermé ».

Chacun de ces ports dispose sur la zone portuaire d'un container dans lequel est placé un osmo-seur et divers appareils pour produire de petites quantités d'eau douce. Ces dispositifs sont commercialisés par des PME.

Pour ces ports, la DREAL, via un arrêté préfectoral⁵⁹, a demandé le respect d'un certain nombre de prescriptions dont des seuils maxima de salinité pour les rejets en mer, ainsi qu'un suivi analytique et une communication autour de ce suivi.

Port-Vendres : Il s'agit d'un container autonome en énergie (toiture avec panneaux photovoltaïques et batteries), pouvant produire 10 m³/jour. L'eau dessalée est utilisée uniquement pour rincer les bateaux, le port n'ayant pas l'autorisation à ce jour de faire de carénage (absence de système de récupération des eaux usées).

Ce projet est jusqu'à présent un échec puisque l'unité, installée à titre de démonstrateur par la société TEXEP, a été montée avant de demander l'autorisation à la DREAL, et après l'installation et l'inauguration, le taux de rejet de sel dans la saumure a été jugé trop élevé (de l'ordre de 57 g/litre, alors que la valeur figurant dans l'arrêté préfectoral d'autorisation, pris postérieurement, est de 45g/l). C'est un exemple d'absence d'anticipation de tous les sujets à examiner avant d'installer un tel système. C'est regrettable car le système semblait séduisant (énergie renouvelable).

Malgré l'autorisation, le port à, au moins temporairement, décidé de ne pas utiliser l'installation.



⁵⁹ Cf. pour Port Leucate, l'arrêté préfectoral du 20 février 2024 ; Port de St Cyprien : arrêté du 7 juillet 2024 ; Port-Vendres : arrêté du 4 août 2023.

Le port de **Saint-Cyprien** est équipé depuis 2023 d'un container de la société OSMOSUN®, amélioré en 2024. Le système peut produire 12 m³/jour d'eau douce (non potable). En plein été, cela représente la consommation nécessaire pour rincer plus de 60 bateaux par jour, sur cinq postes de lavage. Ils peuvent être utilisés simultanément par les plaisanciers du port. La collectivité locale finance la location, via un contrat de trois ans à 3800 €/mois. Le prix de revient à utilisation pleine est donc supérieur à 10€/m³, et ce prix monte sensiblement si la production est faible (cas de l'intersaison). Cependant, le port bénéficie en contrepartie d'une plus grande attractivité et de recettes supplémentaires via les redevances d'amarrage (le port dispose de 2000 anneaux d'amarrage). L'analyse de l'eau des zones de captage et de rejet en mer est effectuée par le port chaque semaine (investissement de 3000 € pour l'acquisition d'une sonde), et les résultats sont envoyés à la DREAL. La salinité de la saumure rejetée dans le port est inférieure à 45g/litre (valeur demandée dans l'arrêté). Des études benthiques ont été réalisées avant l'installation et un suivi annuel est assuré par un bureau d'études.

Le système du port de **Leucate** est quelque peu différent puisqu'il est basé sur la réutilisation des eaux usées issues de l'activité de carénage (ce qui n'est pas prévu à Saint Cyprien) et des eaux de ruissellement du parking adjacent. L'apport en eau de mer qui est ensuite dessalée, sert principalement à compenser les pertes du circuit « fermé » (estimées entre 10 et 20%). L'eau douce produite est utilisée pour le carénage et le nettoyage des bateaux. La salinité de la saumure est, par arrêté préfectoral, limitée à 39 g/litre.



Comme pour les autres ports, le système installé par la société Rellumix, est intégré dans un container auquel a été ajouté un débourbeur – décanteur. L'investissement s'est élevé à 170 K€ (sans comptabiliser certains travaux préparatoires effectués en régie, estimés à 30 ou 40 k€), dont 36 k€ subventionné par le CEREA. Le volume produit est de 4 m³/heure. Un contrat avec un prestataire a été conclu pour réaliser les analyses de contrôle (coût de 800 € / an). Les recettes estimées de cet équipement sont de l'ordre de 250 k€ par an.



En conclusion, la mission considère ces installations récentes comme intéressantes, mais le coût de production du m³ est élevé (il resterait élevé même si elles étaient exploitées à pleine capacité toute l'année, ce qui n'est pas la finalité de ces installations). Un tel coût serait difficilement supportable par les bénéficiaires s'ils devaient payer le coût réel en fonction de leur consommation. Toutefois, cet accès à l'eau douce s'intégrant dans un ensemble de prestations liées à la location d'un anneau dans les ports, le coût n'est pas « visible » pour les bénéficiaires. Ainsi le coût global est supportable par les ports, dont le chiffre d'affaires est important (4,5 M€ en 2024 pour Port Leucate).

La multiplication de ces petites unités n'est toutefois pas conseillée au niveau d'une même zone littorale, si le stress hydrique devient permanent. Il serait plus rentable dans ce cas de mutualiser une grande unité de dessalement qui permettrait de répondre aux besoins d'une plus large palette d'utilisateurs, et qui pourra contribuer à limiter le recours par le préfet à des arrêtés de restriction de l'eau potable.

A noter les limitations fortes en terme de concentration de rejets : le rejet se fait dans les ports avec peu de courant et sans diffuseur. Les caractéristiques des installations (peu d'eau douce produite par rapport à la quantité d'eau traitée) permettent cette limitation.

Annexe 7. Le dessalement en Espagne

La gestion de l'eau en Espagne

L'Espagne a progressivement développé le dessalement de l'eau de mer, pour l'eau potable, plus récemment massivement pour l'agriculture. La politique nationale est très active en la matière. Il y a aujourd'hui plus de 700 usines de dessalement en Espagne.

Une organisation nationale, organisée en bassins hydrographiques

La consécration du bassin hydrographique comme unité de gestion de l'eau est plus ancienne en Espagne qu'en France. L'Espagne est considérée comme pionnière à cet égard. Ses prémices datent du 19^{ème} siècle avec la création, dès 1865, de dix divisions hydrologiques. La loi sur les eaux de 1985 confirme le bassin versant comme unité indivisible de gestion de la ressource. Elle ajoute à sa dimension technique, une nature normative puisque toutes les décisions concernant les eaux superficielles et souterraines doivent être assujetties à la planification hydrologique. 25 plans (pour 9 confédérations) sont coordonnés par le ministère en charge de l'environnement. Ces plans traitent de la gestion structurelle de l'eau mais aussi des instruments relatifs aux crises (inondations et sécheresse).

L'eau appartient au domaine public, avec un régime développé de concessions

Le droit de l'eau espagnol repose sur deux textes majeurs reconnaissant le caractère public de l'eau : la loi sur l'eau du 13 juin 1879 et celle du 2 août 1985. La première loi élabore un système de concession administrative des droits d'eau superficielle qui garantit aux concessionnaires une jouissance pérenne du cours d'eau avec l'octroi de droits d'eau à perpétuité. Ce dispositif, assorti d'un régime fiscal favorable, vise à encourager l'initiative privée à investir dans le domaine hydraulique aussi bien pour la production énergétique que pour la production agricole. Il associe ainsi propriété publique et utilisation privée des eaux superficielles, dans une optique conçue pour faciliter les usages économiques de l'eau.

Par la loi du 2 août 1985, ce sont toutes les eaux, qu'elles soient souterraines ou superficielles, qui sont désormais publiques. Elles constituent « une seule ressource, subordonnée à l'intérêt général, appartenant au domaine public de l'État en tant que domaine public hydraulique ».

La concession, régime établi en 1879, n'est désormais, par cette même loi, plus octroyée pour une durée illimitée mais pour une durée limitée.

De fortes tensions hydriques

Le climat actuel de l'Espagne ressemble à ce qu'on peut anticiper du climat futur de la France, et il en est de même de sa situation hydrique. Les statistiques produites par l'Agence météorologique nationale (AEMET) montrent une augmentation importante depuis 2015 de la gravité des vagues de chaleur estivales en Espagne. L'année 2023 a été particulièrement dévastatrice, accentuant la sécheresse hydrologique qui dure depuis plusieurs années. En outre, l'augmentation des températures déjà constatée en Espagne entraîne une plus grande évapotranspiration et une augmentation de la demande en eau des cultures. Pour les horizons à 2040, 2070 et 2100, tous les scénarios prévoient une réduction des précipitations et une augmentation de la demande en eau de la végétation en raison de l'augmentation de la température.

En novembre 2023, 9 millions de personnes en Espagne (sur une population totale de 47 millions) étaient soumises à des restrictions d'eau, tandis que les sécheresses sont devenues chroniques dans de grandes régions telles que l'Andalousie et la Catalogne.

Avant le dessalement : les barrages et les transferts d'eau

Dès le début du 19^{ème} siècle, des systèmes de redistribution de l'eau ont été mis en place. L'idée dominante qui s'est imposée est la suivante : pour favoriser le développement équitable de l'ensemble de l'Espagne, il faut que les bassins versants les plus riches en eau acceptent de transférer une partie de la ressource vers les régions les plus pauvres. La planification étatique desdits transferts commence sous la Seconde République (1931-1939) puis se poursuit durant le franquisme (1939-1975) par un ambitieux plan de construction de barrages (600 ouvrages d'art de ce type sont créés dans tout le pays entre 1940 et 1972) et de réseaux d'adduction.

Le pays compte aujourd'hui près 1200 grands barrages, dont plus de 800 ont été construits pendant le vingtième siècle. Il est intéressant de constater qu'avec des capacités de retenue cinq fois supérieures, la moyenne annuelle de volume retenue est deux fois inférieure à celle de la France. L'irrigation représente de l'ordre de 60 % des prélèvements.

En 1979 a été construit le premier grand canal de transfert d'eau douce. Ce canal, long de 292 km, a permis l'approvisionnement du sud-est de l'Espagne grâce au transfert de 70% des eaux du Tage vers les bassins hydrographiques du Jucar et du Segura (Valence, Murcie et Almeria.) Les trois quarts de l'eau du transfert servent à l'irrigation pour la production de fruits et légumes). Un transfert qui a permis à cette région aride de devenir le "potager de l'Europe".

Coup d'arrêt aux transferts : le dessalement prend le relais

Ces transferts sont devenus un objet de polémiques intenses politiques. En 2004, lors de son retour au pouvoir, le Parti socialiste a abandonné le grand projet de transfert d'une partie de l'eau de l'Ebre⁶⁰, porté par le pouvoir précédent. A la place, il lança le programme A.G.U.A, un investissement de 1,8Md€, axé sur la construction de vingt-cinq usines de dessalement de grande capacité sur la façade méditerranéenne, dont plus de la moitié de la production est depuis 2014 destinée à l'agriculture. Cette initiative a fait de l'Espagne le leader européen et quatrième mondial en termes de capacité de dessalement (1500 hm³/an, soit 4,1 Mm³/j).

Il y a actuellement plus de 700 usines de dessalement, dont beaucoup (la moitié de la capacité) concernent les eaux saumâtres, et la plupart d'entre elles sont des usines de petite capacité, les plus récentes étant beaucoup plus importantes, plus de 200 000 m³/j.

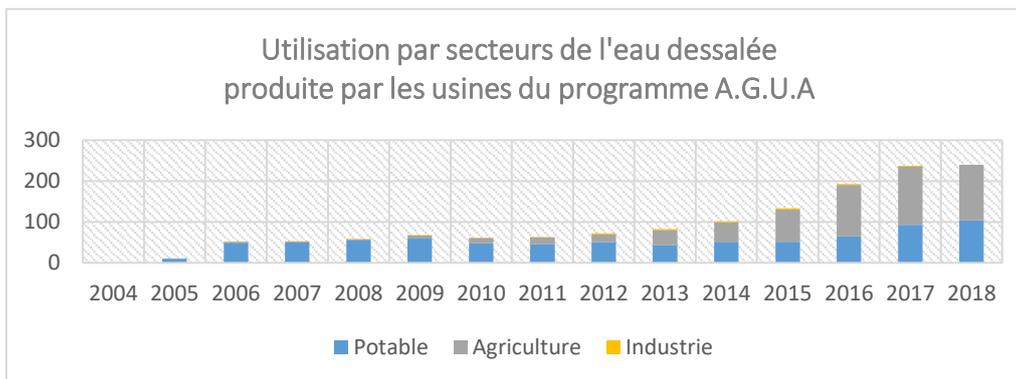


Malgré une relative amélioration de la situation hydrique en Espagne, les séquelles de l'année hydrologique 2022/23 persistent, notamment dans les régions les plus touchées telles que l'Andalousie, la Catalogne et la région de Murcie. Pour faire face à cette crise, le gouvernement a adopté en mai 2023 une enveloppe extraordinaire de 2,19 Md€ d'aides publiques, l'objectif principal étant de renforcer la disponibilité des ressources en eau. Parmi ces mesures, 1,4Md€ sera alloué à la mise en service de nouvelles infrastructures, comprenant notamment la construction de trois nouvelles usines de dessalement, deux en Andalousie et une en Catalogne (capacité de production de 20 hm³/an), par Aquamed, société publique responsable de ces ouvrages, l'agrandissement des capacités de l'usine de dessalement située à Gérone (portant la capacité de production de 15 hm³ à 60 hm³/an) et à augmenter de 150 % les capacités de réutilisation des eaux urbaines d'ici 2027, atteignant ainsi 1000 hm³/an. De plus, **une réduction de 50 % des coûts de fourniture (canon del agua) et des tarifs** des irrigants les plus impactés par la sécheresse est prévue jusqu'en 2026 au moins.

Les missionnés ont pu avoir connaissance, en toute fin de mission, de la réglementation sur les usines de dessalement et d'une étude sur le monitoring des usines construites et exploitées par Aquamed. Cette étude montre le respect des arrêtés d'autorisation. Elle illustre aussi également un élément important : la notion de seuil d'alerte déterminé par le dépassement du résultat d'une mesure (en continu). La mission en a fait une suggestion pour la réglementation nationale.

⁶⁰ Fleuve prenant sa source dans la région de Cantabrie et traversant successivement, les régions suivantes, la Castille Leon, La Rioja, la Navarre, l'Aragon et la Catalogne.

En parallèle, le gouvernement régional a annoncé l'installation d'une usine de dessalement flottante à Barcelone, et envisagé la construction à moyen terme de 12 stations de dessalement mobiles dans le nord-est de la Catalogne, de petite capacité (environ 1 000 mètres cubes d'eau par jour, soit 0.3 hm³/an). Un projet d'usine flottante (sur bateau) a été abandonné à ce stade, jugé trop coûteux.



Focus sur la Catalogne

La Catalogne a connu une sécheresse sans précédent. -50% de précipitations pendant 4 ans et +3°C en moyenne.

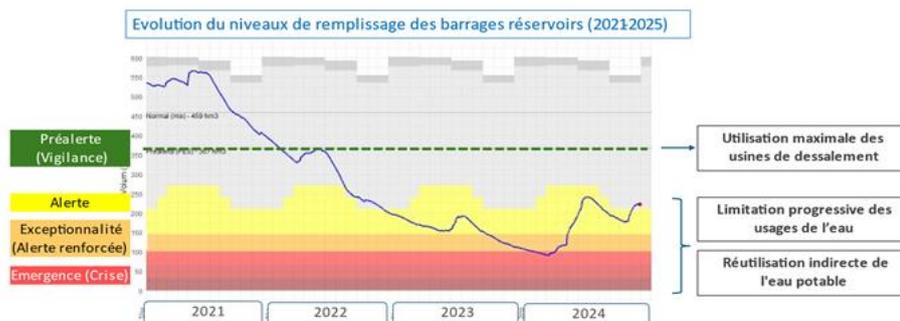
En février 2024, suite au déficit historique de précipitations qui touche la région depuis trois ans, l'agglomération de Barcelone a déclaré l'état d'urgence pour sécheresse, l'ensemble de ses réserves d'eau étant passées en-dessous de 16 % de leurs capacités. L'industrie doit diminuer sa consommation d'eau d'un quart, les éleveurs de moitié et le reste de l'agriculture de 80 %. Six millions de personnes, sur les huit millions habitant la Catalogne, ont interdiction de remplir leur piscine, de laver leurs voitures, d'arroser les espaces verts sauf pour sauver les arbres. Les communes sont tenues de limiter la consommation d'eau à 200 litres par personne et par jour, un seuil qui pourra être abaissé à 180 puis 160 litres et impacter l'activité touristique alors que la consommation moyenne d'un habitant de Barcelone est de 100 l par jour. La consommation d'un hôtel cinq étoiles est évaluée à 545 litres par jour, et à 373 pour un hôtel quatre étoiles.

La Catalogne a décrété un plan sécheresse en 2020.

Il est fondé sur l'évolution des quantités d'eau contenues dans les barrages réservoirs.

- dès le niveau de préalerte, l'utilisation maximale des usines de dessalement est décidée. On voit que c'est le cas depuis 2022. Ce qui veut dire a contrario qu'en régime normal les usines de dessalement ne sont pas exploitées à 100% de leur capacité (à près de 10% pour l'usine de Barcelone certaines années).
- au passage au niveau d'alerte, la consommation d'eau est limitée pour tous les usages.
- au niveau crise, la réutilisation de l'eau potable usée est activée.

Application du « Plan Sécheresse » approuvé en 2020



La production d'eau dessalée, réservée aux épisodes de préalerte, n'a été activée en totalité qu'à partir de 2022. Il s'agit donc bien d'une source d'appoint, et non de la production en base.

Dessalement

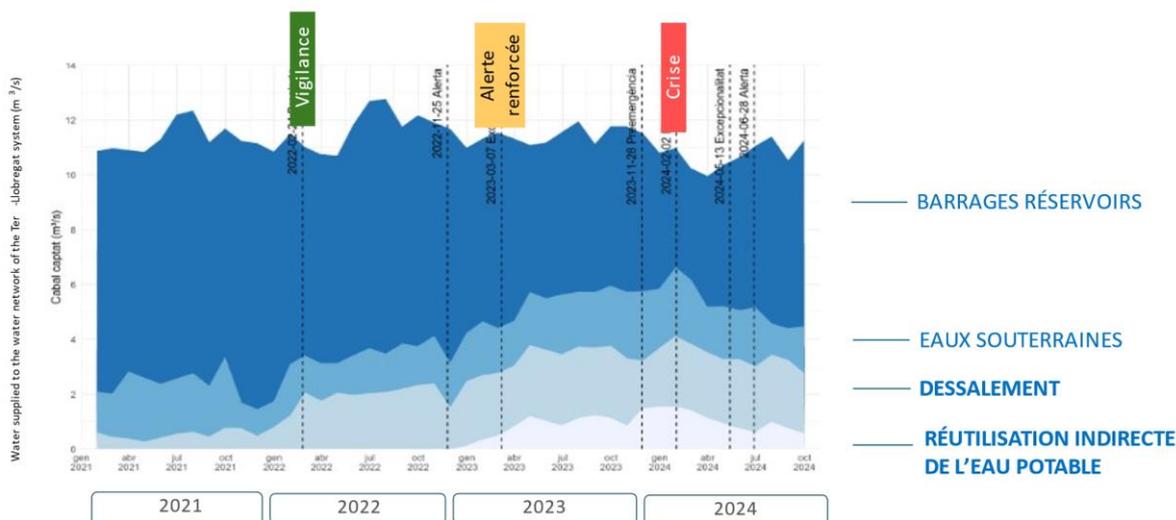


4

La réutilisation des eaux usées traitées se fait en les « réinjectant » dans la rivière Llobregat à 8km en amont de l'unité de potabilisation.

Approvisionnement en eau potable à Barcelone

Origine de l'eau fournie à l'agglomération de Barcelone au cours des quatre dernières années



8

Impact du dessalement sur les ressources naturelles en eau :

L'usage du dessalement peut avoir un impact positif sur les milieux. Le graphique ci-dessous montre la simulation du niveau des barrages réservoirs avec ou sans dessalement.

Bilan de l'application du « Plan Sécheresse »



Outil interactif avec scénarios de simulation

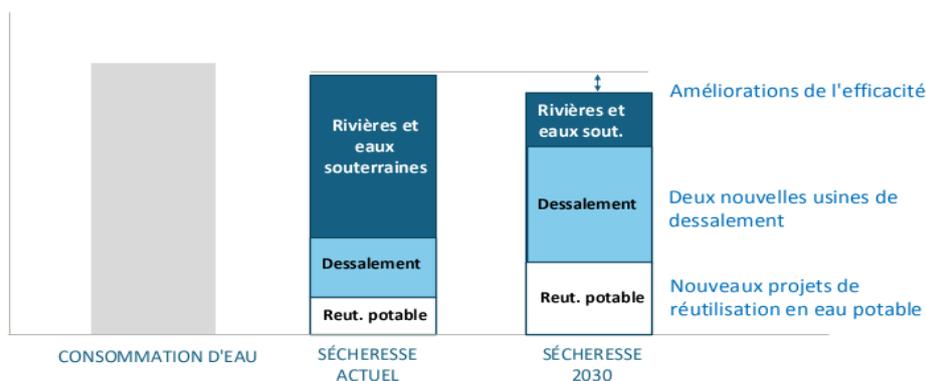
10

Pour limiter les impacts de l'augmentation de la salinité autour des points de rejets, l'usine ATL (Barcelone) procède à une dilution des rejets avec les eaux usées traitées avant rejet à la mer.

Les perspectives pour 2030 prévoient à la fois de la sobriété et un usage plus massif au dessalement.

Feuille de route pour la sécurité de l'approvisionnement en l'eau potable

Composantes prévues de l'eau fournie à la Grand Barcelone pendant les sécheresses



11

En conclusion, l'exemple de Barcelone est utile à plusieurs titres.

- Les actions de sobriété, couplées avec une politique de tarification incitative, ont fait diminuer la consommation par habitant à Barcelone de 23 litres par habitant, passant de 129 à 106 litres/j.
- Les priorités d'usage du dessalement sont bien définies : activées en totalité seulement à partir du seuil de préalerte
- Action originale de récupération d'eaux usées pour faire de l'eau potable, par réinjection de celle-ci en amont dans le fleuve.

Annexe 8. Le dessalement au Maroc

La gestion de l'eau au Maroc

Le Maroc dispose de ressources en eau limitées et en régression continue, passant d'une dotation de 2.560m³ par habitant et par an en 1960 à 620 en 2020 [ce que la Banque mondiale qualifie de « stress hydrique structurel »] et pourrait chuter en dessous du seuil de pénurie [500 m³] à l'horizon 2030.

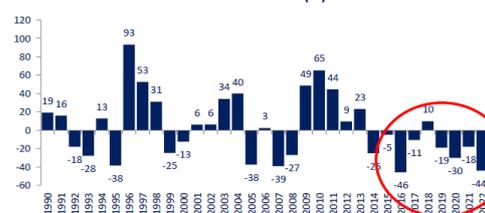
- Le Royaume dispose en moyenne de 22 Md m³ de ressources naturelles en eau par an, dont 18 Md m³ d'eaux de surface et 4 Md m³ d'eaux souterraines.
- Le pays est marqué par une forte irrégularité dans l'espace : si les précipitations peuvent atteindre 800 mm par an dans le Haut Atlas, elles sont inférieures à 100 mm dans les bassins sud-atlasiques.
- Globalement, la période 2018-2022 aura été la période la plus sèche depuis 1945, avec des années sèches successives et des déficits d'apports d'eaux de 54 % à 83 %. Cette sécheresse est corrélée à une augmentation des températures moyennes annuelles de 0,2 °C par décennie. A horizon 2050, les projections prévoient une tendance à la baisse des précipitations variant de 5 à 35 % pour la majorité des bassins versants.
- Parallèlement, la demande d'eau a augmenté, et les déficits sont compensés par la surexploitation des nappes d'eau souterraines ce qui impacte leur durabilité. De plus, il existe une faiblesse d'efficacité et de valorisation des eaux mobilisées, à cause de pertes en eau supérieures à 30 % dans les systèmes d'irrigation et supérieures à 10 % dans les canaux de transport.

Evolution de la dotation en ressources en eau renouvelables au Maroc sur la période 1960-2020 et sa projection en 2030 (m³/hab/an)



Source : Département de l'Eau

Déficit/excédent pluviométrique par rapport à une année normale (%)

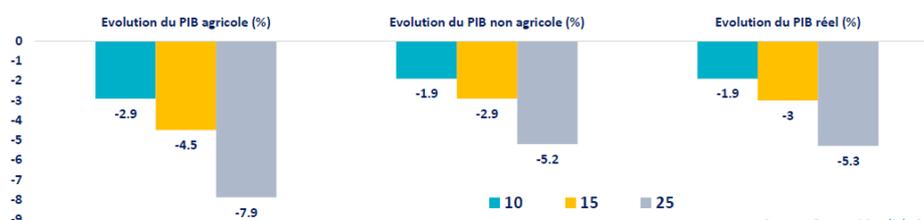


Source : HCP

Une diminution des ressources en eau avec un impact économique fort

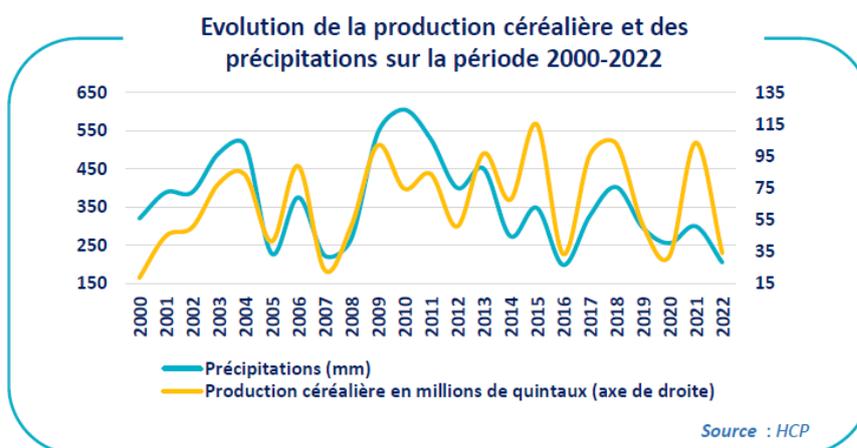
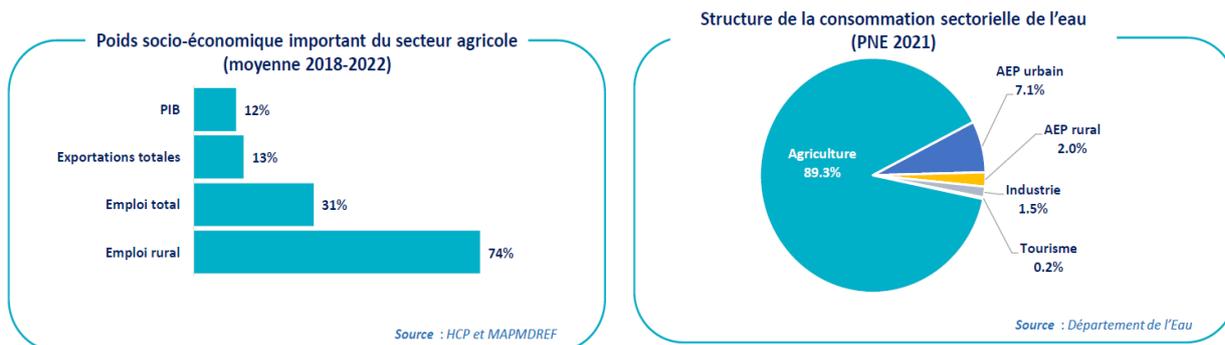
- Selon le rapport de la Banque mondiale publié en octobre 2022, une diminution de 25 % des ressources en eau pourrait provoquer une réduction du PIB de 5,3 % (et de 7,9% du PIB agricole), dans un contexte où 85 % des ressources hydriques consommées sont dédiées à l'agriculture.

Simulation de l'impact sur le PIB selon les scénarios de pénurie d'eau (-10%, -15% et -25%)



Source : Banque Mondiale, Modèle GTAP-BIO-Water

- Une forte exposition du secteur agricole marocain au risque de la pénurie de l'eau

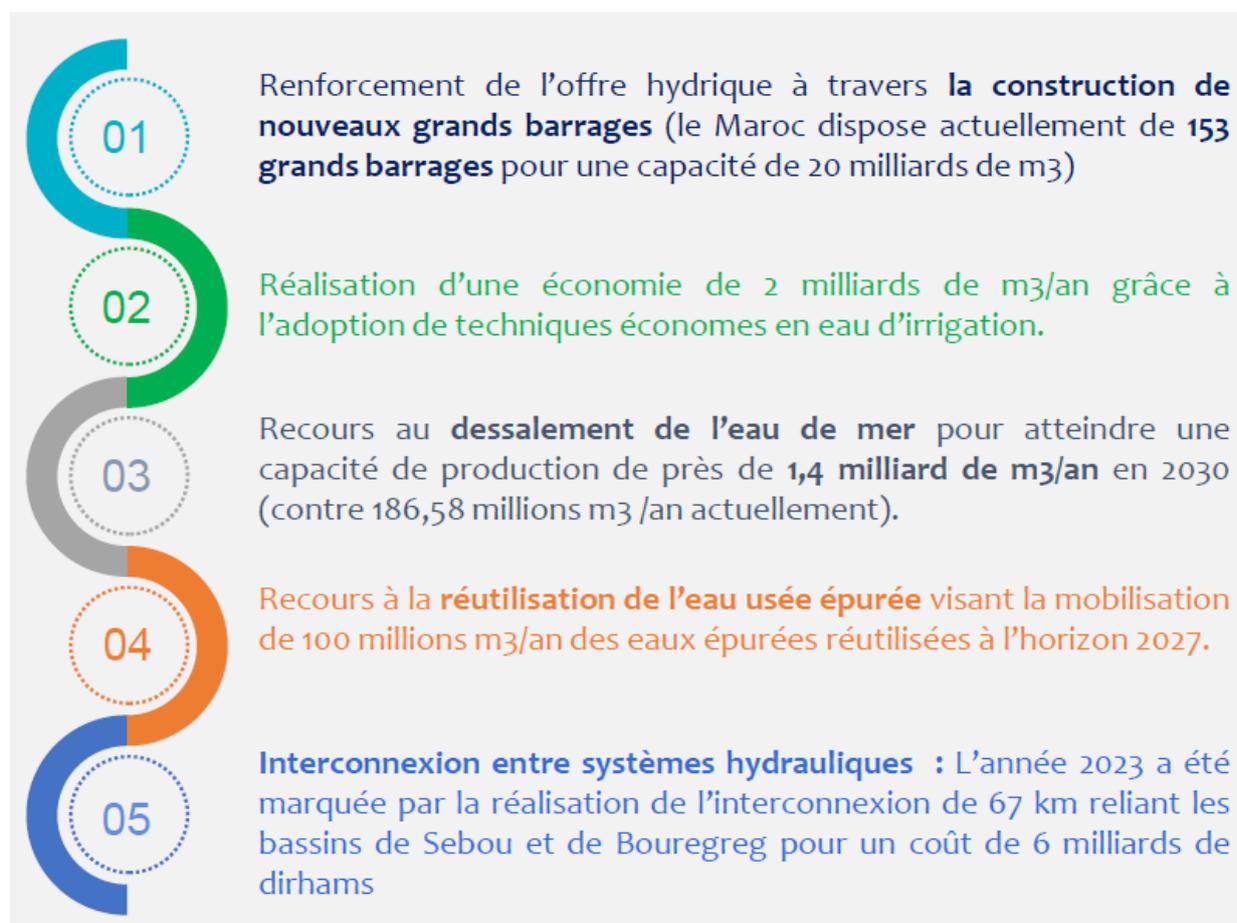


La politique hydrique du Royaume est proactive pour la préservation de la ressource et le développement de l'offre.

- La politique nationale de l'eau s'incarne dans différentes politiques publiques, notamment le Nouveau modèle de développement (NMD) qui fixe en 2021 les orientations du Royaume, et inscrit l'eau comme une priorité du pays.
- Le programme national d'approvisionnement en eau potable et irrigation 2022-2027 (PNAEPI) vise l'accélération des investissements dans le secteur de l'eau. Il met en place des actions de diversification des ressources d'approvisionnement en eau, d'interconnexion entre les systèmes hydrauliques et d'économie d'eau, pour un coût de plus de 10 Mds EUR.
- Le Plan national de l'eau (PNE), lancé en 2019 est actuellement en cours de finalisation. Il doit définir une feuille de route sur les 30 années à venir. Dans le même temps, les agences de bassins hydraulique travaillent à la réalisation de Plans directeurs d'aménagement intégré des ressources en eau (PDAIRE), outil de planification décentralisée de la gestion des ressources en eau.
- Le Maroc met progressivement en place un cadre réglementaire favorable à la construction d'infrastructures de captation de la ressource en eau.
 - La Constitution de 2011 consacre le « droit à l'accès à l'eau et à un environnement sain » dans son article 31. Ce cadre est principalement défini par les lois 10-95 et 36-15 relatives à la gestion intégrée des ressources en eau. Elles institutionnalisent la gestion intégrée, décentralisée, concertée et participative, par la création du Conseil supérieur de l'eau et du climat, et des Agences de bassins hydrauliques (ABH). Ces lois renforcent également des instances et organes de concertation et de coordination, par la création du conseil de bassin, un forum régional pour l'échange autour de cet enjeu. De plus, cela met en place des bases juridiques pour la diversification de l'offre d'eau via le recours aux ressources en eaux non conventionnelles.

- Concernant la gestion de l'eau, la loi n° 83-21 institue des sociétés régionales multi-services (SRM). Ces structures peuvent prendre en charge la distribution de l'eau, l'électricité et l'assainissement. Les premières SRM ont été créées en 2024 dans 4 régions pilotes et 11 autres sociétés régionales dans autant de régions devraient progressivement voir le jour.
- Ce cadre réglementaire s'élargit aussi via la volonté de développement des partenariats public-privé pour pallier aux manques de ressources en eau, permise notamment par la loi 36-15. En effet, concernant le dessalement, il est autorisé à toute personne physique ou morale de droit privé par un contrat de concession et un cahier des charges.
- Concernant la réutilisation des eaux usées et épurées et des boues (REUSE), ces eaux sont autorisées pour des usages non alimentaires, sous réserve de conformité aux normes de qualité fixées par voie réglementaire, sur une durée maximale de 20 ans renouvelable.

Les mesures phares du programme national prioritaire d'approvisionnement en eau potable et d'irrigation 2020-2027 :



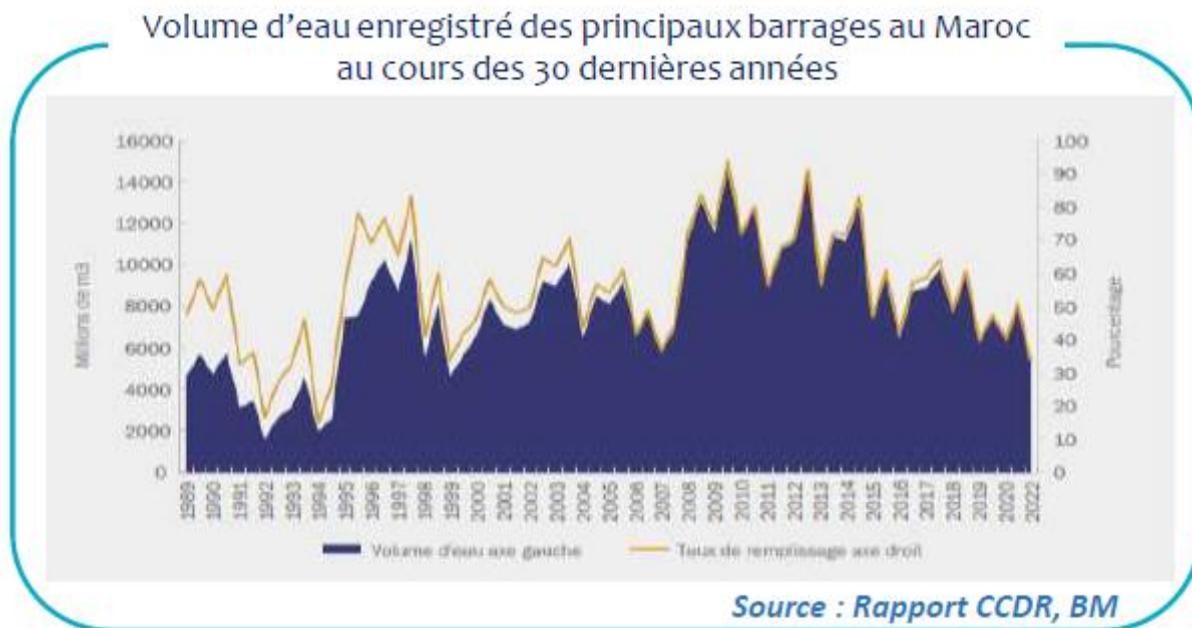
Source : « **Le Maroc face à la contrainte hydrique : enjeux socio-économiques et orientations stratégiques** » - Ministère de l'économie et des finances – Royaume du Maroc.

Ces mesures phares sont complétées par des mesures de collecte des eaux pluviales, de désenvasement de barrages, recharge artificielle de nappe et d'amélioration du rendement du réseau d'AEP et des canaux et conduites multiservices.

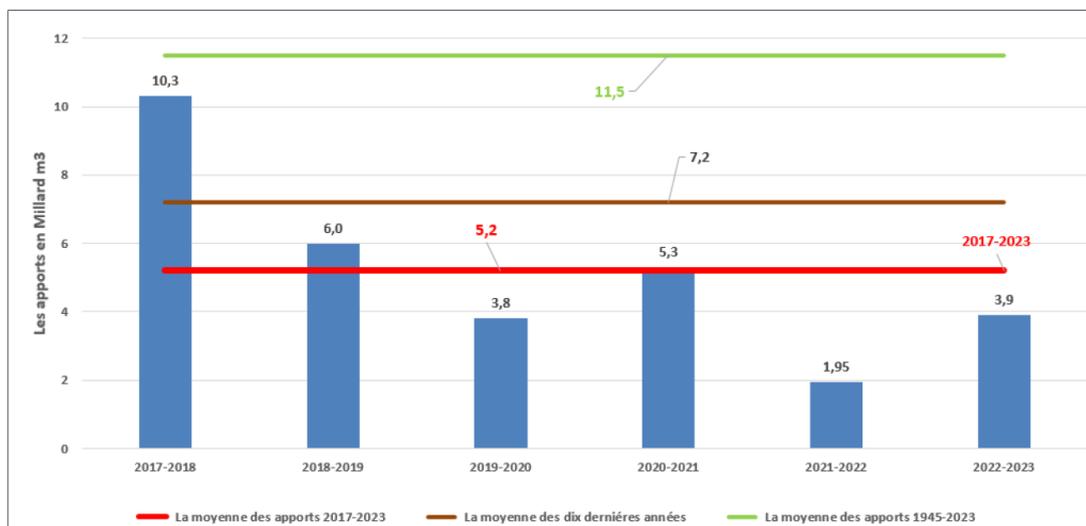
Le développement du dessalement au Maroc

Initialement (dans les années 60), le Royaume du Maroc a adopté une politique de maîtrise des ressources en eau principalement basée sur la construction de barrages.

Du fait d'un fort déficit pluviométrique, le niveau de remplissage des barrages s'élevait à 23,5 % fin 2023 contre 31,2 % fin 2022.



DONNEES RESSOURCES EN EAU : APPORTS D'EAU AU NIVEAU DES BARRAGES

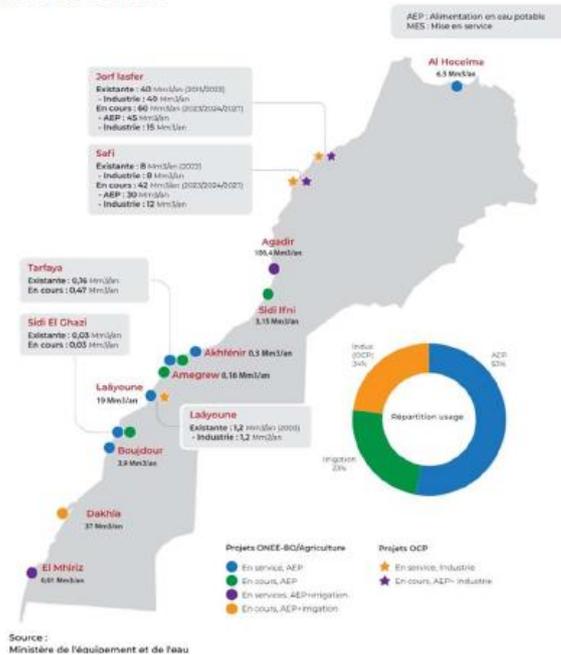


On voit sur ces graphiques que le taux de remplissage des barrages a baissé sur ces dix dernières années.

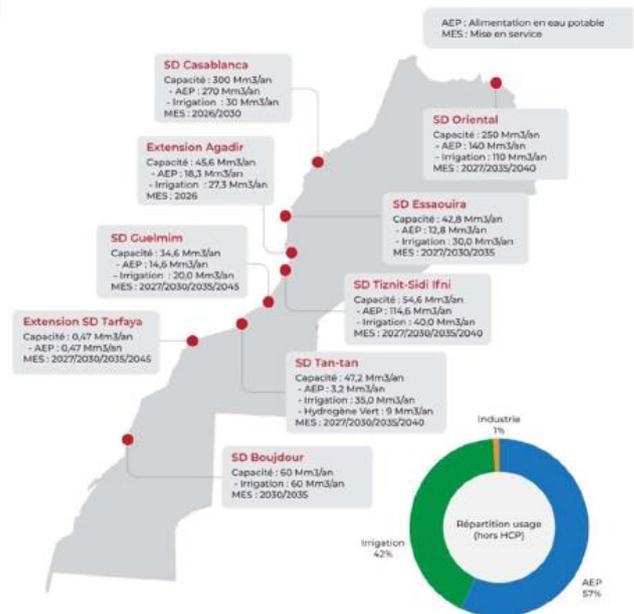
Confronté à sept années de sécheresse, le Maroc a décidé d'accélérer le développement des stations de dessalement de l'eau de mer avec l'objectif d'atteindre 1,4 Md m3 en 2030 (contre quasiment 200 M aujourd'hui, soit sept fois plus). Une vingtaine de projets (dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres) de différentes tailles ont été identifiés (Nador, Tanger, Safi, Tiznit, Tan Tan, etc.), sans compter l'installation de stations mobiles de dessalement et de déminéralisation. Répondre à ce défi demandera au Maroc des investissements massifs (infrastructures hydrauliques et énergétiques d'origine renouvelable) à court et moyen terme. La Banque mondiale estime le volume de financements nécessaire à 78,8 Mds USD sur la période 2020-2030 (soit 5,2% du PIB par an).

- **En 2024**, le Maroc compte 16 stations de dessalement de l'eau de mer d'une capacité de production de 192 Mm3/an.
- **A l'horizon 2030**, il est prévu 16 usines supplémentaires (dont 5 extensions) pour une capacité de production totale de 1,460 Milliards de m3/an

Situation actuelle



Stations projetées



Source : « **Les nouvelles inflexions de la politique de l'eau** » – Ministère de l'équipement et de l'eau – Royaume du Maroc – Février 2024.

L'objectif du Maroc est de répondre aux besoins en eau potable et en eau d'irrigation et d'accompagner le développement industriel et minier.

Aujourd'hui l'eau dessalée représente 10% de l'AEP. L'objectif, à terme, est que 50% de l'AEP soit de l'eau dessalée.

Considérant les capacités à payer des différents types d'utilisateurs, l'idée est de privilégier l'utilisation de l'eau dessalée pour l'AEP des grandes villes et l'utilisation des eaux conventionnelles (barrages) pour l'agriculture.

En ce qui concerne l'agriculture, il faut noter que, dans les années 90, le Maroc a changé de paradigme : il est passé d'une logique d'autosuffisance alimentaire à une logique de sécurité alimentaire, c'est-à-dire avec exportation des produits ayant un avantage comparatif (fruits et légumes principalement) et importation des autres produits (céréales). Selon le Ministère de l'agriculture, cela a permis au Maroc de réduire son empreinte eau !

Le Ministère de l'agriculture a contribué au développement de plusieurs projets de dessalement :

- Le projet de Chtouka (275.000 m3 jour dont 125.000 m3 pour irriguer 15.000 ha) a été mis en service en 2022.
- Le projet de Dakhla est en cours de réalisation. Il devrait permettre, fin 1025, d'irriguer 5.000 ha. Ce projet de dessalement est couplé avec celle d'un parc éolien.
- Dans la région orientale, un projet d'unité de dessalement de 300.000 m3 par jour est en cours de réflexion : 160.000 m3 seraient consacrés à l'irrigation.
Potentiel irrigable par dessalement d'eau de mer.



Source : AFD

Malgré tout, à l'échelle nationale, l'irrigation par dessalement d'eau de mer reste marginale. En effet, il y a 1,6 millions d'ha irrigués et le dessalement représente aujourd'hui moins de 1% de cette surface.

Les nouveaux projets, de grande capacité, sont lancés dans le cadre de partenariats public-privé. Ils suscitent bien évidemment l'intérêt des grands groupes internationaux, dont les groupes français dont l'expertise est reconnue (SUEZ, Veolia et Engie). Généralement, les marchés sont attribués à des consortium privés. Par exemple, la réalisation de la station de dessalement de Casablanca (800 M EUR) a été confiée fin 2023 par l'ONEE au consortium composé d'Acciona (ES) et de deux filiales du groupe marocain Akwa Group (Green of Africa et Afriquia Gaz). L'achèvement des travaux, qui ont débuté le 23 janvier, est annoncé en 2026 (plutôt 2028 selon Suez). Cinq autres consortia étaient positionnés : Engie/Abengoa (ES) ; Suez/Nareva (MA)/Itochu (JP) ; Veolia/Taqā Maroc (AE) ; SGTm (MA)/Somagec (MA)/IDE Technologies (IL) ; Acwa (SA)/Lantania (ES).

Exemple de projet de dessalement du Grand Casablanca

- Projet d'une capacité totale de 822.000 m3 jour
 - 1ere tranche : 548.000 m3 avec une mise en service prévue en 2026
 - 2eme tranche : 274.000 m3 avec une mise en service en 2030
- Principalement pour l'AEP (90%) avec toutefois irrigation d'un périmètre de 5000 ha (10% de l'eau dessalée)



L'OCP (Office Chérifien des Phosphates), premier exportateur mondial de phosphate brut, d'acide phosphorique et d'engrais phosphatés) contribue à cette dynamique nationale en mettant en œuvre un programme d'utilisation des eaux non conventionnelles, l'objectif étant de couvrir à terme 100 % de ses besoins en ressources hydriques. Dans le cadre de son programme d'investissement vert (2023-2027 ; 13 Mds EUR), l'OCP prévoit de produire à terme 560 M m3 d'eau dessalée pour desservir l'intérieur des terres via des conduites (Jorf-Khouribga et Safi-Youssoufia). En 2023, l'Etat a signé avec OCP Green Water un contrat de concession pour un projet mutualisé de dessalement (110 M m3 par an à partir de 2026) pour alimenter Safi et El Jadida, villes proches de son complexe industriel de Jorf Lasfar (75 M m3) et répondre aux besoins du groupe minier (35 M m3).

A noter que le phosphate minéral est acheminé jusqu'à l'usine par des canalisations, parfois longues de 80 km, et le projet se propose d'alimenter la ville de Marrakech, à 150 km à l'intérieur des terres et à 600 m d'altitude.

Les coûts de l'eau dessalée sont de l'ordre de 0,45 dirham (entre 0,4 à 0,5 € / m³ sortie d'usine (pour les usines de grande capacité, le coût pouvant être le double pour les unités plus petites). Le transport peut représenter 0,3 € / m³ (cas de Marrakech).

Prise en considération de l'environnement :

Les saumures et l'environnement marin :

La préservation de l'écosystème marin est un autre enjeu crucial au vu de la vingtaine de projets de dessalement prévue à l'horizon 2030. Dans la pratique, et de manière générale, il est considéré que les impacts sont très faibles sur la côte Atlantique du fait de la courantologie... et de la dilution des saumures. L'exigence est généralement de retrouver la salinité originelle à une distance de 300 ou 500 m du point de rejet.

Le Département ministériel en charge de l'eau exige la réalisation d'études d'impact environnemental.

Pour le conseil économique, social et environnemental (CESE ; rapport 2022), « il convient de veiller à ce que les stations de dessalement soient munies de dispositifs de contrôle, de surveillance, de veille et de suivi continu ». Un suivi environnemental (principalement la salinité et les métaux lourds) est préconisé.

L'ONEE a déclaré disposer des résultats des monitorings des usines, mais n'a pas souhaité nous les donner.

L'énergie

Le choix du pays s'est porté principalement sur la technologie de l'osmose inverse, la plus répandue, pour sa relative sobriété énergétique (comparativement à la distillation, utilisée en Arabie Saoudite). Avec cette méthode, l'énergie représente de 40 % à 60 % du coût total du m³ d'eau dessalé, ce qui explique le choix du Maroc, qui est bien doté, de recourir le plus possible aux énergies renouvelables pour alimenter les unités de dessalement. Certains projets sont couplés directement à une production d'électricité par des éoliennes (projet de Dakhla, par exemple, avec du vent présent pratiquement toute l'année).

Notons, par analogie, que les barrages ont permis la mise en place de 2 120 GW de puissance hydroélectrique installée.

Sources mobilisées pour la rédaction de cette note :

- « *Le Maroc face à la contrainte hydrique : enjeux socio-économiques et orientations stratégiques* » - Ministère de l'économie et des finances – Royaume du Maroc – 9 janvier 2024
- « *Les nouvelles inflexions de la politique de l'eau* » – Ministère de l'équipement et de l'eau – Royaume du Maroc – 1^{er} Février 2024.
- *Le stress hydrique : principal défi pour la croissance du Maroc ?* - Ambassade de France au Maroc - Service économique régional de Rabat – Mars 2024
- *Confronté à une sixième année de sécheresse, le Maroc accélère sa stratégie en matière de dessalement de l'eau de mer* - Ambassade de France au Maroc - Service économique régional de Rabat – Mars 2024
- Présentation des secteurs de l'eau, de l'agriculture et de la biodiversité – AFD – Septembre 2023
- Entretiens réalisés dans le cadre de la mission (cf. annexe « liste des personnes rencontrées »).

Annexe 9. Règlementation relative aux rejets d'eaux sales par les navires

Des mesures existent concernant le rejet d'eaux sales par les navires. Elles sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Zone de rejet d'eaux sales	Règles principales	Références juridiques
Dans un port	Interdiction sans autorisation – Usage des installations portuaires – Police environnementale	Code des transports : L5331-1, L5331-2 Code de l'environnement : L218-19 Décret 2008-209 : art. 2
Eaux territoriales (0-12 M)	Rejet autorisé si non polluant – Pas de substances MARPOL – Hors zones protégées	Code de l'environnement : L218-42 à L218-45 Décret 2017-724 : art. 1 Convention MARPOL 73/78 : Annexes I, II
Au-delà de 12 M (ZEE / haute mer)	Rejet autorisé si conforme MARPOL – Respect du droit international – Contrôle allégé	Code de l'environnement : L218-43, L218-44 CNUDM : art. 210, 211 Convention MARPOL 73/78
Parc marin / Natura 2000 mer	Règlement spécifique du site – Évaluation d'incidences – Encadrement renforcé	Code de l'environnement : L334-1, L334-3, L414-4 Décret 2010-146 : art. 11 Directive Habitats 92/43/CEE : art. 6.3

Annexe 10. Lignes directrices pour une usine de dessalement

La mission préconise de définir des lignes directrices en se basant sur celles formalisées par l'ANSES en 2009, en les actualisant et en les complétant sur le plan environnemental. Le tableau ci-dessous rappelle les éléments essentiels des lignes directrices de l'ANSES – 2009 (colonne de gauche) et les compléments à apporter (colonne de droite).

Éléments des lignes directrices de l'ANSES	Compléments mission
<p>1 Préambule : non repris dans le présent tableau. Ce préambule fait référence à un plan de gestion de la rareté de l'eau (non retrouvé par la mission) de 2007, dont un des trois axes aurait été le dessalement de l'eau de mer.</p>	
<p>2.1 Éléments justifiant le projet d'installation de l'unité de dessalement</p> <p>Le dossier doit comporter :</p> <p>2.1.1 Une présentation de l'état qualitatif et quantitatif des ressources d'eau douces disponibles et de leur évolution et notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • tous les éléments descriptifs des variabilités intra et inter annuelles, ainsi que les évolutions prévisibles • les données climatiques et notamment pluviométriques. <p>2.1.2 Une présentation des besoins en eau et de leur évolution et notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • tous les éléments descriptifs des variabilités intra et inter annuelles des besoins en eau ainsi que les évolutions prévisibles détaillées par type d'utilisation (agriculture, industrie, domestiques, élevage...), • la description de la situation locale qui a conduit à un déficit d'eau douce accessible. <p>2.1.3 Une description du système d'alimentation en eau de consommation humaine et notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la liste des collectivités alimentées par le système de production et de distribution d'eau et l'estimation de la population concernée (permanente et saisonnière), • le schéma d'alimentation en eau de consommation humaine avec les possibilités d'interconnexions, • le pourcentage en perte en eau dans le réseau d'alimentation, • les ressources de secours en eau douce <p>2.1.4 Un document présentant les mesures mises en œuvre pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • contribuer aux économies d'eau, • réduire les fuites du réseau de distribution, • protéger la ou les ressources d'eau douce et en garantir la pérennité sur le plan tant quantitatif que qualitatif. <p>2.1.5 Une étude de l'impact de l'implantation de l'unité de dessalement sur les ressources en eau douce</p> <p>L'implantation de l'unité et les apports de l'eau produite ne doivent pas induire des impacts sur les usages et les masses d'eau douce sur le territoire concerné. L'étude doit envisager les situations éventuellement négatives pouvant survenir.</p>	<p>2.1.1 Intégrer le changement climatique aux évolutions prévisibles</p> <p>2.1.2 Evolution des besoins : intégrer les démarches de sobriété engagées ou à prévoir Les besoins doivent être analysés à une échelle suffisamment large (SAGE, département, EPCI avec une population importante).</p> <p>2.1.3 Décrire précisément le réseau de transport et d'alimentation en eau, et les éventuels travaux nécessaires de raccordement, avec leur coût. Cette description doit intégrer les autres sources d'approvisionnement existantes ou en projet</p> <p>2.1.4 Perte en eau : décrire les évolutions de la perte en eau depuis 10 ans, Décrire aussi le nombre de points de captage d'eau potable fermés dans la zone pour cause de pollution, et les actions engagées pour les restaurer. Préciser les mesures prises pour éviter un effet rebond de la consommation d'eau.</p> <p>2.1.5 Le cas échéant, décrire aussi les impacts positifs (recharge de nappe, recul du biseau salé, etc.)</p>

<p>2.2 Présentation du projet de dessalement d'eau de mer ou saumâtre</p> <p>Le dossier comporte notamment tous les éléments décrivant le projet justifié au regard des données sanitaires et techniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la désignation de la personne responsable de la production ou de la distribution d'eau et, dans le cas où les différentes installations de production et distribution d'eau (captage, traitement, distribution) ne sont pas gérées par la même personne, les pièces prouvant l'existence de relations contractuelles entre les structures gérant ces différentes installations, • la durée limitée ou permanente de l'autorisation demandée • le réseau de distribution et la ou les zone(s) desservie(s) par l'eau issue de l'unité de dessalement, • la ou les période(s) de distribution au sein du réseau de l'eau dessalée, • les arguments justifiant le choix de la solution technique retenue. 	<p>Le dossier doit présenter :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la cartographie du site parmi les communes environnantes • le plan détaillé du terrain utilisé et de toutes les installations projetées (avec surfaces, volumes, réseaux d'alimentation en énergie et en eau) • les mesures d'intégration dans le paysage • le plan prévisionnel de financement et son calendrier, l'identification des financeurs • le calendrier des travaux • le mode de délégation de service public envisagé (si nécessaire préciser le mode de rémunération de l'opérateur en charge de l'exploitation selon les niveaux de production) • le taux d'utilisation prévisible de l'usine, en fonction des autres ressources. <p>Le dossier doit également décrire les perspectives de réutilisation d'es eaux usées sur la zone considérée, ainsi que la réhabilitation des eaux souterraines polluées.</p> <p>Le dossier doit également présenter les coûts prévisionnels de l'eau douce produite (et les impacts socio-économiques associés selon le ou les usages prévus)</p>
	<p>2.3 Le dossier doit comporter une demande d'autorisation environnementale, avec évaluation environnementale. Se référer au code de l'environnement pour connaître le contenu de ce dossier</p> <p>En particulier les points suivants sont à étudier</p> <ul style="list-style-type: none"> • État du milieu marin dans le périmètre des rejets en mer (espèces rencontrées dans l'année, espèces protégées, caractéristiques de l'eau) • État du milieu terrestre avant construction de l'usine (description générale, risques géologiques et sismiques, espèces rencontrées, espèces protégées) • Courantologie détaillée par mois sur une année dans les zones de captage et de rejets en mer • État du milieu marin dans le périmètre de captage d'eau brute (espèces rencontrées dans l'année, espèces protégées, caractéristiques de l'eau) • Modélisation de l'impact du fonctionnement de l'usine sur les milieux marins • Étude d'impact sur l'environnement à compter de la mise en service de l'unité (captage, rejets, zone élargie) • Dispositifs de surveillance environnementale : • Mesures d'évitement, de réduction, et le cas échéant de compensation • Description précise des produits chimiques utilisés, à quelle étape du processus, quel tonnage stocké à titre permanent, quel tonnage utilisé, et quel est l'impact des rejets de produits chimiques, y compris les interactions entre ces produits chimiques et l'eau salée <p>Conformément aux principes de l'évaluation environnementale, il doit décrire</p> <ul style="list-style-type: none"> • les alternatives possibles étudiées • les raisons pour laquelle le choix de l'usine a été fait et pourquoi le site a été retenu • les installations connexes nécessaires (énergie, transport) • la compatibilité avec les plans et schémas, en particulier avec le SDAEP, le SDAGE, le SAGE, la PPE • la consommation énergétique prévisionnelle par poste, les modes d'alimentation, les besoins de raccordement, et l'impact du fonctionnement de l'usine sur les émissions de gaz à effet de serre. <p>Enfin le dossier doit prévoir les modalités d'information de la population sur le fonctionnement de l'installation et de ses impacts.</p>

2.4 Caractéristiques et protection de la ressource

2.4.1 Informations relatives au captage

Le dossier doit faire apparaître :

- la situation géographique du captage (coordonnées et cote),
- le contexte hydrologique et hydrogéologique,
- la ou les cote(s) de prélèvement,
- les études justifiant le choix du site choisi pour l'implantation du captage,
- les caractéristiques des ouvrages de prélèvement et de transfert,
- le débit d'exploitation du captage (en m³/heure), les volumes (minimal, moyen et maximal), journaliers ainsi que le volume annuel prélevés, au regard des disponibilités en eau (aquifère littoral ou continental).

2.4.2 Informations relatives à la qualité de la ressource

Le dossier doit décrire :

- la nature et la localisation des sources potentielles de pollution, dont les rejets des concentrats de la filière de traitement, pouvant influencer, dans le cas des captages en eau de mer, la qualité de l'eau captée en fonction des marées, des courants et des saisons,
- les caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et radiologiques de la ressource, afin de justifier la filière de traitement et de pouvoir vérifier qu'elle permettra de produire une eau conforme aux exigences de qualité fixées par le code de la santé publique.

L'arrêté du 20 juin 2007 prescrit un minimum de deux analyses préalables complètes à réaliser en respectant les règles en vigueur. Ces analyses doivent être représentatives des situations les plus défavorables sur le plan qualitatif. Elles portent sur les paramètres définis par l'arrêté précité pris en application du code de la santé publique, en utilisant des méthodes compatibles avec la salinité des eaux.

Dans le cas des eaux marines ou littorales saumâtres, le plan d'échantillonnage est déterminé en tenant compte de l'influence des marées, des courants, des apports du bassin versant littoral et des résultats des réseaux de surveillance microbiologiques existants dont le REMI de l'IFREMER et les réseaux des Agences de l'eau qui traitent de la qualité de l'eau marine et des coquillages.

Une attention particulière sera portée aux paramètres chlorures, conductivité, sulfates, sodium et bore pour lesquels les limites de qualité définies par l'arrêté du 11 janvier 2007 précité sont dépassées dans la ressource utilisée.

Pour les eaux marines, le dossier doit aussi prendre en compte, le cas échéant, les risques liés à la présence de phycotoxines. Si le captage est implanté dans un secteur du réseau de surveillance de l'IFREMER (REPHY) les données seront fournies.

2.4.3 Mesures de protection du captage

Toutes les mesures destinées à protéger le captage et le secteur proche de celui-ci contre les dégradations accidentelles ou volontaires doivent être présentées.

Conformément aux termes de l'arrêté du 20 juin 2007, l'avis d'un l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique porte sur :

- les disponibilités en eau et le débit d'exploitation,
- les mesures de protection mises en œuvre,
- les propositions de périmètre de protection du captage ainsi que d'interdictions et de réglementations associées.

Les mesures de protection arrêtées par les autorités administratives compétentes comporteront, selon la situation du captage :

- un balisage spécifique pour les prises d'eau en milieu marin ou superficiel,

2.4.1 : décrire la situation environnementale du point de captage.

Décrire la turbidité de l'eau captée, ainsi que les prétraitements qui seront nécessaires.

<ul style="list-style-type: none"> • une signalisation de l'emplacement des ouvrages, • une réglementation de la navigation pour les prises d'eau en milieu marin ou superficiel, • une réglementation des activités de loisirs nautiques pour les prises d'eau en milieu marin ou superficiel, • un plan d'intervention en cas de pollution accidentelle pour les prises d'eau en milieu marin ou superficiel. <p>Si le préfet n'a pas compétence administrative, en mer, pour prescrire l'une des mesures de protection, l'arrêté préfectoral autorisant l'utilisation de la prise d'eau doit subordonner la dite autorisation à la mise en œuvre de cette mesure par l'autorité administrative compétente.</p>	
<p>2.5 Chaîne de traitement La chaîne de traitement comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le captage, • la canalisation de transfert d'eau brute, • le stockage éventuel de l'eau, • le pré-traitement avant dessalement, • le traitement de dessalement, • la reminéralisation et la neutralisation de l'agressivité de l'eau, • la désinfection. <p>Conformément aux dispositions des articles R. 1321-48 à 51 du code de la santé publique, la personne responsable de la production ou de la distribution d'eau doit utiliser, dans les installations nouvelles ou parties d'installations faisant l'objet d'une rénovation, y compris en amont des installations de traitement :</p> <ul style="list-style-type: none"> • des matériaux et objets entrant au contact de l'eau conformes aux dispositions de l'article R. 1321-48 et 49 ; • des produits et procédés de traitement d'eau conformes aux dispositions de l'article R. 1321-50 et 51. <p>Tous les matériaux doivent être agréés et compatibles avec un contact prolongé avec de l'eau de mer ou saumâtre.</p> <p>2.5.1 Captage Le dossier décrit la conception du captage, les équipements (forage, puits avec ou sans drain, prise d'eau à profondeur variable, barrage flottant, dégrillage, tamisage, etc), son mode de fonctionnement et les pré-traitements éventuels pouvant influencer la qualité de l'eau.</p> <p>2.5.2 Transfert et stockage d'eau brute De par la nature de la ressource, le développement d'incrustations sur la canalisation d'amenée et les ouvrages de stockage de l'eau peut être observé. En conséquence, les modalités de prévention et de traitement de ces incrustations doivent être précisées. Les réactifs éventuellement utilisés pour la prévention ou le traitement des incrustations seront détaillés. Ils doivent être compatibles avec la production d'eau de consommation humaine.9/10</p> <p>2.5.3 Description et justification de la technique de dessalement choisie Le dossier doit faire apparaître tous les éléments permettant de justifier le type de technologie retenue au regard de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la qualité de la ressource, • la protection des ouvrages de distribution contre la corrosion, • des limites et des références de qualité fixées par le code de la santé publique. 	

<p>2.5.4 Description de la filière de traitement L'étude portant sur le choix des produits et procédés de traitement des eaux a pour objectif de justifier la filière de traitement proposée en relation avec la qualité de l'eau brute prélevée. Elle doit donc permettre de vérifier l'adéquation entre la qualité de l'eau brute et la filière de traitement en vue du respect des limites et des références de qualité de l'eau fixées pour l'eau distribuée. Seront notamment mentionnés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'implantation de la filière de traitement, • les caractéristiques de l'unité complète au sein de laquelle est intégrée l'unité de dessalement (prétraitements, post-traitements, protection contre la corrosivité, type et doses de désinfectants, gestion des réservoirs, taux de traitement, temps de contact...), • les caractéristiques de l'unité de dessalement et de sa gestion, y compris pendant les périodes d'arrêt éventuelles, • les agréments du ou des procédés mis en œuvre, • les mesures prises pour assurer la permanence du traitement et la sécurité de l'installation, le cas échéant, les résultats des essais de traitement, • l'indication des mesures permettant de respecter les dispositions de l'article R. 1321-44, en particulier celles prises pour réduire l'agressivité et la corrosivité des eaux distribuées, • les matériaux et les produits de traitement et les doses employées, • les éventuels mélanges de l'eau dessalée avec une ou des eaux ayant une autre origine. <p>2.5.5 Distribution de l'eau Le dossier doit fournir les éléments permettant de vérifier que le maintien de la qualité de l'eau en distribution est garanti, notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'implantation et les principales caractéristiques du ou des réservoirs de stockage d'eau et le tracé des canalisations principales, • les modalités de gestion du réseau de distribution (traitements éventuels, modélisation ...). <p>2.5.6 Implantation du point de rejet Le dossier doit indiquer la qualité des eaux rejetées (concentrat), leur mode de gestion pour évaluer les risques sanitaires associés et, notamment, l'impact sur la ressource prélevée (localisation du point de rejet...).</p>	<p>Pour l'osmose inverse, préciser le type de membrane et l'éventuelle présence de PFAS dans les composants.</p> <p>La stratégie de traitement des déchets (boues, ...) issus des systèmes de filtration doit être précisée</p> <p>2.5.6. Les points de rejet doivent être décrits très précisément. Des études hydrologiques, de courantologie, de modélisation des panaches sont nécessaires. Une surveillance en continu de plusieurs paramètres doit être prévue, avec des seuils d'alerte en cas de dépassement La salinité de l'eau rejetée doit être mesurée en continu au point de rejet, à 100 m, à 300 m, à 1000 m (les distances peuvent varier en fonction du projet). Un suivi des espèces vivantes significatives ou déterminantes de la zone (à préciser pour chaque projet) doit être effectué régulièrement. Ce sont les espèces végétales, les coraux, les frayères, qui doivent être contrôlées en priorité</p>
<p>2.6 Modalités de gestion et de surveillance de la qualité de l'eau Le dossier comprend entre autres :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la description des moyens retenus pour s'assurer que les points critiques pour la qualité de l'eau sont bien maîtrisés. Ils comprennent, entre autres, l'enregistrement des débits et celui des données des capteurs d'analyse en continu pour contrôler, particulièrement les paramètres suivants : <ul style="list-style-type: none"> ✓ avant dessalement par osmose inverse : turbidité et oxydant résiduel, ✓ après dessalement : conductivité, pH, ✓ après reminéralisation et désinfection : conductivité, pH et oxydant résiduel, • les programmes renforcés de surveillance prévue par le producteur-distributeur et du contrôle 	<p>Pour mémoire, le 2.3 demande une description détaillée des modalités de gestion et de surveillance de l'environnement</p>

<p>sanitaire prescrit par le préfet. En distribution, ils porteront notamment sur des paramètres indicateurs de corrosion, dont le fer, ainsi que sur le dénombrement des micro-organismes aérobies revivifiables (22°C et 36°C) pour vérifier que le changement de qualité d'eau ne conduit pas à des élévations anormales des dénombrements bactériologiques.</p> <p>Ces éléments figurent dans le projet d'arrêté préfectoral d'autorisation et dans le rapport de présentation au CODERST4 qui, avec l'avis de cette instance, doivent être joints au dossier.</p>	<p>Les modalités de suivi des PFAS en sortie d'usine doivent être précisées</p>
<p>2.7 Modalités d'information</p> <p>Les protocoles prévus pour informer la population, notamment les utilisateurs ayant des contraintes particulières (hôpitaux, centre de dialyses ...), du changement de qualité d'eau distribuée, puis de ces variations éventuelles, doivent être exposés. Ils seront prescrits par l'arrêté préfectoral portant autorisation.</p>	<p>Les modalités d'accès des résultats du suivi environnemental doivent être précisées (ils doivent être accessibles par le public à tout moment).</p>

Annexe 11. Liste des personnes rencontrées

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
ADEME	GUASTAVI	Jasmine	Chef de projet	13/11/2024
Agence de l'eau Adour Garonne	GALKO	Elodie	Directrice	11/03/2025
Agence de l'eau Adour Garonne	AIGLE	Martin	Chargé de mission eau potable	11/03/2025
Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse	CHANTEPY	Nicolas	Directeur adjoint	25/11/2024
Agence Internationale Energie Atomique	GANDA	Francesco	Technical Lead - Non Electric Applications of Nuclear Energy	04/11/2024
Agro Paris Tech	FABY	Jean-Antoine	Directeur de la chaire AgroParisTech – Suez « Eau pour tous »	07/01/2025
ANSES	VIAL	Eric	Directeur de l'évaluation des risques, pôle sciences pour l'expertise	08/11/2024
ANSES	NEY	Eléonore	Chef de l'unité d'évaluation des risques liés à l'eau	08/11/2024
ARS Bretagne	SERRE	Anne	Directrice adjointe santé – environnement	27/02/2025

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
ARS Bretagne	THEZE	Murielle	Responsable du pilotage des eaux destinées à la consommation humaine	27/02/2025
ARS Bretagne	CHARBONNEL	Julien	Délégation départementale 29 Responsable santé – environnement	27/02/2025
ARS Bretagne	BRELIVET	Damien	Délégation départementale 29	27/02/2025
ARS Bretagne	BEILLON	Myriam	Délégation départementale 56 Responsable santé environnement	27/02/2025
ARS Bretagne	POTELON	Antonin	Délégation départementale Chargé « eau potable »	27/02/2025
ARS. Unité de St Martin et de St Barthélémy	GUIBERT	Paul	Directeur territorial	04/02/2025
Association ANEL	BLANCHARD	Alain	Délégué général	10/02/2025
Association Eaux et rivières de Bretagne	PENNOBER	Paulien	Chargée de mission « politique de l'eau »	21/11/2024
Association FNE	GUILPART	Alexis	Animateur du réseau « Eaux et milieux aquatiques »	21/11/2024
Association FNE	ORSINI	Antoine	Président ? (Hydrobiologiste)	21/11/2024
Association Mayotte Nature Environnement	NICOL	Fabrice	Président	21/11/2024

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
Association Mayotte Nature Environnement	FORESTIER	Florent	Secrétaire général	21/11/2024
Association Plan Bleu	DEGRON	Robin	Directeur « Plan Bleu »	08/10/2024
Association Robin des Bois	BONNEMAINS	Jacky	Fondateur et animateur	14/02/2025
Association Robin des Bois	NITHART	Charlotte	Présidente	14/02/2025
BRGM	DUPUY	Alain	Directeur de Programme Scientifique "Gestion des Eaux Souterraines"	09/01/2025
CEREMA	DUPRAY	Sébastien	Directeur de la Direction technique risques, eaux et mer	26/11/2024
CEREMA	FONTAINE	Anne	Directrice de projets Port de plaisance et base nautique d'avenir	26/11/2024
CEREMA	FERAY	Christine	Responsable du secteur d'activités « Eau et gestion des milieux aquatiques »	26/11/2024
CGAER	BADUEL	Valérie	Présidente de la section « Forêts, ressources naturelles et territoires »	02/12/2024
CGAER	BASTOK	Janique	Présidente du groupe de travail « Eau »	02/12/2024
CGE (Bercy)	PAVEL	Ilarion	Expert en physique	24/09/2024

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
Chambres agriculture France	DEGENNE	LAURENT	Membre du bureau, en charge de l'eau	13/05/2025
Chambres agriculture France	SIESTRUNK	Garance	Chargée de mission gestion de l'eau	13/05/2025
Chambres d'agriculture France	BOILLET	Juliette	Adjointe, service agro-environnement	13/05/2025
CNRS ; institut européen des membranes	CORNU	David	Directeur (Professeur ENC Montpellier)	29/10/2024
CNRS ; institut européen des membranes	BECHELANY	Mikhael	Directeur de Recherche CNRS	29/10/2024
CNRS ; université de Montpellier	MENDRET	Julie	Maître de Conférences	29/10/2024
CNRS. Observatoire océanographique de Banyuls	DESDEVISES	Yves	Directeur	17/01/2025
Collectivité de St Barthélémy	LEDEE	Xavier	Président, avec : Marie-Angèle AUBIN (élue, Pte commission environnement), Franz DILLARD (resp service environnement),	06/02/2025
Collectivité de St Barthélémy	BASSET	Olivier	Directeur de cabinet du président de la collectivité	06/02/2025
Collectivité de St Barthélémy	GREAU	Sébastien	Directeur réserve naturelle	07/02/2025
Collectivité de St Barthélémy	LANGERI	Laureline	Chargée de mission	06/02/2025

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
Collectivité de St Martin	MUSSINGTON	Louis	Président	03/02/2025
Collectivité de St Martin	SANCHEZ	Raphaël	Président de l'EEASM	03/02/2025
Collectivité de St Martin	CHANCE	Gloria	Cheffe du Service Patrimoine Naturel et Biodiversité	03/02/2025
Collectivité de St Martin	RICHARDSON	Hakeem	Chef du Service Cycle de l'Eau	03/02/2025
Commission UE. DG ENV	VALLET	Bertrand	Unité B1. Policy officer Responsable des projets liés à l'eau	16/12/2024
Commission UE. DG ENV	GARD	Fanny	Unité C2 - Protection du milieu marin et eaux propres	16/12/2024
CRNS. Observatoire océanographique de Banyuls	ROMANS	Pascal	Head of aquariology research department	15/01/2025 17/01/2025
DEAL Guadeloupe	KREMER	Olivier	Directeur	03/12/2024
DEAL Guadeloupe	GREZILLER	Bruno	Inspecteur de l'environnement	03/12/2024
DEAL Guadeloupe; unité St Martin et St Barth	ANDRE	Clara	Chargée de mission eau et biodiversité	03/02/2025

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
DEAL Guadeloupe ; unité St Martin et St Barth	MIKSA	Karim	Chef d'unité	03/02/2025
DGE (Bercy)	BRAGA	Carla	Chef de projet eau et industrie	11/12/2024
DGE (Bercy)	BERTHET	Sandrine	Déléguée à la transition écologique	11/12/2024
DGE (Bercy)	DOSSETO	Edouard	Directeur de projet transition écologique	11/12/2024
DGPE/SDPE	CAMPISTRON	Marie-Luce	Adjointe au Sous-Directeur Performance environnemen- tale	08/04/2025
DGPE/SDPE/BESEC	DAVID	Emilie	Chargée de mission gestion quantitative de l'eau Bureau de l'eau, des sols et de l'économie circulaire	08/04/2025
DGS	MERLO	Mathilde	Cheffe du bureau de la qualité de l'eau	14/11/2024
DGS	MONTI	Laurie	Chargée de mission (matériaux en contact avec l'eau et procédés de traitement de l'eau)	14/11/2024
EDF Saint-Barthélemy et Saint- Martin	GILLOT	Pierre-Yves	Responsable	03/02/2025
Entreprise CREOCEAN	FACON	Mathilde	Cheffe de projet (Réunion)	20/11/2024

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
Entreprise CREOCEAN	ETEVE	Betty	Chargée de projet (Montpellier)	20/11/2024
Entreprise DESALTIS	MORILLON	Michel	Directeur exécutif	14/10/2024
Entreprise ENGIE	JAEGERT-HUBER	Loïc	Directeur régional Afrique du nord	30/01/2025
Entreprise OSMOSUN	THERRILLION	Maxime	Responsable du développement	08/11/2024
Entreprise RELLUMIX	DOMBROSWSKI	Frédéric	Président	03/12/2024
Entreprise RELLUMIX	AMARIR	Fatima	Directrice du développement et des relations institutionnelles	03/12/2024
Entreprise RELLUMIX	DOMBROWSKI	Thomas	Spécialiste secteur eau	03/12/2024
Entreprise SAUR. St Martin	NICOLAS	Mélissa	Directrice de la SAUR St Martin	04/02/2025
Entreprise SAUR. St Martin	NARCY	Christophe	Responsable de l'usine de dessalement de Galisbay (St Martin)	04/02/2025
Entreprise SEAWARDS	MONTCOUDIOL	Hubert	Co-fondateur	28/10/2024
Entreprise SIDEM. Ile de St Barthélemy	CANTON	Gérard	Expert	06/02/2025

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
Entreprise SLCE	GURY	Benjamin	Directeur général	12/02/2025
Entreprise SLCE	BEN SMA	Majdi	Ingénieur commercial	12/02/2025
Entreprise SUEZ	BAZIRE	Arnaud	Directeur Général Suez Eau France	05/11/2024
Entreprise SUEZ	DUPRAZ	Philippe	Directeur Grands projets Suez Eau France	05/11/2024
Entreprise SUEZ	FABACHER	Florian	Référent Ressource en eau et biodiversité Suez Eau France	05/11/2024
Entreprise SUEZ	FARCY	Rudy	Directeur de projet stratégie Suez Eau France	05/11/2024
Entreprise SUEZ	REIZINE	Stanilas	VP Energy	05/11/2024
Entreprise SUEZ	SIMON	Marc	Directeur Grands projets stratégiques	05/11/2024
Entreprise SUEZ	TREAL	Yvan	Directeur coordination commerciale Suez Engineering construction Administrateur « international Desalination and Reuse Association »	05/11/2024
Entreprise SUEZ	BERTRAND	Sophie	Directeur coordination commerciale Suez Engineering construction	05/11/2024

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
Entreprise SUEZ	VINCENT	Rodolphe	Responsable Affaires publiques Eau Suez	05/11/2024
Entreprise SUEZ	CADRAS	Jean-Yves	Directeur développement pour la division Eau	28/01/2025
Entreprise SUEZ	DARRIET	Jean-Pascal	DG LYDEC	28/01/2025
Entreprise SUEZ	VAUTHIER	Benjamin	Directeur général de la branche nord-africaine	28/01/2025
Entreprise SUEZ ANZ (Australie)	TAUVRY	Julien	VDP plant director	08/04/2025
Entreprise SUEZ Australia & New Zealand	CLARKE	Stephanie	VP Growth & innovation	08/04/2025
Entreprise VEOLIA	PETIT	Ivy	Directrice marketing, Direction Business support & performance	03/12/2024
Entreprise VEOLIA	CREANGE	Carole	Expert technique senior eau potable et dessalement, Direction Business support & performance	03/12/2024
Entreprise VEOLIA	BALIAN	Mathieu	Responsable des services SIDEM	03/12/2024
Entreprise VEOLIA	POUSSADE	Yvan	Water Reuse Chef de produit Direction Business support & performance	03/12/2024
Entreprise VEOLIA	HUMBERT	Hugues	Directeur technique Direction Business support & performance	03/12/2024

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
Entreprise VEOLIA	LAMBAOUI	Faouzi	Directeur des relations institutionnelles	23/01/2025
Entreprise VEOLIA	BOURDEAUX	Philippe	Directeur Afrique, Proche et Moyen-Orient	23/01/2025
Espagne	ZARZO MARTINEZ	Domingo	Director de proyectos estrategicos y relaciones institucionales	09/01/2025
Espagne	CASTELAO	Ignacio	Deputy to CEO	09/01/2025
Espagne. Agence Catalane de l'eau	ARMENTER	Josep Lluís	Directeur	14/01/2025
Espagne. Agence Catalane de l'eau	MOLIST	Jordi	Directeur de l'approvisionnement en eau	14/01/2025
Espagne. Agence Catalane de l'eau	MONTSE	Alomà	Cheffe de la communication et RRII	14/01/2025
Espagne. Consulat de France à Barcelone	LIJOUR	Raphaëlle	Consule générale adjointe	14/01/2025
Espagne. Usine de dessalement de Barcelone	MIGUEL	Carlos	Directeur	14/01/2025
Espagne. Usine de dessalement de Barcelone	HERNANDEZ	Liai	Responsable de la communication et des relations institutionnelles	14/01/2025
FP2E	COLAS	Aurélie	Déléguée générale	17/01/2025

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
FP2E	BALDACINI	Claire	Conseillère affaires publiques	17/01/2025
FP2E	PIERONNE	Pierre	Référent qualité eau SUEZ	17/01/2025
FP2E	RAGUENES	Isabelle	Référent traitement eau potable VEOLIA	17/01/2025
FP2E	BLANCHET	Frédéric	Commission scientifique VEOLIA	17/01/2025
FP2E	FABACHER	Florian	Développement durable SUEZ	17/01/2025
France Stratégie	ARAMBOUROU	Hélène	Adjointe au directeur du département développement durable et numérique	09/01/2025
IFREMER	LE PIVERT	Olivier	Délégué à l'appui aux politiques publiques	07/11/2024
IFREMER	COMPERE	Chantal	Directrice scientifique	07/11/2024
IGEDD	DEBRIEU-LEVRAT	Céline	Chargée appui plan eau Mayotte	27/09/2024
IGEDD	SCHMITT	Alby	Superviseur	03/10/2024
Ile de Sein	FOUQUET	Didier	Maire	24/01/2025

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
Ile de Sein	COÏC	Alain	Agent municipal responsable de la production et distribution de l'eau	24/01/2025
Ile de Sein	SPINEC	François	Conseiller municipal	24/01/2025
INRAE Explore2	SAUQUET	Eric	Directeur de recherche (responsable scientifique du projet Explore 2)	19/11/2024
Maroc. AFD	OURBAK	Timothée	Chef du pôle ressources naturelles	28/01/2025
Maroc. AFD	LAAOUMRI	Taha	Chargé de mission eau, assainissement et agriculture	28/01/2025
Maroc. Ambassade de France	LECOURTIER	Christophe	Ambassadeur de France	30/01/2025
Maroc. Ambassade de France -	BEGOC	Sébastien	Adjoint au chef du service économique régional	28/01/2025
Maroc. Ministère de l'agriculture Service de suivi et régulation des PPP en irrigation	OUDRHIRI	Salma	Cheffe de service de suivi et régulation des PPP	30/01/2025
Maroc. Ministère de l'agriculture - Service planification et suivi des ressources hydro-agricoles	KADBI	Yassmina	Cheffe de service	30/01/2025
Maroc. Ministère de l'agriculture - Service planification et suivi des ressources hydro-agricoles	ELGUENOUNI	Maroua	Ingénieure	30/01/2025
Maroc. Ministère de l'agriculture - Direction de l'irrigation et de l'aménagement de l'espace agricole	BELGHITI	M'hamed	Directeur adjoint	30/01/2025

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
Maroc. Ministère de l'équipement et de l'eau	RAJEL	Rachid	Direction générale de l'hydraulique. Chef de la division planification de l'eau	28/01/2025
Maroc. Ministère de l'équipement et de l'eau	EL WARDI	Jihane	Direction générale de l'hydraulique. Cheffe du service des eaux non conventionnelles	28/01/2025
Maroc. Ministère de l'équipement et de l'eau	KADA	Narjis	Direction générale de l'hydraulique. Cheffe du service coopération	28/01/2025
Maroc. Ministère de l'équipement et de l'eau	HMIDANI	Abdelhamid	Direction générale de l'hydraulique. Ingénieur division planification	28/01/2025
Maroc. Mission économique	TOUSSAINT	Vincent	Chef du service économique régional	09/12/2024
Maroc. Mission économique	AZMINE-AYOUT	Emma	Conseillère développement durable Service économique régional de Rabat	09/12/2024 Du 28/01/2025 au 30/01/2025
Maroc. Office national de l'électricité et de l'eau potable	HAMANE	Tarik	Directeur général	30/01/2025
Maroc. Office national de l'électricité et de l'eau potable	SERRAJ	Mohammed	Directeur central du pôle développement	30/01/2025
Mayotte. ARS	DJABOUR	Fatiha	Directrice du département Santé, avec Saïd-Omar NAS-SUR (resp. Eau-Alimentation) et Natacha METAYER (cellule protection de la ressource)	05/03/2025
Mayotte. Associations environnementales	FORESTIER CARPENTIER	Florent Michel	Mayotte Nature Environnement Naturaliste de Mayotte	
Mayotte. Conservatoire du littoral	AMIOT	Jérémy	Responsable de l'antenne de Mayotte	05/03/2025

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
Mayotte. DEAL	JOSSERAND	Jérôme	Directeur ; avec : Frédérique TERZAN (adj. Au directeur), Christophe TROLLE (directeur adjoint), Jean-François LEROUX (chef de service), Samuel CEUNEBROEK (chef d'unité), Louise GOGIBU (chargée de mission)	03/03/2025
Mayotte. Electricité de Mayotte	MAGONA	Echat	Directrice relations territoriales, avec Ibrahim SOULAIMANA et Toihis ELANRIF	05/03/2025
Mayotte. Elus	YOUSOUFFA	Estelle	Députée	18/03/2025
Mayotte. Elus	BAMANA	Anchya	Députée	03/04/2025
Mayotte. Préfecture	BIEUVILLE	François-Xavier	Préfet, avec Yves Kocher, expert de haut niveau sur l'eau	06/03/2025
Mayotte. LEMA	ABOUBACAR	Ibrahim	DGS, avec Steeves GUY, directeur.	04/03/2025
Mayotte. Parc marin	LEPEIGNEUIL	Orianne	Chargée de mission	03/03/2025
Mayotte. Office de l'eau	NADJEDIN	Sidi	Président de l'office et conseiller départemental, avec Mohammed ISSOUF, préfigurateur de l'office.	05/03/2025
Mayotte. SMAE	FOURNIAL	Françoise	Directrice de l'usine de Petite Terre, avec François IEMOLINI (responsable production) et son équipe	03 et 04/03/2025

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
MTE. Direction Eau et Biodiversité (DEB)	METAYER	Marie-Laure	Adjointe au Directeur	11/10/2024
MTE. Direction Eau et Biodiversité (DEB)	KAMIL	Isabelle	Sous-directrice	11/10/2024
MTE. Direction Eau et Biodiversité (DEB)	MOURER	Matthieu	Adjoint à la sous-directrice	11/10/2024
MTE. Direction Eau et Biodiversité (DEB)	NICOLAS	Véronique	Cheffe de bureau	11/10/2024
MTE. Direction générale de la prévention des risques (DGPR)	RIGAIL	Anne-Cécile	Cheffe du service des risques technologiques	09/07/2025
OCP Green Water	ZNIBAR	Ahmed	Directeur général	29/01/2025
OCP Green Water	ABOUSSALHAM	Othman	Directeur des opérations	29/01/2025
OCP Green Water	HOUSNI	Lamia	Head of business development	29/01/2025
OI Eau	TARDIEU	Eric	Directeur général	15/01/2025
OI Eau	FARKHANI	Yannis	Formateur eau potable	15/01/2025
Parc naturel marin du Golfe du Lion	PALLARES	Serge	Président	15/01/2024

Organisme	Nom	Prénom	Fonction	Date de rencontre
Parc naturel marin du Golfe du Lion	DUMONTIER	Marc	Chef de service ingénierie	15/01/2024
Perpignan Métropole	VILA	Robert	Président	15/01/2025
Port Leucate	JOUANAUD	Carine	Directrice, avec FRATH Stéphane, maitre de port	15/01/2025
Port St Cyprien	BERLIAT	Frédéric	Directeur, et Sébastien FIGUERES, maître de port	15/01/2023
Port Vendres	HERVIEU	Cyril	Directeur général adjoint	03/01/2025
Port Vendres	CARBONNET	Mathieu	Responsable technique du port	16/01/2025
Préfecture des Pyrénées Orientales	PORTERO-ESPERT	Christine	Directrice du plan résilience pour l'eau	16/01/2025
St Martin. Réserve naturelle nationale	CHALIFOUR	Julien	Directeur scientifique	05/02/2025
Victoria desalination plant (Australie)	KEEBLE	Rowan	Senior manager	08/04/2025
Victoria desalination plant (Australie)	OGILVIE	Andrew	Director	08/04/2025

Annexe 12. Glossaire des sigles et acronymes

Acronyme	Signification
AEMET	Agence météorologique nationale
AEP	Alimentation en eau potable
AFD	Agence française de développement
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ANZECC	Australian and New Zealand environment and conservation council
ARS	Agence régionale de santé
AWC	Artificial water channel
BdT	Banque des territoires
BPI FRANCE	Banque publique d'investissement France
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières
CAPEX	Capital expenditure
CERFA	Centre d'enregistrement et de révision des formulaires administratifs
CESE	Conseil économique, social et environnemental
CGAAER	Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux
CNPN	Centre national de la propriété forestière
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CREOCEAN	Compagnie de recherche et d'exploitation des océans
DDT(M)	Direction départementale des territoires (et de la mer)
DEALM	Direction de l'environnement, de l'aménagement, du logement et de la mer
DEB	Direction de l'eau et de la biodiversité
DESALDATA	Base de données sur le dessalement
DGCL	Direction générale des collectivités locales
DGEC	Direction générale de l'énergie et du climat
DGPR	Direction générale de la prévention des risques
DGS	Direction générale de la santé
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
DSF	Document stratégique de façade
DSP	Délégation de service public
E.A.U.	Emirats arabes unis
EDF	Electricité de France
EDR	Electrodialyse réversible
EEASM	Etablissement des eaux et de l'assainissement de Saint Martin
EMODNET	European marine observation and data network
ENR	Energies renouvelables
EPCI	Etablissement public de coopération intercommunale

Acronyme	Signification
FEDER	Fonds européen de développement régional
GCD ALLIANCE	Global carbon dioxide initiative
gCO ₂ eq	Grammes de co ₂ équivalent
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GWI	Global water intelligence
HT	Haute tension
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
IDA	International desalination association
IFC	International finance corporation
IFREMER	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
IGEDD	Inspection générale de l'environnement et du développement durable
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
IOTA	Installations, ouvrages, travaux, activités
IWP	Independent water project
KSA	Kingdom of Saudi Arabia
LEMA	Les eaux de Mayotte (syndicat mixte)
LIFE	L'instrument financier pour l'environnement
MARPOL	Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires
MED	Distillation à multiples effets
MESR	Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
MIT	Massachusetts institute of technology
MLD	Minimum liquid discharge
MSF	Distillation par détentes successives
MT	Moyenne tension
NA	Non applicable
NMD	Nouveau modèle de développement
NOTRE	Nouvelle organisation territoriale de la république
OCP	Office chérifien des phosphates
OFB	Office français de la biodiversité
OI	Osmose inverse
OIEAU	Office international de l'eau
ONEE	Office national de l'électricité et de l'eau potable
ONU	Organisation des nations unies
PACA	Provence-Alpes-Côte d'azur
PNACC	Plan national d'adaptation au changement climatique
PDAIRE	Plans directeurs d'aménagement intégré des ressources en eau
PEHD	Polyéthylène haute densité
PFAS	Per- and polyfluoroalkyl substances

Acronyme	Signification
PME	Petite et moyenne entreprise
PNE	Plan national de l'eau
PPE	Programmation pluriannuelle de l'énergie
REUT	Réutilisation des eaux usées traitées
RO	Reverse osmosis
SAGE	Schéma d'aménagement et de gestion des eaux
SAR	Schéma d'aménagement régional
SARA	Société anonyme de la raffinerie des Antilles
SDAEP	Schéma départemental d'alimentation en eau potable
SDAGE	Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux
SIDEM	Société internationale de dessalement
SM	Syndicat mixte
SMAE	Syndicat mixte d'aménagement et d'équipement
SMVM	Syndicat mixte de la vallée du Maroni
SRADDET	Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires
SRM	Sociétés régionales multi-services
STEP	Station de traitement des eaux usées
STEREAU	Système de traitement des eaux usées
TAC	Teneurs en sels minéraux
TEXEP	Traitement des eaux usées par évaporation
TRACC	Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique
UAE	United Arab Emirates
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
US EPA	United states environmental protection agency
USD	United states dollar
VC	Compression de vapeur
VIRO	Voltage induced reverse osmosis
ZLD	Zero liquid discharge
ZNIEFF	Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique



[Site internet de l'IGEDD :](#)
[« Les rapports de l'inspection »](#)