

Ressources de substitution aux nappes profondes
Projet de champ captant des Landes du Médoc
Note concernant le dessalement d'eau de mer

Définition

Le dessalement d'eau de mer est une technologie consistant à retirer les sels contenus dans l'eau de mer. L'objectif est de rendre l'eau de mer conforme à des critères physico-chimiques, par exemple dessaler l'eau de mer pour la rendre potable pour la consommation humaine.

L'eau de mer est en général salée à environ 35 g/L.

Exposé des motifs

Lors des réunions d'échanges sur le projet de champ captant des Landes du Médoc a été plusieurs fois évoquée la production d'eau potable par dessalement de l'eau de mer, cette technologie étant présentée par certains acteurs comme une alternative au champ captant.

La solution du dessalement de l'eau de mer n'a jamais été étudiée dans le détail, écartée d'emblée du panel des solutions étudiées du fait de son inadaptation au contexte métropolitain français, sauf circonstances exceptionnelles pour des projets de toute petite capacité (petites îles par exemple), et ce du fait notamment de la consommation en énergie de ce type d'installation.

La présente note vise à apporter quelques éclairages sur cette technologie et préciser les motifs qui expliquent qu'elle n'ait pas été retenue dans le panel des solutions alternatives aux nappes profondes surexploitées.

Synthèse sur le dessalement de l'eau de mer

Le dessalement d'eau de mer est un procédé de production d'eau potable basé sur deux types de technologies : la distillation et l'osmose inverse. Ces techniques, bien que très consommatrices en énergie sont exploitées dans les pays en déficit hydrique et possédant d'importantes réserves d'énergie (pétrole, gaz) ou ayant une capacité de production d'énergie élevée (solaire, éolien).

En Europe, les quelques usines se concentrent dans les pays méditerranéens, l'exemple le plus connu étant l'usine de Barcelone mise en service en 2009 à la suite de la grave pénurie d'eau qui avait frappé la région en 2008. Les alternatives à cette usine étaient le détournement de l'Ebre sur plus de 60 km voire du Rhône sur 316 km (en 2008, Barcelone a dû acheter un million de mètres cubes d'eau à la Société des Eaux de Marseille acheminé par bateau pour un coût de revient de 22 €/m³).

On retrouve quelques exemples d'usines de faible capacité principalement sur des territoires isolés où les autres ressources hydriques sont faibles à inexistantes ; en France on peut citer le cas de Port-Cros et de Belle-Ile qui après quelques années d'exploitation ont fermé leurs usines de dessalement d'eau de mer.

Comparaison des coûts énergétiques des projets

D'un point de vue purement énergétique, pour produire 10 Mm³/an, la technique de l'osmose inverse, qui est la plus fiable et la plus économe en énergie, consommerait 30 GWh/an (soit l'équivalent de plus de 50 ha de champs photovoltaïques) alors que la consommation du projet de champ captant des Landes du Médoc est estimée à 2,75 GWh/an (y compris les coûts de pompage pour transférer l'eau vers l'agglomération bordelaise).

Comparaison des coûts de revient du mètre cube d'eau des projets

Le montant des investissements à consentir pour le dessalement de l'eau de mer, très nettement supérieur à la réalisation d'un parc de 14 forages, n'a pas été étudié dans le détail.

Du point de vue du coût de revient du mètre cube d'eau, on peut comparer :

- celui estimé pour le projet Landes du Médoc du mètre cube livré sur le réseau de Bordeaux Métropole (en incluant les canalisations de transfert vers l'agglomération qui représentent 55% de l'investissement), soit 0,50 €/m³ HT, sans subvention, avec un amortissement conforme aux règles comptables en vigueur, un financement par emprunt sur 20 ans et les coûts de fonctionnement inclus ;
- celui connu au travers des données collectées pour une infrastructure d'une capacité de production de 10 Mm³/an (égale à celle du projet de champ captant des Landes du Médoc) soit entre 1 et 1,4 €/m³ en sortie d'installation, non compris donc les coûts de transfert vers l'agglomération.

Il ressort de cette analyse que le coût de revient du mètre cube d'eau dessalée livré sur le réseau de Bordeaux Métropole serait, en incluant les coûts de transfert pris en compte dans le premier cas et pas dans l'autre, a minima trois fois supérieur à celui du projet de champ captant.

Le sujet est abordé dans cette note uniquement sur l'aspect consommation énergétique qui à lui seul disqualifie ce type de solution. Il n'a notamment pas été examinée la délicate question du rejet des saumures et autres sous-produits du dessalement.

Fait à Bordeaux, le 21 novembre 2018

Annexe 1 - Historique sommaire et technologies utilisées

La distillation est le plus vieux procédé de dessalement. Cette technique provient de l'antiquité, des marins grecs qui l'utilisaient au IIIe siècle av. J.-C. à bord de leurs bateaux, et ce grâce au procédé décrit par Aristote. Ce n'est qu'au XIXe siècle qu'apparut le premier procédé industriel capable de distiller l'eau de mer.

Les différentes techniques

Trois grandes familles de procédés sont utilisées :

- la distillation qui est le procédé historique ;
- l'osmose inverse qui est la technique actuellement la plus installée ;
- l'électrodialyse qui est intéressante pour les faibles concentrations en sels.

Dans tous les cas, **le dessalement produit une saumure dont il faut se débarrasser.**

Osmose inverse

L'osmose inverse est une technique « membranaire », elle repose sur une ultrafiltration sous pression au travers de membranes dont les pores retiennent les sels.

L'osmose inverse nécessite de traiter au préalable l'eau de mer en la filtrant et en la désinfectant afin de la débarrasser des éléments en suspension et des micro-organismes qu'elle contient. Le procédé consiste ensuite à appliquer à cette eau salée une pression suffisante pour la faire passer à travers une membrane semi-perméable : seules les molécules d'eau traversent la membrane, fournissant ainsi une eau douce. Afin de la rendre potable il est parfois nécessaire d'y ajouter des minéraux.

Distillation

Les distillations sont des techniques dites « thermiques » dont le principe général est de chauffer jusqu'à ébullition l'eau de mer pour séparer les molécules d'eau (transformées en vapeur d'eau) et les sels. Il suffit ensuite de condenser la vapeur d'eau ainsi obtenue pour obtenir une eau douce.

La distillation à effet simple (DES)

Ce procédé est mis en œuvre depuis longtemps sur les navires. Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer. La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Un éjecteur (ou une pompe) évacue les gaz incondensables. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure.

Distillation multi flash (MSF)

Ce procédé dit « flash » consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage. Lorsqu'elle atteint une température élevée, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée « flash ». Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus réduite. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. En effet, l'eau d'alimentation circule dans les tubes des condenseurs des différents étages en commençant par le dernier étage où la température est la plus faible, elle est alors préchauffée en récupérant la chaleur de condensation de la vapeur d'eau. Elle est

finaleme nt portée à une température maximale grâce à la vapeur produite par une chaudière ou une centrale de production d'électricité.

Distillation multi-effets

La distillation à effets multiples est moins courante car elle ne permet pas de produire de grandes quantités d'eau douce et son installation est délicate et coûteuse. Mais cette technique permet des économies de l'ordre de 15% à 20% par rapport au multi flash. Le principe, simple, consiste en une association en série de modules évaporateur/condensateur dont la disposition permet de limiter les pertes thermiques et assure une grande faisabilité technique. De plus, ce procédé permet d'optimiser la récupération de la chaleur latente de condensation de l'eau.

Compression de vapeur

Cette technologie est fréquemment utilisée lorsque le site ne dispose pas d'autre source d'énergie que l'électricité. La capacité unitaire varie de 20 à 2 500 m³/j. La compression des buées apporte l'énergie nécessaire au système. Pour le démarrage, il est nécessaire de créer les premières buées par une série de résistances chauffantes. Afin de réduire la consommation électrique, deux échangeurs à plaque installés sur l'entrée eau de mer récupèrent les calories avant évacuation du distillat et de la saumure. La consommation électrique sur ce type de système varie de 8 à 25 kWh/m³ évaporé en fonction de la taille de l'unité.

Distillation par dépression

Ce système est basé sur le fait que la température d'évaporation dépend de la pression. Il fournit une eau très pure avec un coût énergétique relativement faible. Il est utilisé pour de petites unités.

Distillation par four solaire

Le four solaire concentre en une zone restreinte les rayons du soleil, grâce à un miroir parabolique, pour porter à haute température l'éléme nt qui contient l'eau destinée à être évaporée.

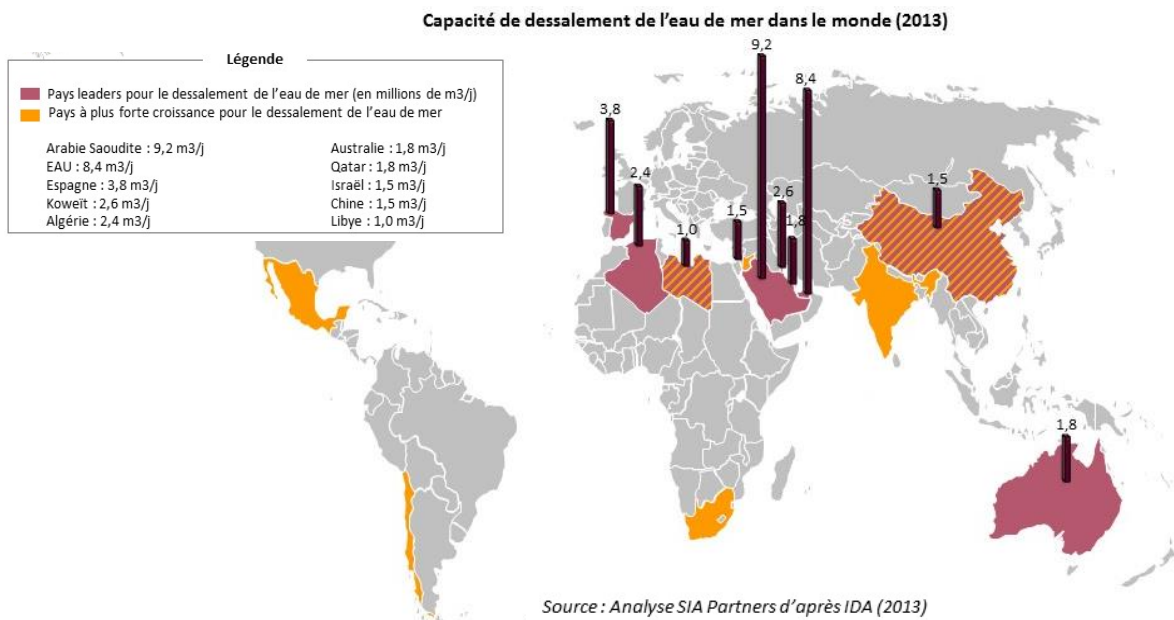
Électrodialyse

En appliquant un courant électrique les ions migrent vers les électrodes, ce qui permet de séparer les sels des molécules d'eau. Ce système est rentable pour les faibles concentrations, l'énergie à mettre en jeu dépend de la concentration en sel.

Annexe 2 - Le dessalement dans le monde et en France métropolitaine

Le dessalement dans le monde

En 2017, 150 pays à travers le monde disposaient d'infrastructures permettant de transformer l'eau de mer en eau douce. Cependant, le marché du dessalement demeure extrêmement concentré dans certaines zones géographiques et quelques pays disposent de la grande majorité des capacités mondiales. En 2013, les dix pays les plus équipés en usines de dessalement de l'eau de mer cumulaient environ 40% des capacités mondiales de dessalement.



Si les usines thermiques sont principalement concentrées dans les pays producteurs d'hydrocarbures et que l'osmose inverse s'est rapidement imposée comme la solution préférentielle dans la majorité des projets récents, c'est notamment grâce à la plus faible consommation énergétique de cette dernière, permettant de diminuer considérablement ses coûts d'exploitation. En Arabie Saoudite, premier pays producteur d'eau dessalée au monde avec 5,5 millions de mètres cubes traités par jour (soit 60% de l'eau douce consommée dans le royaume), la répartition des technologies est équilibrée. Néanmoins, la consommation énergétique demeure colossale. La *Saline Water Conversion Corporation* évoque un besoin équivalent à 350 000 barils de pétrole par jour pour assurer la conversion d'eau salée en eau douce. Ces besoins massifs d'approvisionnement en énergie impliquent une dépendance des technologies de désalinisation envers les énergies fossiles ce qui pèse considérablement sur le coût de ces dispositifs.

Le dessalement en France métropolitaine

En France métropolitaine il n'existe que des usines de dessalement de faible capacité. Elles sont exploitées dans les endroits vulnérables comme les îles où l'alimentation en eau potable est sensible et en faible quantité tant pour les ressources superficielles que pour les ressources souterraines.

Exemple d'usine de dessalement installée en France métropolitaine :

- Belle-Ile-en-Mer (installée en 2006, abandonnée en 2012)
- Port-Cros (installation d'un complexe d'osmose inverse en 1972, plus exploitée actuellement)
- Ile d'Houat (inaugurée en 1972, exploitée jusqu'en 1993 et démontée en 1998)

Annexe 3 - Eléments technico-économiques - Besoins en énergie

Actuellement, la technique en plein essor est l'osmose inverse, elle permet des coûts énergétiques moindres et présente une grande fiabilité. Cette technique représente aujourd'hui la moitié des parts de marché, le reste étant réparti entre les différentes techniques thermiques.

Analyse comparative des différentes technologies de dessalement
(données 2013)

Type de dessalement	Technologie	En % des usines installées	Taille moyenne des usines (m ³ /jour)	Consommation énergétique (kWh/m ³)	Coût moyen de l'eau produite en fonction des volumes traités (\$US/m ³)
Dessalement par distillation thermique	Multi-stage flash (MSF)	~ 25%	50 000 - 70 000	19,6 - 27,3	23 000 – 528 000 m ³ /jour : 0,56 - 1,75
	Multi-effect distillation (MED)		5 000 - 15 000	14,5 - 21,4	91 000 – 320 000 m ³ /jour : 0,52 – 1,01 12 000 – 55 000 m ³ /jour : 0,95 – 1,5 < 100 m ³ /jour : 2,0 – 8,0
	Mechanical vapor compression (MVC)		100 - 3 000	7,0 - 12,0	30 000 m ³ /jour : 0,87 – 0,95 1 000 m ³ /jour : 2,0 – 2,6
	Thermo vapor compression (TVC)		10 000 - 30 000	16,3	
Dessalement membranaire	Osmose inverse (RO)	~ 75%	~ 130 000	2,0 - 4,0	100 000 – 320 000 m ³ /jour : 0,45 – 0,66 15 000 – 60 000 m ³ /jour : 0,48 – 1,62 1 000 – 4 800 m ³ /jour : 0,7 – 1,72
	Electrodialyse (ED)	Phase pilote sur eau de mer	2 - 145 000	2,7 - 5,6 0,7 - 2,5 (faible teneur en sel)	Grande capacité : 0,6 Petite capacité : 1,05

Source : Analyse SIA Partners d'après données ScienceDirect

Energie nécessaire

Une classe importante de centrales thermiques est associée aux installations de dessalement. Celles-ci se trouvent généralement dans les pays arides disposant d'une importante réserve de gaz naturel. Dans ces usines, la production d'eau douce et l'électricité sont des coproduits tout aussi importants.

La technologie la plus employée ces dernières années et adaptée au besoin de 10 Mm³/an est l'osmose inverse notamment du fait de sa faible consommation d'énergie comparativement aux autres procédés.

Avec une consommation énergétique faible de 3 kWh/m³ produit, le besoin énergétique est estimé à 30 000 000 kWh/an soit 30 GWh/an (sur la base d'une production de 10 000 000 m³/an).

Annexe 4 - Estimation de la surface nécessaire dans l'hypothèse de l'alimentation du projet par un parc photovoltaïque

Des données de productivités photovoltaïques sont publiés par [Helio-clim](#), les moyennes mensuelles du littoral Girondin sur la période 2008-2017 sont les suivantes :

kWh/kWc	jan	fév	mar	avr	mai	jui	jui	aou	sep	oct	nov	déc
2008	40	80	90	120	130	140	150	130	110	80	40	40
2009	40	70	120	120	140	150	150	150	130	110	40	40
2010	40	60	110	140	120	140	160	140	130	90	40	40
2011	40	60	110	150	160	150	140	140	120	90	50	30
2012	30	80	120	110	150	140	150	140	120	70	50	30
2013	30	60	100	120	120	130	170	150	100	70	40	40
2014	30	60	110	130	130	160	150	140	130	90	40	30
2015	40	60	90	130	140	150	160	140	110	80	50	40
2016	30	70	100	120	130	130	150	160	120	80	40	40
2017	50	60	100	150	140	130	130	140	110	70	70	40
Moyenne	37	66	105	129	136	142	151	143	118	83	46	37

En considérant la moyenne de productivité solaire, une consommation moyenne de 3 kWh/m³ produit, une productivité de panneaux solaires moyenne de 8 m²/kWc et une production d'eau potable homogène sur l'année, la surface de panneaux solaires nécessaire est la suivante :

	jan	fév	mar	avr	mai	jui	jui	aou	sep	oct	nov	déc
m ²	540 541	303 030	190 476	155 039	147 059	140 845	132 450	139 860	169 492	240 964	434 783	540 541
ha	54	30	19	16	15	14	13	14	17	24	43	54

Selon, ces données, la surface de panneaux nécessaire serait donc d'environ 54 ha pour produire 10 Mm³/an.

Cette moyenne est conforme aux estimations basées sur des exemples de champs photovoltaïques actuellement exploités dans le sud-ouest :

- parc photovoltaïque de Cestas (Gironde) inauguré en 2015 :
 - surface : 230 ha
 - objectif de production moyenne : 350 GWh/an
 - coût : 360 M€
- parc photovoltaïque de Losse (Landes) inauguré en 2011 :
 - surface : 317 ha
 - objectif de production moyenne : 84 GWh/an
 - coût : 250 M€

En appliquant des ratios moyens, la production en électricité de 30 GWh/an nécessiterait une surface comprise entre 20 et 113 ha pour un coût d'installation de production électrique compris entre 31 M€ et 89 M€.

Bibliographie

Site internet d'EDF

Site internet Techniques de l'Ingénieur

Site internet Photovoltaïque.info

ABIES, 2008, - *Centrale photovoltaïque du Garbardan (40) - Etude d'impact sur l'environnement*

Energies & Environnement, 12/01/2017, *Dessalement de l'eau de mer : des évolutions nécessaires pour accompagner l'essor du secteur*

France info, émission du 09/04/2015, *A Belle-Île, le casse-tête de l'eau douce*

MAGDELAINE C., 03/12/2015, notre-planete.info, *La plus grande centrale solaire photovoltaïque d'Europe est française*

MONIER F., L'express du 03/02/2000, *Le Rhône aux portes de Barcelone ?*

MOUSTEAU, 2008, *Le dessalement de l'eau de mer - comment rendre l'eau de mer potable sans nuire à l'Environnement*

PANSIOT N., 13/05/2014, *Port-Cros, île isolée où le ravitaillement est indispensable*, Tara Expéditions

PETITJEAN O., 2009, *La question lancinante de l'approvisionnement en eau de Barcelone*, Partage des eaux

SENGÈS G., Les Echos du 13/06/2008, *Eau : la guerre d'Espagne*

TATA-DUCRU F., 2009, *Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes*, ENGREF et Agence Française de Développement