



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

**AMBASSADE DE FRANCE
EN ESPAGNE**

**SERVICE POUR LA SCIENCE
ET LA TECHNOLOGIE**

LE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER EN ESPAGNE : UN SECTEUR EN REORIENTATION

Juillet - Août 2014

« La mer est salée parce qu'il y a des morues dedans. Et si elle ne déborde pas, c'est parce que la providence, dans sa sagesse, y a placé aussi des éponges » — Alphonse Allais

Rédacteur

AZZI Elias

Relecture et direction

BOUCHET Bertrand,

Conseiller pour la Science et la Technologie

Relecture

ARENE Mathilde,

Chargée de mission scientifique

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les personnes qui ont accepté de répondre à nos questions au cours du mois de juillet 2014. Ces échanges auront permis de mieux cerner les enjeux de l'industrie espagnole du dessalement et du secteur de l'eau en général.

Parmi eux :

- Monsieur Domingo Zarzo, directeur technique de Sacyr* et Valoriza Agua*,
- l'Association Espagnole du Dessalement et de la Réutilisation de l'eau (AEDyR*) par l'intermédiaire de Madame Luz Nogales et Madame Susana Lopez Fuentes,
- le directeur du centre IMDEA Agua* de la communauté de Madrid, Monsieur Eloy García Calvo,
- ainsi que la coordinatrice des programmes de ce centre, Madame Juana Sanz.

Une présentation des entités auxquelles ils appartiennent est faite dans [l'annexe A](#), avec la présentation d'autres principaux acteurs du secteur espagnol. Au fil du texte, une étoile (*) indique la présence du groupe ou de l'entreprise dans cette annexe.

INTRODUCTION

L'eau est une ressource indispensable, et malgré les 71% d'eau qui constituent le globe, à peine 2,5% sont potables. Disposer de réserves d'eau douce ou disposer de moyens de produire sur demande de l'eau potable représente donc un intérêt stratégique.

Malgré des sécheresses et des alertes durant la saison estivale, la France a jusqu'à présent été globalement épargnée par le manque cruel d'eau, en comparaison avec l'Espagne. En effet, le climat espagnol est plus aride et la répartition des ressources hydrologiques est déséquilibrée entre les régions. De plus, les îles Baléares et Canaries constituent des zones isolées, souvent en manque d'eau et pour lesquelles l'approvisionnement en eaux continentales est coûteux. En évoquant également, les épisodes de sécheresses des années 1980-83 et 1990-94 qui ont gravement touché l'agriculture espagnole, on comprend le fort ancrage des problématiques d'eau dans l'industrie, l'enseignement supérieur et la recherche en Espagne.

Face à ce besoin en eau, d'abord dans les îles puis sur le continent, les usines de dessalement d'eau de mer ont commencé à apparaître en Espagne dès les années 1970, en l'absence de législation nationale. En 2004, le programme national **A.G.U.A.** a fait du dessalement une priorité. À ce titre, l'analyse du secteur espagnol du dessalement peut fournir un éclairage utile sur un thème qui fait partie des sept « ambitions » identifiées pour la France par la commission *Innovation 2030* présidée par Anne Lauvergeon.

L'Espagne dispose aujourd'hui de plus de 900 usines de traitement et de dessalement des eaux, toutes catégories et toutes tailles confondues, et près de 380 usines de dessalement d'eau de mer en cours d'exploitation en 2014. En comparaison, la France exploite moins d'une centaine d'usines et on dénombre plus de 17 000 usines dans le monde (Source *IDA/DesalData.com*).

Cela dit, en raison d'une politique du prix de l'eau quelque peu ancienne, de nombreuses installations ne fonctionnent pas au maximum de leurs capacités. En manque de contrats nationaux, les entreprises espagnoles du secteur exportent aujourd'hui leurs technologies, et cherchent à se diversifier en tentant de résoudre les nouvelles problématiques liées à la production d'eau potable loin des régions côtières. Bien que l'industrie du dessalement soit mature, des besoins en R&D existent encore en matière d'optimisation et de réduction des coûts comme en termes d'analyse de l'impact environnemental. Très pluridisciplinaire, la recherche espagnole se répartit sur l'ensemble du territoire et s'effectue en étroite collaboration avec les grandes entreprises du secteur. Malgré la crise économique de ces dernières années, qui a affecté le budget de la recherche, l'Espagne reste un des pays les plus compétitifs en la matière.

Outre une présentation et un bilan de la politique ambitieuse de l'Espagne en matière de dessalement au cours de la décennie 2004-2014, ce rapport vise à présenter les principales pistes de R&D et d'innovation en développement de l'autre côté de la chaîne pyrénéenne. Toutefois, il faut rappeler que le dessalement n'est qu'un des multiples aspects du secteur de l'eau en Espagne : la qualité de l'eau, son acheminement sans pertes, sa consommation raisonnée sont quelques autres aspects que l'Espagne cherche à améliorer.

REMARQUE : Le lecteur initié pourra survoler la première partie posant les bases du dessalement.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	1
INTRODUCTION	2
SOMMAIRE	3
1. GENERALITES TECHNIQUES SUR LE DESSALEMENT	4
1.1. Les méthodes de séparation	4
1.1.1. MED – Multiple-Effect Distillation	4
1.1.2. MSF – Multi Stage Flash Distillation	5
1.1.3. RO –Reverse Osmosis	5
1.1.4. ED & EDI – Electrodialyse et Electrodeionization	6
1.1.5. Autres technologies et récapitulatif	7
1.2. Le processus industriel	7
1.2.1. Captation de l’eau de mer ou des eaux salubres	7
1.2.2. Prétraitement	8
1.2.3. Dessalement	9
1.2.4. Post-traitement et traitement des déchets	9
1.3. Deux exemples d’osmose inverse en Espagne : les usines d’Adeje-Arona et de Llobregat	11
2. ETAT DU SECTEUR ESPAGNOL DU DESSALEMENT	12
2.1. Rappel historique : de l’isolement insulaire au plan national	12
2.1.1. 1960 – 1990 : Développement embryonnaire du secteur	12
2.1.2. 1990 – 2005 : Quinze années de gestation d’un Plan Hydrologique National	12
2.1.3. 2005 – 2013 : Application du programme A.G.U.A en matière de dessalement	14
2.1.4. Effet de la politique espagnole sur les capacités de dessalement	16
2.2. Situation en 2014	17
2.2.1. Les chiffres : nombre, taille et financement des usines	17
2.2.2. Spécificité espagnole : 22% de consommation agricole	18
2.2.3. Surcapacité et prix de l’eau	19
2.3. Les orientations actuelles du secteur	20
2.3.1. A l’international : faire fructifier l’investissement	20
2.3.2. Au niveau national : les terres intérieures & la maintenance	21
3. RECHERCHE ET INNOVATION EN 2014	22
3.1. Durabilité des installations	22
3.2. Réduction du coût énergétique	24
3.3. Valorisation des déchets	25
3.4. L’innovation de rupture	26
CONCLUSION ET PROCHAINS RENDEZ-VOUS	28
REFERENCES & BIBLIOGRAPHIE	29
ANNEXES	30

1. GENERALITES TECHNIQUES SUR LE DESSALEMENT

Le dessalement de l'eau de mer consiste à séparer les différents sels dissouts du solvant. Les premières technologies utilisées industriellement furent des méthodes, dites « thermiques », de distillation. Aujourd'hui, elles restent utilisées au Moyen-Orient principalement. Dans les années 1980, se sont développées les méthodes dites à « membranes » telles que l'osmose inverse et l'électrodialyse, présentant un coût énergétique plus faible, aujourd'hui de 3,5 kWh/m³ d'eau produite en moyenne.

Il existe d'autres techniques plus marginales qui seront rapidement évoquées.

1.1. Les méthodes de séparation

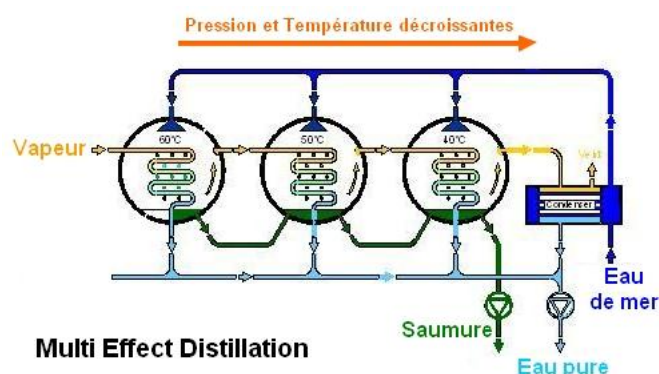
Toutes les méthodes présentent les 4 flux suivants : une entrée d'eau salée, une sortie d'eau pure, une sortie d'eau concentrée en sel (la saumure, principal sous-produit), un flux d'énergie extérieur.

1.1.1. MED – Multiple-Effect Distillation

Un module de distillation à effets multiples est constitué d'une suite de chambres de pression décroissante. La première peut avoir une pression typique de 0,5 bar (ce qui implique une température d'ébullition de l'eau aux alentours de 70-80°C) ; la dernière peut descendre en dessous de 0,2 bar.

L'eau de mer entrant dans la première chambre est chauffée (via le flux d'énergie) : une partie est vaporisée, c'est de l'eau pure. Le reste se condense au bas de la chambre, c'est le sous-produit concentré en sel : la saumure. Tandis que la saumure est transportée vers la chambre suivante où elle se mélange avec la saumure qui y est présente, la vapeur d'eau est quant à elle acheminée à travers une conduite de chauffage vers la deuxième chambre.

Ainsi : cette vapeur d'eau, chauffée par un apport extérieur d'énergie à 80°C, va à son tour permettre de générer de la vapeur d'eau à une température légèrement plus faible (la pression étant plus faible dans cette nouvelle chambre). La nouvelle vapeur d'eau passe dans la troisième chambre ; la vapeur d'eau de la première chambre, elle, est alors évacuée vers le flux de sortie d'eau pure.

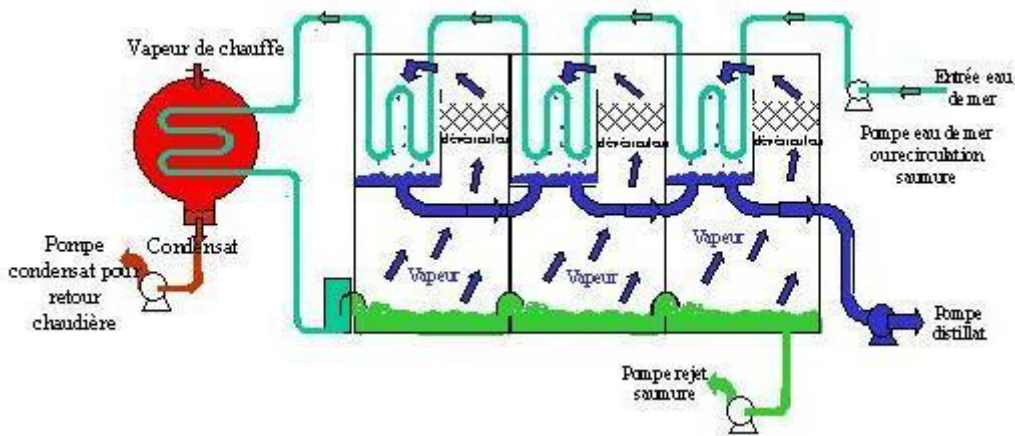


NOTE : consommation électrique équivalente : 8-12 kWh/m³

1.1.2. MSF – Multi Stage Flash Distillation

Cette autre méthode thermique est assez différente de la MED au sens où la vapeur d'eau produite ne sert qu'à préchauffer l'eau de mer du flux entrant avant que celle-ci ne traverse la chaudière où elle est chauffée à 120°C.

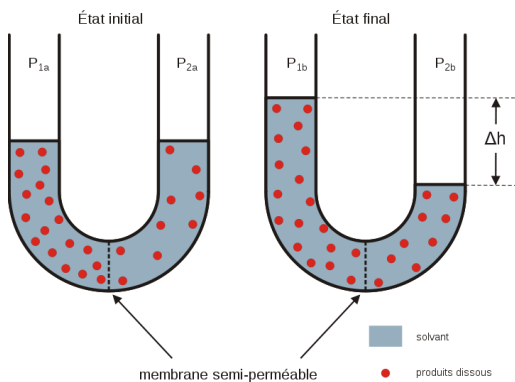
La distillation est dite « flash » car l'eau chauffée à 120°C dans la chaudière est *subitement* libérée dans le premier étage où règne une faible pression : il y a vaporisation d'eau pure. Le reste d'eau salée, plus concentrée, est ensuite libéré dans le deuxième étage où règne une pression plus faible encore, et une nouvelle fraction d'eau est vaporisée.



Le nombre moyen d'étages est de 40 pour cette technologie.

NOTE : consommation électrique équivalente : 15-20 KWh/m³

1.1.3. RO –Reverse Osmosis

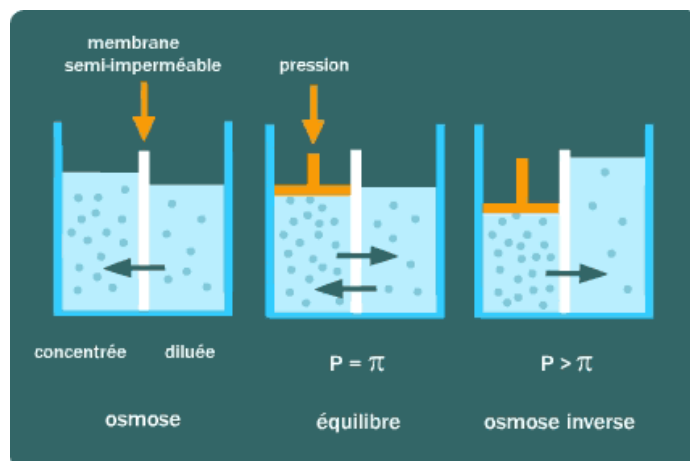


L'osmose inverse (OI), ou *reverse osmosis (RO)*, est une méthode à membrane qui a beaucoup fait parler d'elle. Pour la comprendre, il faut nécessairement parler du phénomène d'osmose « directe ».

L'osmose est le nom donné au phénomène de diffusion du solvant à travers une membrane semi-perméable séparant deux solutions de concentrations en soluté différentes. Le moteur de ce phénomène est la différence de concentrations, ou potentiel chimique, entre les deux compartiments. À l'équilibre, on obtient deux compartiments de même concentration mais de volumes différents. Cette différence de volume est une manière de définir la pression osmotique π qui correspond à la différence de pression hydrostatique entre les deux compartiments ($\rho * g * \Delta h$). Elle s'interprète comme la pression à exercer pour « empêcher » le passage du solvant à travers la membrane.

Si l'on applique une pression P supérieure à la pression osmotique π (dont la valeur peut se calculer en connaissant la concentration des espèces dissoutes), on observe l'osmose inverse, c'est-à-dire la diffusion du solvant en sens inverse : la concentration augmente dans le compartiment où on applique la pression P , la concentration diminue dans l'autre. C'est ainsi que l'on peut produire de l'eau pure en extrayant de l'eau à une solution d'eau salée que l'on comprime fortement.

Les pressions typiques à exercer pour vaincre la pression osmotique sont de l'ordre de 70 bars. C'est là que réside la dépense énergétique du procédé d'osmose inverse.



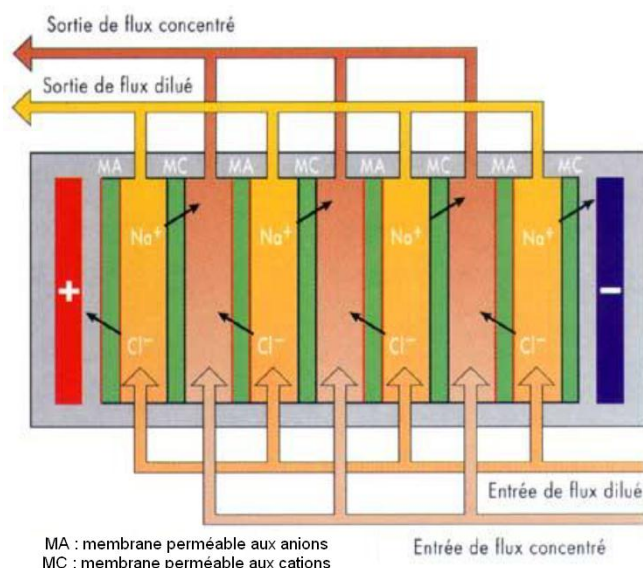
NOTE : Les membranes aujourd'hui utilisées dans l'industrie pour réaliser l'osmose inverse sont appelés des modules en spirale. Leur fonctionnement est expliqué dans diverses vidéos en ligne, notamment [ici](#). Leur durée de vie est estimée à une vingtaine d'années.

NOTE : consommation électrique équivalente : 2-6 KWh/m³ (en 2014)

1.1.4. ED & EDI – Electrodialyse et Electrodeionization

Electrodialyse

Les ions d'un sel dissous dans l'eau, comme le chlorure de sodium par exemple, se déplacent sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide. Les cations sont attirés par l'électrode négative tandis que les anions sont attirés par l'électrode positive.



Dans l'électrodialyse, on intercale alternativement des membranes filtrantes soit imperméables aux anions et perméables aux cations, soit imperméables aux cations et perméables aux anions.

On obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration de sels et d'autres à faible concentration.

Electrodéionisation

L'électrodéionisation est une variante de l'électrodialyse. Elle inclue entre les membranes filtrantes précédentes des membranes échangeuses d'ions qui permettent d'augmenter la conductivité électrique de la solution et facilite ainsi le transport des impuretés.

Ce procédé sert en particulier à la fabrication d'eau « ultra pure » pour l'industrie. (Source : CNRS)

1.1.5. Autres technologies et récapitulatif

Extraction d'eau			Extraction d'ions
via Changement d'état	Mixte	via Membrane	via Membrane
MED MSF SD (Solar Distillation) VC (Vapour Compression) Congélation	MD (Membrane Distillation)	RO FO (Forward Osmosis) <i>MF (μ-filtration)</i> <i>NF (ν-filtration)</i> <i>UF (ultra-filtration)</i>	ED EDI EDR (Electrodialyse Réversible)

Tableau 1 – Récapitulatif des abréviations et classement des méthodes
en gras, les techniques présentées précédemment

Les méthodes de dessalement sont nombreuses, mais l'industrie a naturellement privilégié celles aux coûts les plus faibles. Ainsi, les procédés de congélation ou de compression de vapeur ne sont guère plus utilisés. A l'inverse, l'osmose directe (FO) ou la distillation par membrane (MD) sont des technologies en cours de développement dans les laboratoires du monde. Celles-ci seront abordées dans la dernière partie du rapport, relative à la recherche.

REMARQUE : Quand on parle de dessalement, il s'agit en réalité plus souvent d'une extraction des molécules d'eau et non d'une extraction des sels contenus dans le mélange de départ.

1.2. Le processus industriel

A l'échelle industrielle, plusieurs étapes complémentaires sont nécessaires pour convertir de l'eau non potable en eau potable. Il faut d'abord prélever l'eau en toute sécurité, effectuer un prétraitement notamment pour préserver l'usine et les modules de dessalement, dessaler l'eau, puis la reminéraliser pour la rendre potable. Enfin, il faut aussi s'assurer du relargage des sous-produits, saumure et produits chimiques.

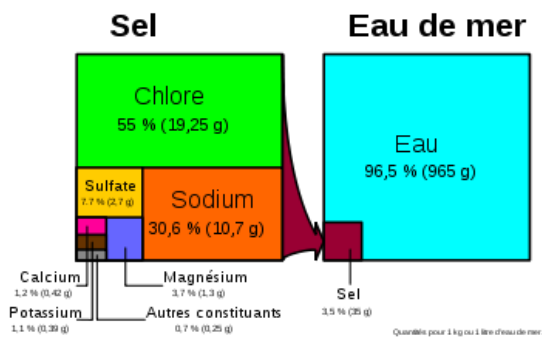
1.2.1. Captation de l'eau de mer ou des eaux salubres

Les eaux du globe peuvent être classées en fonction de leur quantité de solides dissouts (TDS). Les eaux sujettes au dessalement sont bien évidemment l'eau de mer (SW) mais aussi les eaux saumâtres (BW) et les eaux dites résiduelles. Le tableau ci-dessous donne les TDS typiques de chaque classe d'eau, exprimé en ppm (partie par million, soit 1mg de solide dissout par kg d'eau).

Type d'eau	TDS (en ppm)
Eau potable	TDS < 500 ppm
Eaux de rivière	500 ppm < TDS < 3 000 ppm
Eaux saumâtres (Brackish Water)	3 000 ppm < TDS < 20 000 ppm
Eaux de mer (Sea Water)	20 000 ppm < TDS < 50 000 ppm
Saumure (Brine)	50 000 ppm < TDS

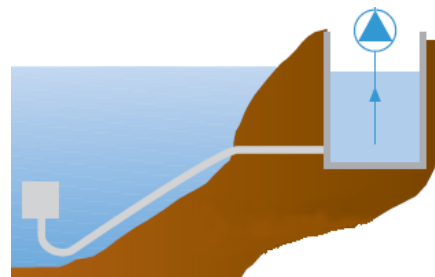
Tableau 2 - Classification des eaux en fonction du total de solides dissouts (Total Dissolved Solids)

Source : IDA – DesalData.com

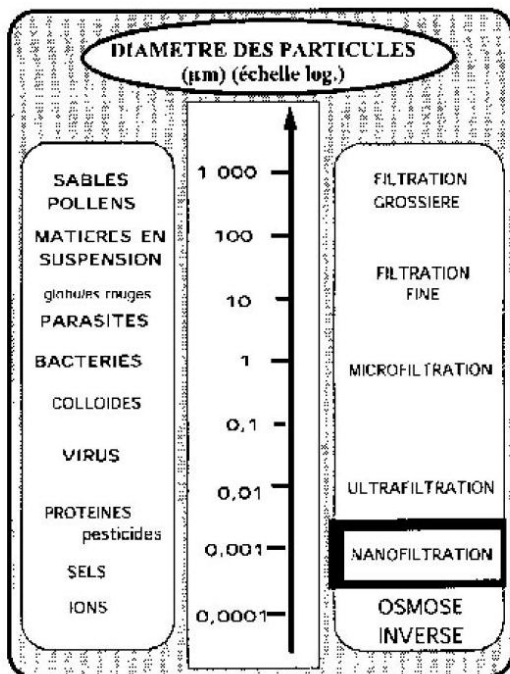


Dans le cas de l'eau de mer, le principal sel dissout est le chlorure de sodium. Aussi, il faut savoir que la salinité de l'eau de mer dépend du lieu et de la profondeur de captation de l'eau, et que cela a une influence directe sur le prix de l'eau en sortie de l'usine. Une usine de dessalement doit donc être construite et dimensionnée pour un type d'eau particulier.

L'eau est captée soit directement dans la mer soit par l'intermédiaire de puits artificiels installés dans le fond marin. Elle est ensuite acheminée par des tuyaux jusqu'à une citerne de stockage à parfois plusieurs kilomètres du point de prélèvement (plus de 3km dans le cas de l'usine de Llobregat, près de Barcelone).



1.2.2. Prétraitement



L'eau de mer prélevée ne peut être injectée directement dans les modules d'osmose inverse : en effet celle-ci contient une variété de particules de taille supérieure à celle des sels qui boucheraient les pores des membranes de dessalement ou endommageraient les canalisations.

Le sable, les matières en suspension, certaines bactéries et virus sont éliminés en faisant passer l'eau de mer dans des unités de filtration, d'abord grossières puis de plus en plus sélectives.

La figure ci-contre précise la correspondance entre procédés de solvo-transfert et taille des particules éliminées.

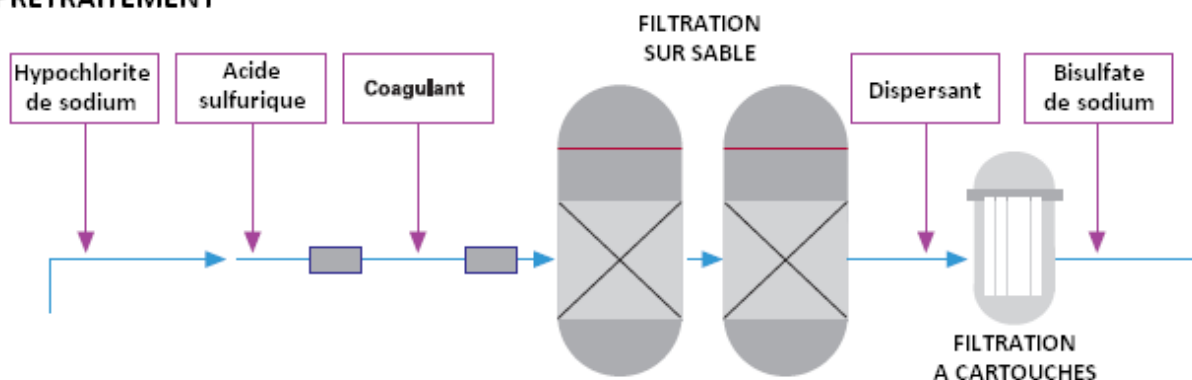
Source : Document Technique FND AE N°14, 2002

[1]

Par ailleurs, des composés chimiques sont ajoutés à l'eau de mer durant la phase de prétraitement :

- Des coagulants avant les différentes filtrations, des dispersants après les filtrations grossières
- Du chlore pour éliminer les organismes vivants et éviter leur prolifération dans l'usine
- Des acides pour contrôler le pH et solubiliser certains sels

PRETRAITEMENT



Source : Institut Espagnol Commerce Extérieur (ICEX), 2007 [2]

1.2.3. Dessalement

L'étape de dessalement est la plus coûteuse en énergie, quelle que soit la méthode de séparation utilisée. C'est pourquoi les méthodes vues en **1.1** cherchent à réutiliser toute l'énergie disponible.

- Dans le cas de l'osmose inverse, la saumure encore à haute pression en sortie des modules est dirigée vers des turbines, dite Pelton, ou bien vers des échangeurs de pression avec le flux d'eau entrant
- Dans le cas des procédés thermiques, la multiplicité des étages fonctionnant à des températures et pressions différentes, permet d'utiliser l'énergie d'un compartiment pour chauffer le suivant par exemple

Cela dit, à l'issue de cette étape, l'eau « pure » est obtenue : au sens où le TDS est alors au moins inférieur à 500 ppm. A noter que la qualité de l'eau est à ce stade indépendante en théorie du processus utilisé mais aussi indépendante de l'usage prévu de cette eau. Autrement dit, on ne dessale pas moins pour l'agriculture que pour la consommation humaine ou l'industrie.

1.2.4. Post-traitement et traitement des déchets

En fonction de l'utilisation future de l'eau dessalée, le post-traitement est différent :

- Quand il s'agit d'un usage industriel, elle est souvent utilisée « pure » voire « ultra-pure »
- Pour l'agriculture ou la consommation humaine, elle doit être reminéralisée et à nouveau désinfectée. La désinfection qui s'effectue en dernier passe toujours par l'ajout de chlore. C'est ce chlore que l'on peut parfois sentir dans l'eau du robinet (qu'elle vienne d'une usine de dessalement ou d'une station d'épuration). La re-minéralisation, quant à elle, peut s'effectuer de diverses méthodes. Elles consistent en l'ajout de différents mélanges de

réactifs plus ou moins coûteux, donnant des eaux de plus ou moins bonne qualité. Ci-dessous, quatre procédés types.

Procédé	Description	Minéraux (en mg.L ⁻¹)	Investissement / Qualité
1	Mélange avec 1% d'eau de mer clarifiée + neutralisation pH	15 Mg, 5 Ca, 125 Na, 220 Cl, 25 SO ₄ pH 7-7.5	Très faible / Moyenne
2	Ajout de CO ₂ + percolation de calcite (CaCO ₃ , MgO) + Na ₂ CO ₃	80 CaCO ₃ pH 7-7.5	Elevé / Bonne
3	Ajout de CO ₂ + percolation de dolomite (CaCO ₃ , MgCO ₃) + Na ₂ CO	80 CaCO ₃ , MgCO ₃ pH 7-7.5	Elevé / Très bonne
4	Ajout de CaCl ₂ + NaHCO ₃	100 CaCO ₃ , 100 Na, 50 Cl pH 7-7.5	Très faible / Moyenne

Tableau 3 – Exemples de procédés de re-minéralisation de l'eau dessalée

Source : www.lenntech.fr

La saumure, de par le volume qu'elle représente, ne peut être stockée : en effet, pour 100L d'eau de mer, l'osmose inverse permet d'obtenir 45L d'eau pure et 55L de saumure en moyenne. Elle doit donc être évacuée, en prenant soin de ne pas mettre en danger l'environnement.

Pour cela, la saumure est en général traitée pour en extraire les produits chimiques qui ont été introduits au cours de la production. Ceux-ci peuvent être valorisés. Puis, la saumure restante est en général reconduite vers la mer où elle est relarguée dans des zones où sa dilution sera favorisée.

NOTE : Le graphique ci-dessous donne à titre informatif une répartition des coûts dans le processus industriel de dessalement par osmose inverse.

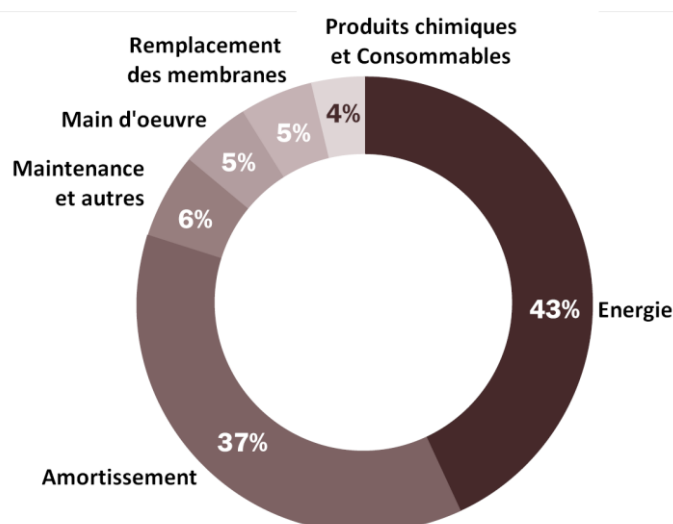


Figure 1 – Répartition des coûts de production d'eau dessalée

Source : Institut Espagnol Commerce Extérieur (ICEX), 2007 [2]

1.3. Deux exemples d'osmose inverse en Espagne : les usines d'Adeje-Arona et de Llobregat

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques principales et fait l'inventaire d'une partie du matériel nécessaire à la production d'eau dessalée, dans le cas de deux usines espagnoles. L'usine d'Adeje-Arona est un exemple d'usine de taille moyenne, dont le nombre est important en Espagne. Celle de Llobregat, dans les environs de Barcelone, est une des plus grandes installations d'Espagne (et donc d'Europe). Elle illustre le fonctionnement de la petite dizaine d'usines dont la capacité dépasse les 100 000 m³/jour.

	<i>USINE D' ADEJE-ARONA (TENERIFE)</i>	<i>USINE DE LLOBREGAT</i>
CARACTERISTIQUES GENERALES		
Construction	2001	2009
Population touchée	50 000 habitants	4,5 millions d'habitants
Procédé	Osmose inverse	Osmose inverse
Production	22 000 m³/jour	200 000 m³/jour
Salinité de l'eau de mer	35 000 mg/L	39 700 mg/L
Salinité de l'eau produite	< 400 mg/L	110 mg/L
PRETRAITEMENT		
Flottation	-	10 bassins de flottation (+ chlorure de fer III)
Filtration	6 filtres horizontaux, Ø = 2.8m	20 filtres verticaux, à 1 bar
	-	20 filtres sous pression, Ø = 4m, L = 18m
Microfiltration	6 filtres à cartouches	20 filtres à cartouches-
OSMOSE INVERSE		
Pompe haute pression	3 turbines (950 KW)	?
Module d'osmose inverse	4 châssis de 82 tubes pressurisés, à 7 membranes soit, 2041 membranes spirales	10 châssis de 188 tubes pressurisés, à 7 membranes soit, 13 160 membranes spirales
Récupération d'énergie	1 turbine Pelton (950 KW)	Echangeurs de pression
POST-TRAITEMENT		
Réactifs	Hypochlorite de sodium Acide sulfurique Bisulfite de sodium Hydroxyde de calcium	Hypochlorite de sodium Carbonate de calcium Dioxyde de carbone

Source : www.atll.cat/es - Site du concessionnaire de l'usine de Llobregat,
www.aqualia-infraestructuras.es – Site du fabricant de l'usine de Adeje-Arona



ADEJE-ARONA



LLOBREGAT



LLOBREGAT

2. ETAT DU SECTEUR ESPAGNOL DU DESSALEMENT

2.1. Rappel historique : de l'isolement insulaire au plan national

D'une manière générale, il faut savoir que l'eau est un bien public dont le prix a toujours été en Espagne l'un des plus bas d'Europe : 1,59€/m³ en moyenne. Par ailleurs, la gestion des ressources hydriques et la distribution de l'eau se fait à l'échelle locale : village, ville, voire région.

2.1.1. 1960 – 1990 : Développement embryonnaire du secteur

Les premiers besoins en eau se sont fait ressentir sur les îles Canaries et Baléares pour des raisons évidentes : ces îles n'ont que peu de ressources propres en eau douce, leurs besoins sont en augmentation constante à cause de l'augmentation de la population, du tourisme et de la qualité de vie, et l'acheminement d'eau douce par bateau depuis le continent est un procédé très coûteux qui ne peut s'envisager que ponctuellement.

Le tableau ci-dessous, tiré du site hispagua.cedex.es, montre les 9 premières usines de dessalement implantées sur les îles espagnoles, sur une période de 25 ans. On remarque que les technologies utilisées sont encore variées. La capacité totale disponible en 1990 dépassait les 100 000 m³/jour.

Année	Lieux	Technologie	Capacité (m ³ /jour)
1964	Lanzarote	MSF	?
1970	Las Palmas I	MSF	20 000
1972	Lanzarote	CV	?
1976	Fuerteventura	BW RO	?
1980	Las Palmas II	MSF	18 000
1984	Lanzarote I	SW RO	500
1986	Lanzarote II	SW RO	7 500
1986	Maspalomas	EDR	20 000
1990	Las Palmas III	SW RO	36 000

Tableau 4 – Premières installations espagnoles de dessalement (grande taille) : implantation insulaire exclusive jusqu'aux années 1990

2.1.2. 1990 – 2005 : Quinze années de gestation d'un Plan Hydrologique National

La première usine de la péninsule ibérique est installée en 1993, à Cabo de Gata, en Andalousie. L'osmose inverse devient alors la technologie majoritairement utilisée.

Année	Lieux	Technologie	Capacité (m ³ /jour)
1993	Cabo de Gata	RO	?
1996	Costa del Sol	RO	45 000
1996	Sureste	RO	25 000
1998	Adeje-Arona	RO	20 000
1999	Bahía de Palma	RO	45 000
2000	Las Palmas-Telde	MED	37 000

Tableau 5 – Liste partielle des installations espagnoles

Parallèlement à l'apparition des premières usines sur le continent et aux sécheresses des années 1990-94, l'Espagne, alors sous le gouvernement socialiste (PSOE) minoritaire de Felipe Gonzalez, commence ses réflexions sur une politique nationale d'eau.

En avril 1993, un avant-projet de **Plan Hydrologique¹ National** (PHN) est rédigé. Dans ce texte, le transvasement d'eau entre les régions est fortement présent. Le Décret Royal 1327/1995, du 28 juillet 1995 [3], admet que les usines de dessalement d'eau de mer et saumâtre connaîtront un développement certain dans le futur, et fixe alors des mesures relatives aux règles d'exploitation des installations, règles qui étaient vagues jusqu'alors. C'est la première loi nationale au sujet du dessalement.

Toutefois, en décembre 1998, le **Livre Blanc** sur l'eau publié par le ministère espagnol de l'environnement, évoque, parmi de multiples aspects, les transvasements d'eau possibles pour le PHN mais *ne fait que mentionner* l'existence en Espagne de technologies de dessalement encore coûteuses bien que nécessaires dans certaines régions.

En 2000, est enfin proposé un premier PHN. Celui-ci est adopté en février 2001 [4], sous le gouvernement de José Maria Aznar et son ministre de l'environnement Miguel Arias Canete, du Parti Populaire (PP).

Objectifs du PHN de 2001 :

- Ne prévoit pas l'augmentation de l'offre et de la demande en eau, mais prévoit un rééquilibrage entre zones excédentaires et déficitaires d'eau quel que soit l'usage (urbain, agricole, industriel)
- Mettre un terme à la surexploitation des aquifères, vrai problème écologique sur le long terme, encouragée par le bas prix de cette ressource.

Principales mesures :

- Réorganisation des bassins hydrologiques pour une meilleure gestion
- Transvasement de l'Ebre : pour faire face aux problèmes d'eau sur le littoral méditerranéen, le projet prévoyait la construction d'un gigantesque canal de transvasement de l'eau de l'Ebre² sur tout le pourtour méditerranéen, capable de transporter 1050 hm³ d'eau par an. A noter que l'Espagne dispose d'une dizaine d'autres canaux de transvasement.



¹**Hydrologie** : science de la terre qui s'intéresse au cycle de l'eau, c'est-à-dire aux échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et son sous-sol. **Hydraulique** : branche de la physique qui étudie la circulation des liquides sous pression.

²**Ebre** : fleuve espagnol, 928 km de long, au sud des Pyrénées, débouchant dans la mer méditerranée au niveau de la Catalogne.

Critique du PHN de 2001 :

La critique, concernant essentiellement le transvasement de l'Ebre, est émise depuis la Catalogne et l'Aragon. Les arguments sont multiples : débit de l'Ebre insuffisant et sujet au changement climatique, solution inefficace lors des périodes de sécheresse du fleuve, mise en danger des écosystèmes de la région et du delta du fleuve, forte consommation énergétique du projet avec une dizaine de stations de pompage, et coût élevé du projet (4,3 milliards d'euros). Par ailleurs, l'Union Européenne s'était opposée au projet et à son financement.

Nouvelle version du PHN :

Le projet prend donc du retard, et en 2004, le gouvernement de José Luis Rodriguez Zapatero (PSOE) nouvellement élu fait amender le PHN : la construction du canal est abrogée, et une autre solution est mise en avant pour l'apport d'eau sur le littoral, la construction d'usines de dessalement d'eau de mer.

Les actions concrètes de cette loi ont été menées dans le cadre du **programme A.G.U.A** (Actions pour la Gestion et l'Utilisation de l'Eau). Elles comprennent :

- Des actions pour *l'augmentation des ressources* en eau (politique d'offre) : dessalement
- Des actions pour une *meilleure gestion de ces ressources* : modernisation de l'irrigation et installations de réutilisation de l'eau
- Des actions pour une *meilleure qualité* de l'eau, la *prévention des inondations* et la *protection de l'environnement*

Le programme stipule clairement que sa portée est nationale, même si les actions qualifiées d'urgentes concernent les bassins hydrologiques méditerranéens. Naturellement, ce nouveau plan a également essuyé la critique du camp politique adverse et le rejet populaire par les provinces du Levant espagnol (voir Tableau 6). Mais l'Union Européenne est favorable au projet qui s'inscrit dans la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE¹) d'octobre 2000.

2.1.3. 2005 – 2013 : Application du programme A.G.U.A en matière de dessalement

Objectifs initiaux :

En termes de dessalement, ce programme qui fut appliqué malgré les critiques, prévoyait le financement et la construction de **51 usines** de dessalement dans les régions méditerranéennes. La capacité de production de ces usines était estimée à **1063 hm³ par an**, soit autant que le projet de transvasement. Le budget prévu initialement était de **3,8 milliards d'euros**.

¹ La **DCE** établit un cadre pour une politique globale communautaire dans le domaine de l'eau. Elle vise à prévenir et réduire la pollution de l'eau et les effets des inondations et des sécheresses, promouvoir son utilisation durable, protéger l'environnement, améliorer l'état des écosystèmes.

Le tableau ci-dessous résume la répartition des moyens et les objectifs initiaux du programme de dessalement, pour les actions urgentes.

Bassins hydrauliques	Capacité supplémentaire	Investissement
du Sud	312 Hm ³ /an	554 millions d'€
de Segura	336 Hm ³ /an	1 336 millions d'€
de Júcar	270 Hm ³ /an	798 millions d'€
de l'Ebre et de Catalogne	145 Hm ³ /an	1 110 millions d'€
Total :	1063 Hm ³ /an	3 798 millions d'€ (33% de fonds européens)



Tableau 6 - Plan **prévisionnel** des actions urgentes du programme A.G.U.A par bassins
Source : Ministerio de Medio Ambiente, feuillet de présentation du programme [5]

Mode opératoire du programme :

Acuamed*, l'entreprise d'état chargée de mener le programme A.G.U.A., a mis progressivement en licitation les différents projets d'initiative publique. Deux types de contrats ont été utilisés : les contrats EPC, de financement et de construction, et les contrats O&M, d'exploitation et de maintenance. Les principales entreprises décrochant les contrats sont les filiales « eau » des grands groupes de BTP espagnol : FCC, Acciona, Ferrovial & Sacyr.

REMARQUE : Les entreprises privées peuvent aussi opter pour un schéma d'exploitation de type concession : l'entreprise construit l'usine sur investissement personnel et subventions puis l'exploite. Le temps d'amortissement des usines d'osmose inverse est estimé à 25 ans. C'est le cas de nombreuses usines de petite et moyenne taille, qui n'entrent pas dans le cadre du programme.

Abandon du programme en 2008 :

En 2008, la fusion du ministère de l'environnement et de celui de l'agriculture, de la pêche et de l'alimentation contribue à donner d'avantage de poids à l'agriculture dans les politiques d'eau. Un certain scepticisme vis-à-vis du dessalement croît alors. Le retard pris dans certains projets, la sous-estimation du coût réel de l'eau comme les débuts de la crise économique conduisent à l'abandon du programme, au sens où il est remplacé par un ensemble de plans qui se donneront jusqu'à 2015 pour finir les ouvrages en cours. **L'annexe B**, du ministère de l'environnement, cartographie les objectifs finaux qui seront prochainement atteints.

Ainsi : des 51 usines programmées, seules **32** seront construites. Elles représentent une capacité de production d'eau de **713 hm³** par an, soit **67%** de l'objectif initial. Selon Angel Cajigas, président patronal de l'Association Technique pour le Traitement de l'Eau (ATTA), l'effort aura été centré sur les usines de grande et moyenne taille.

2.1.4. Effet de la politique espagnole sur les capacités de dessalement

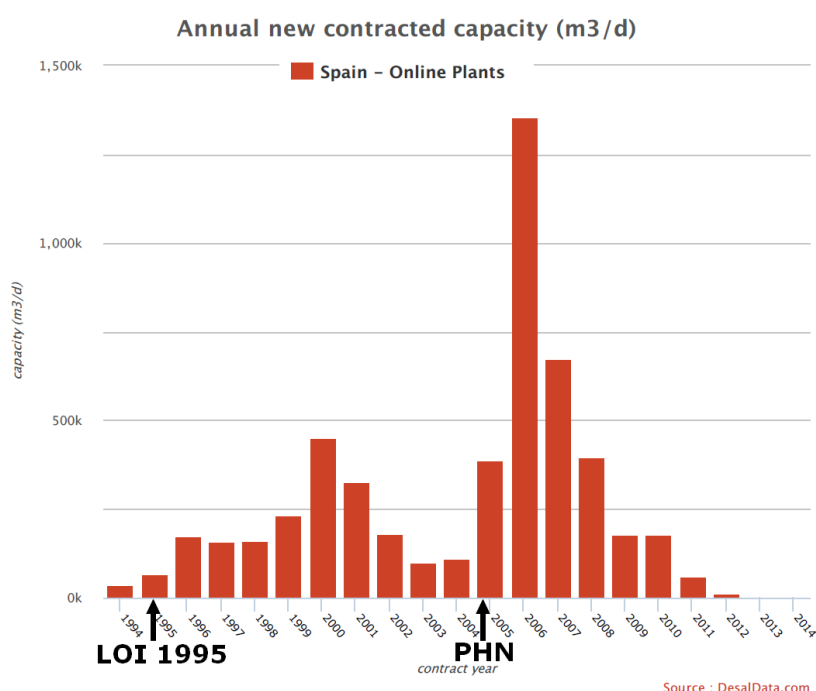


Figure 2 – Nouvelle capacité de production en m³/jour en fonction de l'année de signature du contrat

Le graphique ci-dessus montre l'évolution des capacités de production contractées en Espagne.

Dans une première phase, de 1995 à 2002, le secteur prend de l'importance. L'augmentation sensible centrée autour de l'an 2000, s'explique par la bonne santé de l'économie espagnole, la volonté de développer le tourisme et les premières mesures en matière d'eau. A cette époque, l'Espagne bénéficie déjà de fonds européens pour le développement du secteur : une des usines d'Alicante, 50 000 m³/jour mise en ligne en 2002, a ainsi été financée à 85% par l'Europe. [6]

Le creux de la vague, entre les années 2002 et 2004, est simultané aux discussions politiques et scientifiques du PHN dans sa version où le transvasement de l'Ebre était plus important que le dessalement.

Le vote du PHN seconde version en 2004, et l'application du programme AGUA, font ensuite littéralement exploser la capacité journalière. Puis progressivement, avec les effets croissants de la crise, et finalement l'abandon du projet, l'Etat espagnol met de moins en moins de projets en licitation. L'année 2012 est l'année noire pour les professionnels du secteur. En 2013, a lieu une légère relance due à l'utilisation de fonds européens qui arrivaient à échéance (non visible ci-dessus). [7]

1990	2000	2004	2006	2014
0,1 hm ³ /jour	0,7 hm ³ /jour	1,4 hm ³ /jour	2,0 hm ³ /jour	+ de 3,9 hm ³ /jour

Tableau 7 – Capacité de dessalement installée en Espagne (cumulée)

Source : CEDEX, hispaqua.cedex.es

2.2. Situation en 2014

Alors que les derniers projets du programme AGUA s'achèvent aujourd'hui, cette section fait le point sur les installations actuelles, publiques et privées, leur nature et leur financement. L'essentiel des données est tiré de la base de données internationale (DesalData.com) de l'*International Desalination Association*.

2.2.1. Les chiffres : nombre, taille et financement des usines

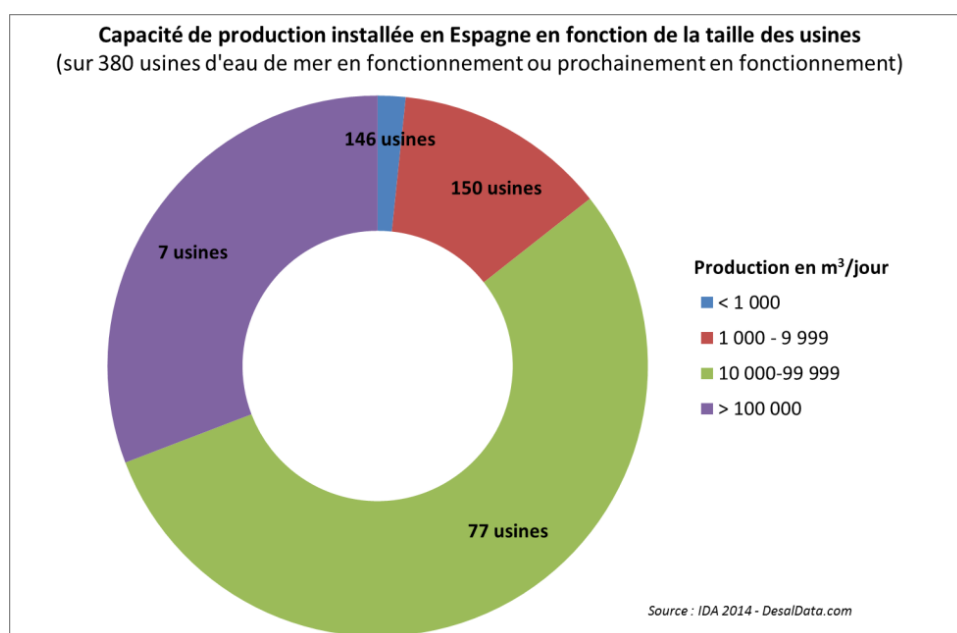
Au sujet du nombre d'usines, les principaux chiffres sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Type d'eau utilisée	Technologie de dessalement	Statut d'exploitation de l'usine	Nb d'usines
Tous	Toutes	Quelconque	964
Tous	Toutes	En ligne / Présumé en ligne	613
Eau de mer	Toutes	En ligne / Présumé en ligne / Construction	380
Eau de mer	Osmose inverse	En ligne / Présumé en ligne / Construction	310

Comme dit en introduction, sur le millier d'usines de traitement des eaux en Espagne, seulement deux tiers sont en exploitation. Le tiers restant fait soit partie du parc des anciennes usines (retirées du service) et usines pilotes, soit n'est pas exploité.

Lorsque l'on s'intéresse au dessalement d'eau de mer spécifiquement (c'est-à-dire 62% des usines de traitement de l'eau), le bon chiffre est de *380 usines en exploitation*. On constate alors l'hégémonie de la technologie d'osmose inverse : 310 usines l'utilisent, soit plus de 81%.

Toutefois, la capacité de production de ces usines est très disparate. Les quelques dizaines d'usines les plus grandes produisent l'essentiel de l'eau dessalée. C'est ce que montre le graphique suivant :



A la vue des objectifs réalisés du programme AGUA, partie **2.1.3**, il convient de rappeler que ce sont les quelques usines de grandes tailles qui ont été financées par l'argent public. Ce qui conduit aux faits suivants :

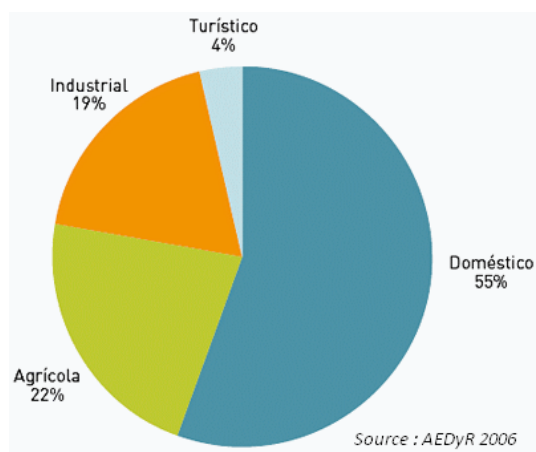
- 80% de la capacité de dessalement d'eau de mer est d'origine publique
- 50% de la capacité de dessalement d'eau de mer est issue du programme AGUA (32 usines)
- le reste est d'origine privée

Le tableau ci-dessous précise également l'usage fait en fonction de la taille des usines.

Taille d'usine	Financement	Usage
Grande	Majoritairement d'initiative <i>publique</i>	Urbain
Moyenne	D'initiative <i>publique</i> et <i>privée</i>	Agriculture / Golf
Petite	Majoritairement d'initiative <i>privée</i>	Industrie / Tourisme

Tableau 8 - Relation entre taille, financement et usage des usines

2.2.2. Spécificité espagnole : 22% de consommation agricole



La politique espagnole prévoyait un usage massif de l'eau dessalée dans le secteur agricole. Cela faisait partie des justifications du PHN de 2004. Le résultat est mitigé :

D'une part, en comparaison avec les 10% d'eau dessalée utilisés pour l'agriculture à l'échelle du monde, les 22% espagnols sont bien au-dessus de la moyenne.

D'autre part, ce pourcentage est inférieur aux estimations gouvernementales initiales, qui étaient de l'ordre de 50%. La raison à cela est une question de

prix : sauf dans les cultures à haute valeur ajoutée, comme dans la région de Murcia, la majorité des agriculteurs ne peut payer plus de 0,30€/m³ pour l'irrigation. Or il s'est avéré que le coût réel de l'eau dessalée dépassait les estimations initiales (0,3-0,7€/m³) pour atteindre la valeur de 1,1€/m³. [8]

REMARQUE : il existe toutefois en Espagne une usine de production d'eau (du groupe Sacyr*) consacrée à l'agriculture et produisant de l'eau sur commande, qui sert de complément aux autres sources d'eau.

2.2.3. Surcapacité et prix de l'eau

Surcapacité ou sous-exploitation : les faits

Ce n'est pas un secret en Espagne : les grandes usines de dessalement d'eau de mer ne tournent pas en permanence au maximum de leur capacité. Aussi surprenant que cela puisse paraître, elles tournent même en partie à de faibles pourcentages, compris entre 10% et 20% de leurs capacités. Certaines seraient même fermées. Cette fourchette est assez imprécise car les chiffres relatifs à l'exploitation des usines sont rares ou difficilement accessibles.

Les professionnels du secteur interrogés, qu'ils soient chercheurs ou industriels, avancent le fait que cette surcapacité est un point positif, donnant une marge de sécurité, une assurance vie, pour l'approvisionnement en eau potable. Ponctuellement, en cas de sécheresse accrue, il suffirait d'ouvrir les vannes. Et, à plus long terme, avec l'augmentation des besoins en eau (liée à une reprise de l'économie), les pourcentages d'exploitation des usines vont finir par augmenter. A ce moment-là, seulement, on saura si l'Espagne dispose de suffisamment de ressources en eau.

Néanmoins, on ne peut s'empêcher de faire le parallèle entre ce phénomène de surcapacité et les autres « frénésies » de construction dont ont fait preuves les constructeurs espagnols : autoroutes privées inexploitées et routes neuves, aéroports fermés depuis leur construction, ... Roque Gistau, président de l'Association Espagnole d'Approvisionnement en Eau (AEAS), a déclaré en 2013 : « A la différence des autres infrastructures comme les routes ou les aéroports, il n'y aucun risque que les usines de dessalement ne soient pas utilisées ». Mais il faut rajouter qu'avec les temps, les installations se dégradent et que les coûts de maintenance, comme le prix de l'eau, augmentent.

Les estimations de croissance de l'urbanisation et du tourisme en 2004, qui ne se sont pas réalisées par la suite, ont aussi joué un rôle dans le mauvais dimensionnement des installations. Certaines municipalités ont par exemple rompu leur contrat d'installation d'usines en conséquence de la crise de 2008. [9]

Le prix de l'eau en Espagne : un facteur aggravant de la sous-exploitation

Cela dit, pour comprendre cette problématique, il faut faire le lien avec le prix de l'eau en Espagne. L'eau dessalée est chère car l'eau des aquifères et autres sources est à l'inverse beaucoup plus accessible, au point que le prix de l'eau que paye le consommateur ne permet de recouvrir les frais (d'approvisionnement et d'assainissement) qu'à hauteur de 80% [10]. On comprend alors pourquoi les agriculteurs, mais aussi les municipalités, préfèrent l'eau conventionnelle à l'eau dessalée.

D'ailleurs, l'Union Européenne a mis en garde l'Espagne sur deux points :

- Le fait que les installations de dessalement soient si peu utilisées est inadmissible, étant donnée la très large part de financement européen [9]
- Le risque à la fois économique et environnemental que représente le bas prix de l'eau en Espagne : c'est à la fois une source d'endettement et un facteur favorisant la surexploitation des aquifères, aux conséquences environnementales importantes.

Ainsi, les industriels du secteur du dessalement n'espèrent qu'une chose : une réforme nationale sur le prix de l'eau qui permettrait de rééquilibrer les coûts et d'augmenter la production d'eau dessalée.

Roque Gistau, *encore*, évoque la possibilité de calquer le système de facturation de l'eau sur celui de l'énergie : « Les autorités des bassins (*Confederaciones Hidrográficas*) pourraient considérer l'eau dessalée comme une ressource supplémentaire, équivalente aux eaux de sources et régénérées, et ainsi établir un prix moyen global, à l'image de ce qui se fait dans le secteur de l'énergie, où il n'y a pas de différence entre les différentes sources d'électricité ». (solaire, nucléaire, thermique, hydraulique)

2.3. Les orientations actuelles du secteur

Des problématiques de surcapacité et d'impact environnemental mal évalué découlent les deux axes d'avenir du secteur espagnol du dessalement et du traitement de l'eau.

2.3.1. A l'international : faire fructifier l'investissement

Grâce à l'expérience gagnée, les nombreuses références techniques et les preuves de leur capacité à construire des usines opérationnelles, les entreprises espagnoles ont su conquérir le marché international et gagner des concessions dans tous les pays.

On en veut notamment pour preuve le fait que 5 des 20 entreprises ayant signé le plus de contrats d'exploitation (en m³/jour) sur la période 2006-2013 sont espagnoles.

Figure 14: Top 20 EPC contractors by capacity, 2006–2013

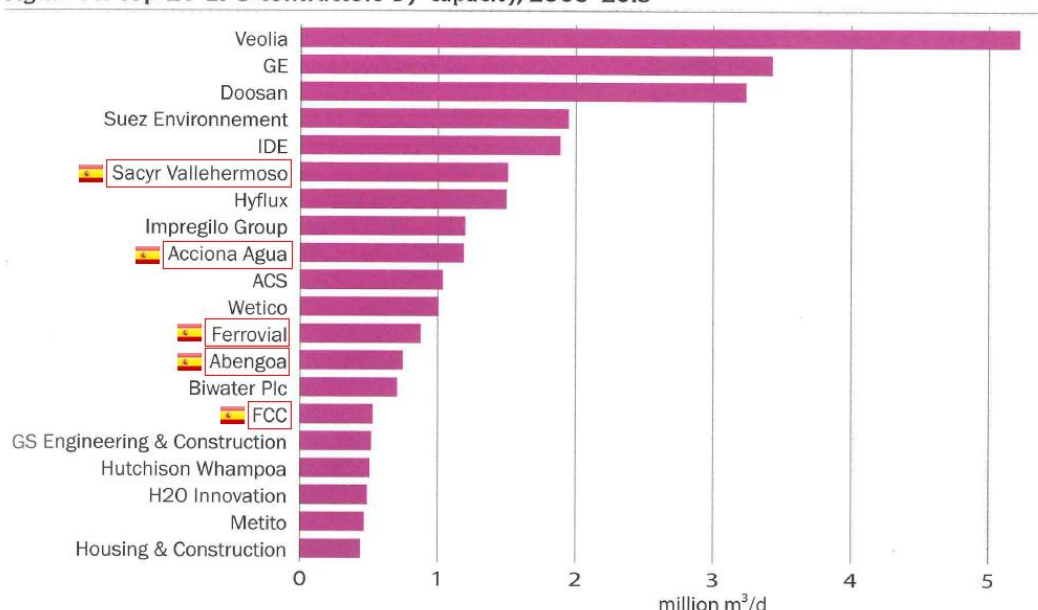


Figure 3 – Classement des 20 meilleures sociétés ayant signé le plus de contrats d'exploitation

Source : IDA - Yearbook 2014

REMARQUE : On notera la présence dans le classement des groupes Veolia et Suez Environnement. En particulier, la filiale *Degrémont* de Suez Environnement est fortement implantée en Espagne.

En termes de chiffre d'affaire, **80%** est réalisé à l'international par les filiales eau des grands constructeurs comme Acciona Agua*, FCC*, Abengoa*, Ferrovial* et Sacyr*. Cette tendance est d'ailleurs à la hausse étant donnée la sécheresse des contrats en Espagne.

Les pays cibles sont nombreux : Algérie, Maroc, Chili, Venezuela, Chypre, Australie, Angleterre... Les entreprises espagnoles signent même des contrats dans les grands pays producteurs d'eau dessalée que sont l'Arabie Saoudite, les Emirats Arabes Unis et Israël.

Par ailleurs, même si les entreprises espagnoles construisent à l'étranger, des entreprises étrangères construisent aussi des usines en Espagne. C'est par exemple le cas de la France, dont les deux groupes Veolia et Suez Environnement construisent quasiment exclusivement des usines en dehors du territoire français. [11] La filiale Degrémont de Suez Environnement a par exemple participé dans la construction de l'usine de Barcelone-Llobregat (200 000 m³/jour) et celle de El Atabal en Andalousie (165 000 m³/jour). [12]

2.3.2. Au niveau national : les terres intérieures & la maintenance

Même si le programme AGUA est arrivé à son terme, d'autres activités restent à entreprendre en Espagne.

D'une part, le parc espagnol d'usines a commencé à se construire il y a plus de 30 ans. Les premières usines sont donc vieilles. Leur rénovation, mise aux normes, voire leur démantèlement sont des activités qui pourraient bien être menées par les mêmes acteurs qui ont construit ces usines.

D'autre part, si les usines de dessalement d'eau de mer ont fini de coloniser le littoral espagnol, ce sont les terres intérieures qui pourraient dans quelques années ressentir le stress hydrique. C'est, selon Domingo Zarzo, directeur technique de Sacyr, un des marchés d'avenir : la production d'eau potable à partir des eaux continentales et des eaux usées. A ce sujet, les problèmes sont nombreux : le rejet de saumure n'est pas possible loin des côtes, et leur acheminement est bien trop coûteux, l'enfouissement est lui un sujet mal connu.

Aussi, la production d'eau dessalée qui augmente les ressources en eau douce du pays doit être complémentaire d'un bon système de recyclage des eaux. Ce recyclage des eaux, via des installations qui utilisent les mêmes technologies que celles du dessalement, doit pouvoir se faire idéalement en cycle fermé : il faut accepter que les eaux usées deviennent notre eau potable après passage dans des usines sophistiquées de purification.

C'est notamment pourquoi, l'effort de recherche se poursuit dans le domaine du dessalement, qui est étroitement lié à celui du traitement et de la purification de l'eau.

3. RECHERCHE ET INNOVATION EN 2014

Le secteur du dessalement a connu de nombreuses améliorations au cours des trente dernières années, ce qui le rend aujourd'hui compétitif. Toutefois, en Espagne et plus généralement dans le monde, des défis technologiques restent à surmonter :

- de *durabilité des installations* : les grandes usines construites ces dernières années ne sont pas éternelles. Le colmatage¹ et compactage² des membranes, l'usure et la corrosion des canalisations sont des points d'études importants pour les exploitants d'usines.
- en matière de *réduction des coûts énergétique* : dans le cas de l'osmose inverse, la compression de l'eau de mer est l'étape la plus coûteuse. Bien que le procédé ait été largement optimisé avec l'utilisation de turbines Pelton pour la régénération d'énergie par exemple, on cherche encore à diminuer ce coût. L'utilisation hybride d'énergie renouvelable est une autre solution envisagée. En génie des matériaux, le développement de membranes d'osmose inverse fonctionnant à des pressions inférieures est un objectif important.
- de *valorisation des déchets* : la saumure est le principal sous-produit des usines de dessalement. Son relargage en mer est à l'heure actuelle la solution qui satisfait les industriels peinant à trouver des alternatives plus écologiques. Mais, il existe d'autres déchets : les produits chimiques utilisés, les filtres et les membranes d'osmose inverse usagés.

Les centres de recherches espagnols mènent des recherches dans ces domaines à moyen et court termes. En ce qui concerne l'innovation de rupture, comme le développement de nouvelles méthodes de dessalement, l'Espagne est aussi dans la course même si le budget alloué à la recherche a nécessairement été revu à la baisse en raison de la crise économique.

Une liste exhaustive ne pouvant être établie, les paragraphes suivants présenteront quelques projets majeurs récents voire encore en cours en Espagne. Les acteurs de recherches, qui figurent également dans [l'annexe A](#), seront cités.

3.1. Durabilité des installations

Cette thématique relève principalement de la recherche en entreprise, au sens où les exploitants d'usines cherchent à optimiser leurs installations et investissent dans des études de ce genre.

¹ On parle de colmatage des membranes pour désigner l'obstruction des pores de ces dernières par des impuretés de grande taille.

² Le compactage des membranes est un autre phénomène destructif dû à l'utilisation d'eau sous haute pression.

Cependant, dans le cadre du programme national *Innpacto 2011*, lancé par le Ministère des Sciences et de l'Innovation, un des projets ayant remportés le financement avait pour objectif l'amélioration de la gestion des usines de dessalement d'eau de mer. L'encadré ci-dessous en fait le résumé.

Projet : <i>Osmosis Invesa, Innpacto</i>		2010-2012
Intitulé : Outils et méthodologie avancés pour l'optimisation de la conception, de l'exploitation et du contrôle des installations de dessalement d'eau de mer par osmose inverse		
Description :	L'étude porte sur l'élaboration de modèles hydro-chimiques dans le but de prévoir la formation de précipités inorganiques et de sous-produits de chloration, dans des zones spécifiques des usines d'osmose inverse. Une meilleure connaissance de la formation de ces produits peut aider à la compréhension de l'usure des canalisations et l'obstruction progressive des membranes d'osmose inverse, réduisant leur durée de vie. Un autre modèle développé étudie l'utilisation du dioxyde de carbone comme double agent : à la fois pour la pré-acidification du milieu en amont des membranes d'osmose inverse et pour vérifier la reminéralisation obtenue après percolation sur calcite. Cela permettra une comparaison avec les autres acides utilisés dans les procédés conventionnels.	
Acteurs :	- Antonio Garralón, responsable du projet au niveau du CIEMAT* (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) http://ciemat.academia.edu/AntonioGarralonLafuente - CADAGUA, S.A., partenaire industriel http://www.cadagua.es/optimizacion-de-tecnologias	
Financement :	1 106 107 € en 2010 82 700€ en 2011 37 605€ en 2012	Par : le Ministère des Sciences et de l'Innovation & le Fond européen de développement régional.

3.2. Réduction du coût énergétique

Autre projet primé par la commission *Innpacto 2011*, Wind Osmosis avait pour objectif d'étudier la faisabilité de l'utilisation de l'énergie éolienne pour faire fonctionner des modules d'osmose inverse. Ce projet s'inscrit dans la thématique de réduction du coût de production de l'eau dessalée par couplage des énergies utilisées.

Projet : <i>Wind Osmosis, Innpacto</i> www.windosmosis.com			2010-2013
Intitulé : Diminution du coût énergétique du dessalement de l'eau de mer grâce à l'énergie éolienne			
Description : L'objectif est l'analyse de la viabilité technique des différentes manières d'utiliser l'énergie éolienne <i>mécanique</i> d'un générateur éolien pour faire fonctionner des pompes de compression d'une installation d'osmose inverse. Plus précisément, ce sont les moyens de transmission par engrenages et système hydraulique qui sont étudiés. Aussi, la récupération d'énergie électrique via injection des saumures dans une turbine Pelton est étudiée.			
Résultat : Le projet aura conduit à la construction d'un prototype d'usine de petite taille dans un des centres du CIEMAT à Madrid.			
			
Acteurs :	- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) - Generación de Agua, S.A. (GASA) www.generaciondeagua.com - GRUPOTEC Ingenieria de Servicios, S.L. - Azahar Energy, S.A - Instituto del Agua-Universidad de Granada		
Financement :	2 300 000 € sur la période 2010-2013 (sous forme de subventions, prêts, avance remboursable)	Par : le Ministère de l'Economie, le FEDER & le CIEMAT	

Cette thématique est très présente en Espagne étant donné l'importance du prix de l'eau dessalée sur son utilisation. CADAGUA, qui a participé au projet Osmosis Inversa, a également investi dans d'autres projets pour l'optimisation de l'efficacité énergétique des usines de traitement des eaux

usagées (installations de type EDAR) et ses recherches l'amène à collaborer avec le célèbre Massachusetts Institute of Technology (MIT).

3.3. Valorisation des déchets

Le devenir du principal déchet des usines de dessalement, la saumure, a fait l'objet de nombreuses recherches. L'entité Valoriza Agua*, du groupe Sacyr, a par exemple investi près de six millions d'euros dans ce secteur. Pour autant, aucune solution viable ne se présente à l'horizon en Espagne.

En revanche, concernant le recyclage des autres déchets que constituent les membranes d'osmose inverse usagées, divers projets sont déjà bien avancés. L'un d'eux, cofinancé par le programme européen *Life*¹, est géré par l'Institut Madrilen d'Etudes Avancées de l'Eau (IMDEA Agua*) et s'avère prometteur :

Projet : TRANSFOMEM, <i>Life+</i> www.agua.imdea.org		2014-2018
Intitulé : Transformation de membranes d'osmose inverse usagées en membranes de d'ultra et nanofiltration		
Description : Très utilisé en Espagne, le dessalement par osmose inverse utilise de très nombreuses membranes dont la durée de vie est comprise entre 5 et 10 ans. Jusqu'à présent les membranes usagées étaient envoyées dans des décharges. S'inscrivant dans une démarche de valorisation des sous-produits du dessalement, mais aussi la réduction du coût économique (puisque le remplacement des membranes représente 5% du coût de fabrication) de l'industrie, ce projet cherche à transformer par des moyens chimiques écologiques les membranes d'OI en membranes de filtration. Les membranes obtenues peuvent alors être utilisées pour différentes application, relevant du traitement de l'eau ou d'autres domaines. Résultat : Le projet, bien qu'entamé récemment en serait déjà au lancement prochain d'une usine pilote à petite échelle.		
Acteurs :	- IMDEA Agua - Sadyt	
Financement :	956 077€ dont 477 488€ de fonds européen	Par : <i>Life+</i> (Europe) & IMDEA Agua

Dans ce même créneau, il convient de mentionner le projet *Remembrance*, un peu plus ancien (commencé en 2012, se terminant en juin 2015) qui étudie le recyclage des membranes dans une

¹ *Life*, acronyme de l'instrument financier pour l'environnement, est un fonds de l'Union européenne pour le financement de sa politique environnementale. *Life+* correspond à ce fonds pour la période 2007-2013.

problématique légèrement plus large incluant la réutilisation pour osmose inverse et non simplement pour de la filtration. Ce projet dans lequel participent cinq entreprises espagnoles.

Pour plus d'information : life-remembrance.eu

3.4. L'innovation de rupture

Enfin, concernant l'innovation à plus long terme, bien souvent dite de rupture, l'Espagne n'est pas en reste. Bien qu'à l'international, on parle davantage de membranes en nanotubes de carbone ou encore de l'invention biomimétique danoise *Aquaporin*, les Espagnols se concentrent sur d'autres sujets :

La Distillation Membranaire par voie solaire :

Cette technologie, étudiée dans divers laboratoires internationaux mais uniquement développée à *échelle réelle* sur la Plateforme Solaire d'Almeria (PSA) du CIEMAT*, combine procédés thermique et membranaire : les membranes ne fonctionnent pas grâce à la pression appliquée (comme pour l'osmose inverse) mais sont des membranes hydrophobes au sens où elles ne permettent pas le passage de l'eau liquide et laissent passer la vapeur. La formation de vapeur nécessite un apport d'énergie : une des spécificités des recherches faites à PSA est d'utiliser pour cela l'*énergie thermique solaire*. Le gradient naturel de température qui se crée à travers la membrane, induit une légère différence de pression entre les compartiments, ce qui permet à la vapeur de circuler et de s'échapper vers une zone où elle est condensée.

La distillation membranaire semble prometteuse aujourd'hui pour diverses raisons :

- Un coût inférieur à celui de l'osmose inverse, d'autant plus avec le couplage solaire
- Un champ d'applications plus large : les eaux de forte salinité peuvent par exemple être traitées par ce processus (ce qui ouvre l'espoir d'une solution pour les rejets de saumure)
- L'eau ne nécessite pas de prétraitement chimique comme dans le cas de l'osmose inverse
- Les membranes seraient plus résistantes à l'usure du temps

Projet : <i>Membrane Distillation (MD)</i>		2013-en cours
Intitulé : Comparaison de différents prototypes de membranes de distillation fonctionnant à l'énergie solaire		
Acteurs :	- Guillermo Zaragoza, pour le CIEMAT - Alba Ruiz-Aguirre, pour le CIESOL* - Plateforme Solaire d'Almeria	
Prix :	Octobre 2013, à l'IDA World Congress : meilleure présentation de résultats, 5 000 \$	
Publication :	Revue <i>futurENVIRO</i> , Janvier-Février 2014, pages 99-102 futurenviro.es/sites/futurenviro.es/files/digital-versions (Anglais & Espagnol)	

L'Espagne, par l'intermédiaire du CIEMAT est aujourd'hui considérée comme « référent mondial » en matière de distillation membranaire par voie solaire.

La Désionisation Capacitive : purification spécifique et génération d'électricité

La première étape de la désionisation capacitive (ou CDI - Capacitive Deionization) se rapproche de l'électrodialyse : une différence de potentiel est appliquée entre deux électrodes pour séparer les ions de l'eau. Les électrodes adsorbent respectivement les ions positifs et négatifs, le flux d'eau sortant est lui dessalé. Simultanément, on a donc « dessalement » et « stockage d'énergie » sous forme électrique.

Les électrodes n'ayant pas une capacité d'absorption infinie, une phase de traitement de l'eau est suivie d'une phase de régénération des électrodes : la différence de potentiel est annulée, ou inversée. Les électrodes se déchargent à l'image d'un condensateur. Les ions sont libérés dans une solution qui devient l'équivalent de la saumure.

Tout l'intérêt de cette méthode consiste à pouvoir récupérer l'énergie de la décharge des électrodes pour faire fonctionner d'autres cellules de CDI mises en parallèle. C'est un thème de recherche à l'université d'Oviedo (Asturies). A Madrid, les IMDEA Agua et Energia essayent d'évaluer le potentiel de récupération de cette énergie et les paramètres qui influent sur la charge et les décharge des électrodes.

Les spécificités de la CDI sont :

- Son efficacité énergétique supérieure à celle de l'osmose inverse dans le cas des eaux à basse salinité
- Sa capacité à l'élimination d'espèces spécifiques (nitrates, bore) en utilisant des électrodes particulières

Projet : Désionisation Capacitive	
Acteurs :	- Julio José Lado Garrido, IMDEA Agua et IMDEA Energia - Université d'Oviedo*
Publication :	[1] New testing procedures of a capacitive deionization reactor, E. Garcia-Quismondo, R. Gomez, F. Vaquero, A.L. Cudero, J. Palma, M. Anderson, Physical Chemistry Chemical Physics, 15 (2013) 7648-7656. [2] Up-Down Converter for Energy Recovery in a CDI Desalination System, A.M. Pernia, J.G. Norniella, J.A. Martin-Ramos, J. Diaz, J.A. Martinez, Ieee Transactions on Power Electronics, 27 (2012) 3257-3265. [3] Optimizing the Energy Efficiency of Capacitive Deionization Reactors Working under Real-World Conditions, E. Garcia-Quismondo, C. Santos, J. Lado, J. Palma, M.A. Anderson, Environmental Science & Technology, 47 (2013) 11866-11872

Ces exemples de projets illustrent ce qui se fait actuellement dans les centres de recherches espagnols. En [Annexe A](#) figure une liste plus complète d'instituts de recherche sur l'eau. Aussi, si l'on en croit les propos d'Eloy Garcia, directeur de l'IMDEA Agua, de nombreux projets de recherches sont en train de naître, dans cette période « d'après crise » : [SmartWetland](#), [Itaca](#), ...

CONCLUSION ET PROCHAINS RENDEZ-VOUS

Le dessalement de l'eau de mer est une industrie très développée en Espagne, qui vient d'achever, non sans difficultés, une étape de sa politique d'eau : la construction d'un grand nombre d'usines de dessalement d'eau de mer par osmose inverse. Et, les entreprises à l'origine de ces installations sont depuis quelques années parties à la conquête des marchés internationaux, tout en maintenant un niveau soutenu de recherche industrielle. Ces entreprises sont aussi soucieuses de rester compétitives en Espagne dans les secteurs de l'eau de demain : amélioration de la qualité de l'eau, maintenance d'un parc d'usines qui va nécessairement vieillir et prévisions de stress hydrique dans les terres intérieures.

Toutefois, les ambitions politiques, basées sur une situation économique prospère des années 2000, ont conduit à une situation particulière : la sous-exploitation des usines de dessalement. Les professionnels du secteur n'espèrent qu'une chose : un épisode de sécheresse qui démontrera la nécessité de leurs usines. Ce « test » permettra de savoir si l'Espagne est bel et bien en état de surcapacité d'eau, et si la répartition des usines répond correctement aux besoins. En ce sens, l'industrie nationale est dans une phase d'attente.

Dans les années à venir, et avec une reprise économique, le secteur de l'eau espagnol aura besoin d'une réforme de sa tarification, conduisant à une augmentation du prix de l'eau. Si cette politique est bien menée, elle pourra permettre à l'eau dessalée un plus haut taux d'utilisation, en particulier dans l'agriculture.

L'avenir de l'Espagne sera aussi sûrement marqué par d'autres plans hydrologiques qui mettront en application les innovations issues des nombreux centres de recherches sur l'eau. Il s'agira autant des améliorations du dessalement de l'eau de mer, que du développement d'un transport et d'une réutilisation efficaces de l'eau.

Parmi les prochains grands rendez-vous, on citera les *journées techniques de l'AEDyR* (à Madrid, les 17 et 18 septembre 2014) au sujet des technologies à membranes, ainsi que son *congrès international* (à Séville, du 26 au 28 novembre 2014) où une série de rencontres internationales sont prévues. L'été prochain se tiendra aux Etats-Unis, le *congrès international de l'IDA*. Tous les événements peuvent être trouvés ici : <http://idadesal.org/events/>

REFERENCES & BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau*, J-M. Berland, C. Juery, FNDAE, 2002
- [2] *La desalinización en España*, ICEX, 2002
- [3] Décret Royal 1327/1995 : www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1995-19001
- [4] Ley 10/2001 - PHN : https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2001-13042
- [5] *Feuillet de présentation du programme AGUA*, Ministère de l'Environnement :
- [6] *La situación actual de las desaladoras en el sudeste mediterráneo*, A. Iñiguez López, Université d'Alicante, 2007, <http://web.ua.es/es/giecryal/documentos/desaladoras.pdf>
- [7] Interview de Ángel Cajigas par Cincodías : http://cincodias.com/cincodias/2014/03/21/empresas/1395425360_680038.html
- [8] Déclarations de Cañete, ministre de l'environnement jusqu'en 2014, 4 avril 2014 www.laopiniondemurcia.es/comunidad/2014/04/04/canete-dice-precio-agua-desalada/
- [9] Article d'El Pais, 18 février 2012 http://sociedad.elpais.com/sociedad/2012/03/18/actualidad/1332100392_925364.html
- [10] *Etude économique de l'Espagne*, (partie sur l'eau), OCDE, 2010 <http://www.oecd.org/fr/espagne/etudeseconomiquedelespagne2010.htm>
- [11] *L'expertise française dans le domaine du dessalement d'eau de mer*, avril 2013 <http://www.ambafrance-at.org/IMG/pdf/Dessalement.pdf>
- [12] Référence d'installations françaises en Espagne, par Degremont http://www.degremont.fr/fr/activites/references/references/?reference_id=79
http://www.degremont.fr/fr/activites/references/references/?reference_id=21

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Membrane distillation to obtain freshwater from salt water, G. Zaragoza, 2014

Project for the development of innovative solutions for brines from desalination plants, D. Zarzo, E. Campos, 2012

Spanish experience in desalination for agriculture, D. Zarzo, E. Campos, P. Terrero, 2012

RAPPORTS

La desalación como alternativa al PHN, Université de Zaragoza, 2001

La desalación en España, Fondation Cajamar, 2009

Régimen jurídico de la desalación en España, C. Jiménez Shaw, 2008

La mer à boire, Cité de la Mer de Cherbourg, 2012

SITES OFFICIELS :

hispagua.cedex.es : Page du CEDEX regroupant de nombreuses statistiques sur l'eau en Espagne

www.boe.es : Bulletin Officiel de l'Etat espagnol

ANNEXES

ANNEXE A : Annuaire des acteurs espagnols du secteur de l'eau et du dessalement

AEDyR – Association Espagnole de Dessalement et de Réutilisation

www.aedyr.com



Cette association, créée en 1998 suite au congrès international de l'IDA qui s'est tenu à Madrid, regroupe tous les industriels du secteur, qu'ils soient fabricants spécialisés de module ou constructeurs d'usines clés en mains, mais aussi les organismes publics et les centres de recherche.

Elle organise différents congrès, journées techniques, et convie généralement des entités étrangères à sa session internationale.

Elle est le pendant national de ce qu'est l'IDA au niveau international.

➤ Le secteur industriel

AcuaMED – *Aguas de las Cuencas Mediterráneas*

www.acuamed.es



AcuaMED est la société d'état, dépendant depuis 2005 du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de l'Environnement. Son capital social s'élève à 1,53 milliards d'euros. Elle est chargée de la construction, de l'acquisition et de l'exploitation de tout type de système hydraulique dans les bassins versants du littoral espagnol.

Bénéficiant notamment de fonds européens, elle a investi 1,7 milliards d'euros dans 12 projets d'usines, dont les dernières sont en cours de finalisation (en 2014).

Valoriza Agua & Sadyt

www.valoriza-agua.com et www.sadyt.com



Sacyr Vallehermoso est une grande entreprise espagnole principalement de construction d'infrastructure et de promotion immobilière. Elle dispose de deux filiales spécialisées dans le cycle intégral de l'eau, et notamment le dessalement et le traitement des eaux usées : Valoriza Agua et Sadyt.

Sadyt et Valoriza Agua gèrent la conception, la construction, l'exploitation d'usines de traitement des eaux en Espagne et est également fortement présente à l'international, tant pour l'exploitation (Chili, Algérie, Emirats Arabes Unis) que pour la recherche (Australie). De nombreuses publications scientifiques sont consultables sur leurs pages web.

Revenus 2013 : 730 M€

Acciona Agua

www.acciona-agua.es



Compagnie du groupe Acciona, cette entreprise s'occupe de la conception, la construction, l'exploitation et l'optimisation de ses usines via des projets de recherches. Elle centre son activité sur le dessalement par osmose inverse et est présente en Inde, en Afrique, au Moyen-Orient, dans le Sud-est asiatique, en Australie et en Amérique latine.

Revenus 2013 : 585 M€

Abengoa Water

www.abengoawater.com



Filiale eau du groupe Abengoa, cette entreprise s'occupe comme les précédentes de la conception, la construction, l'exploitation d'usines de traitement et de dessalement des eaux. Elle a reçu en 2009 le prix du meilleur projet de l'année, décerné par *Global Water Awards*, pour son usine de dessalement de Qingdao en Chine (100.000 m³/jour et exploitation durant 25 ans, mise en ligne en 2013).

Aqualia

www.aqualia.es



Filiale eau du groupe FCC (*Fomento de Construcciones y Contratas*), cette entreprise s'occupe principalement de la gestion des services municipaux de l'eau et de l'approvisionnement en eaux des secteurs industriel, agricole et urbain. Le dessalement est une de ses activités, pour laquelle elle investit également en R&D. Le groupe est présent en Espagne et dans 17 pays étrangers, notamment la République Tchèque, l'Algérie, la Chine, l'Égypte et le Mexique.

Cadagua

www.cadagua.es



Filiale eau du groupe Ferrovial depuis 1985, Cadagua a été fondée en 1971. Ses deux spécialités sont le traitement et l'épuration des eaux, ceci incluant le dessalement des différents types d'eaux. Elle a construit plus de 235 usines, et gère une capacité de traitement de plus de 15.000.000 m³/jour. Cadagua est présente une dizaine de pays.

Chiffre d'affaire 2012 : 125 M€

Adiquímica, S.A.

www.adiquimica.com



Adiquímica, S.A. élabore dans ses laboratoires puis produit dans son usine des produits chimiques pour le traitement de l'eau. Au sujet de l'osmose inverse, elle a mené des recherches sur la dégradation des membranes et mis sur le marché des produits de nettoyage de membranes.

➤ Le secteur de la recherche

CIEMAT – Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

<http://www.ciemat.es>



Le CIEMAT est un des sept Organismes Publics de Recherche (OPI) espagnols et est rattaché au ministère de l'économie et de la compétitivité. Ce centre occupe une position intermédiaire dans la chaîne de recherche au sens où il développe à la fois des applications industrielles et accumule des savoirs plus fondamentaux. Le CIEMAT est constitué de 1340 personnes, aux compétences techniques différentes, réparties sur le territoire espagnol. De ce fait, le CIEMAT travaille avec de nombreux centres de recherche, universités et entreprises locales.

CIESOL – Centro de Investigación en Energía SOLar

www.ciesol.es



Implanté sur le campus de l'université d'Almeria, le centre est né de la collaboration de cette université et de la Plateforme Solaire d'Almeria (PSA) dépendant du CIEMAT, avec un financement du FEDER. Le CIESOL est un lieu de recherche qui permet aussi le transfert de technologies liées à l'énergie solaire : chimie verte, traitement de l'eau, analyse environnementale, gestion des installations solaires et domotique, réfrigération solaires, ...

IMDEA Agua – Instituto Madrileño de Estudios Avanzados

www.agua.imdea.org



Ce laboratoire sur l'eau fait partie d'un ensemble de sept autres instituts créés par la communauté autonome de Madrid entre 2006 et 2008.

Ses recherches concernent entre autre le recyclage des membranes (projet LIFE TRANSFOMEM), la bioélectricité, la desionisation capacitive. L'institut développe aussi des modèles économiques de la gestion de l'eau grâce à une équipe pluridisciplinaire.

Le financement des recherches provient au 2/3 de la communauté et au 1/3 de contrats avec des entreprises et de concours.

CENTA – Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua, Sevilla
www.centa.es & Juan José Salas jjsalas@centa.es



Ce centre de recherche crée en 1994 par la communauté autonome d'Andalousie a obtenu en 2008 le statut particulier de fondation. Ses centres d'intérêts sont : les technologies de l'eau, la qualité de l'eau mais aussi la gestion de l'eau à l'échelle de l'écosystème. Le CENTA travaille sur certains projets avec l'IMDEA Agua.

La fondation mène aussi des missions éducatives et de sensibilisation aux problèmes de l'eau.

CEDEX – Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
www.cedex.es



Le CEDEX se définit comme étant un centre d'assistance technique de haut niveau dans l'ingénierie civile et les questions environnementales, principalement mais pas exclusivement, au service des ministères et institutions. Le centre réalise donc des études sur demande dans tous les domaines, de l'ingénierie maritime à changement climatique en passant par les études historiques.

Outre cette mission d'accumulation et d'organisation du savoir, le CEDEX entreprend également des missions de diffusion du savoir (via des cours, des journées techniques, des forums, ...) et est parfois chargé de l'expertise d'œuvres et l'élaboration de normes nationales.

Dans le volet diffusion du savoir et historique, le CEDEX est notamment l'auteur du site *Hispagua*, référence en matière d'eau en Espagne.

Universidad de Oviedo – Principauté des Asturies
www.uniovi.es



Seule université de la région des Asturies, l'université d'Oviedo regroupe de ce fait de nombreuses spécialités. Elle propose un master intitulé *Exploitation et maintenance d'usines de traitement des eaux* et des groupes de chercheurs de l'université travaillent sur des technologies comme la désionisation capacitive.

CETAQUA – Centro Tecnológico del Agua
www.cetaqua.com



Implanté à Barcelone, en Galice, en Andalousie et au Chili, CETAQUA est une fondation privée à but non lucratif qui entreprend des recherches afin de proposer des solutions innovantes aux entreprises et de créer de la connaissance dans le domaine de l'eau, en ville, pour l'industrie ou l'agriculture. Les projets en cours sont consultables sur leur site, à la page ci-après : <http://www.cetaqua.com/es/sala-de-prensa/proyectos>

Le budget du centre de Barcelone s'élevait à 6,6 millions d'euros en 2013.

IUACA – Instituto del agua y las ciencias ambientales, Universidad de Alicante

iuaca.ua.es



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Cet institut, crée en 1991 et dépendant de l'université d'Alicante, étudie les questions d'eau liées au développement durable. Ses recherches vont de la réduction des émissions d'odeurs lors de processus de filtration à l'étude locale (dans la région de Murcia) du traitement et de la réutilisation des eaux usées, en passant par la valorisation des saumures par des processus biologiques. Les différents projets sont soit publics, financés par le ministère des sciences et de l'innovation et l'Union Européenne, soit privés, mené en partenariat avec des entreprises comme Sadyt, Acuamed ou Miraplas.

ITA – Instituto Tecnológico del Agua, Universidad Politécnica de Valencia

www.ita.upv.es



Ce groupe de recherche est un des plus vieux d'Espagne : il est né il y a plus de 30 ans d'un regroupement de chercheurs en mécanique des fluides soucieux des questions d'eau en Espagne.

D'une part, l'ITA forme des spécialistes aux problématiques de l'eau via ses cours. Depuis 2010, les formations sont disponibles en ligne.

D'autre part, l'ITA participe dans des projets de recherche, développement et innovation en Espagne, au Philippines, au Mexique, en Ouganda, en Croatie comme aux Etats-Unis. Les axes de recherche sont l'étude des politiques d'eau, l'utilisation efficiente des ressources, la maintenance ou encore l'exploitation des systèmes hydrauliques.

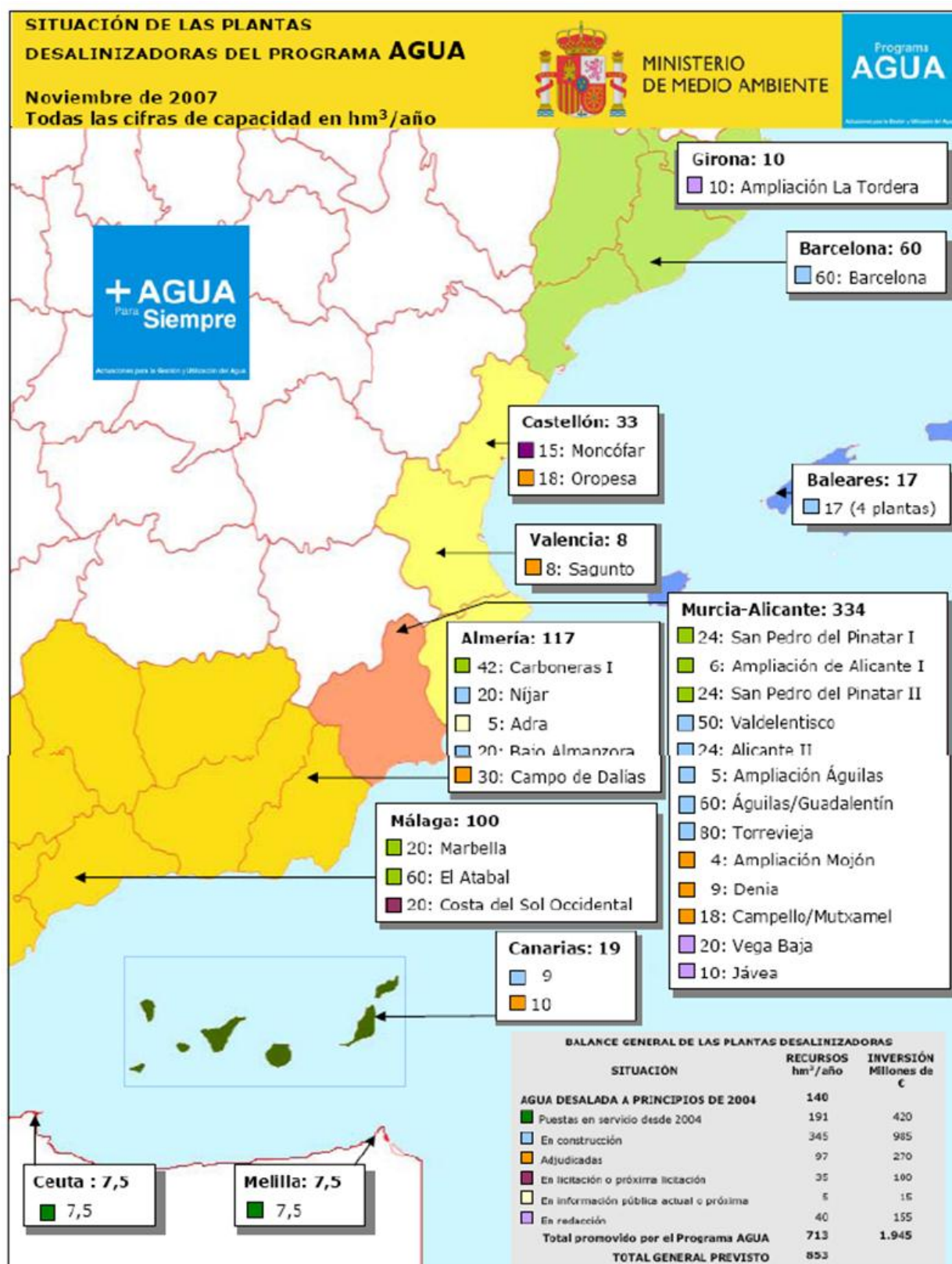
Instituto del Agua – Universidad de Granada

www.institutodelagua.es



Ce centre universitaire de recherche, crée en 1990, étudie l'eau à la fois comme ressource pour l'homme, fluide géodynamique et élément de la biosphère aquatique. Aujourd'hui, l'institut est composé de plus d'une soixantaine de chercheurs. En 20 ans, ils ont réussi à obtenir 150 financements de projets via des concours nationaux et internationaux. De nombreux de ses projets sont ainsi financés par l'Etat espagnol et l'Union européenne (commission Life+, Innpackto, Retos de Sociedad).

ANNEXE B : Le programme AGUA finalement réalisé



Cette carte fait l'état des projets qui en 2007 étaient programmées et qui s'achèvent aujourd'hui.

ANNEXE C : AUTRES GRAPHIQUES ET DONNÉES RELATIVES AU DESSALEMENT, EN ESPAGNE ET EN FRANCE

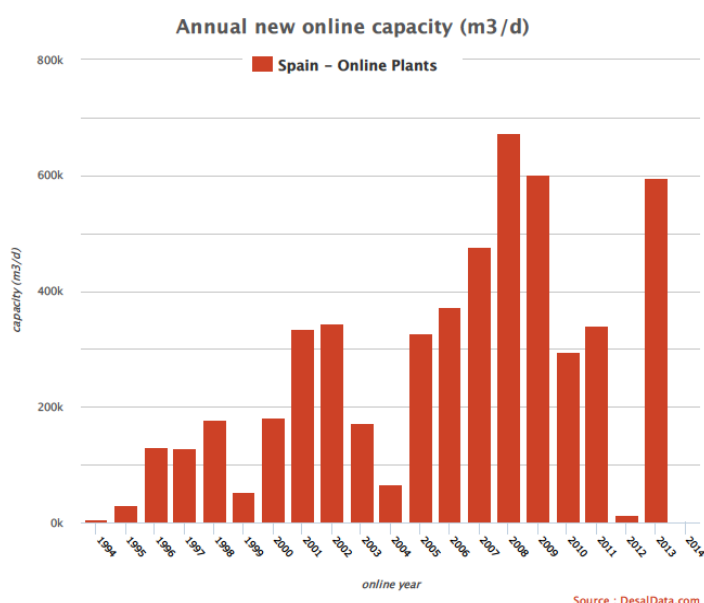


Figure 1 - Capacité en fonction de l'année de mise en fonctionnement, en Espagne

Ce graphique met en évidence le délai pris dans la construction des usines, par rapport à la date de signatures des contrats. En particulier, le pic de commande de 2006, se répercute sur plusieurs années. L'année 2012 est une année singulière. Les années 2013 et 2014 doivent voir les dernières usines commandées à cette époque se mettre en marche.

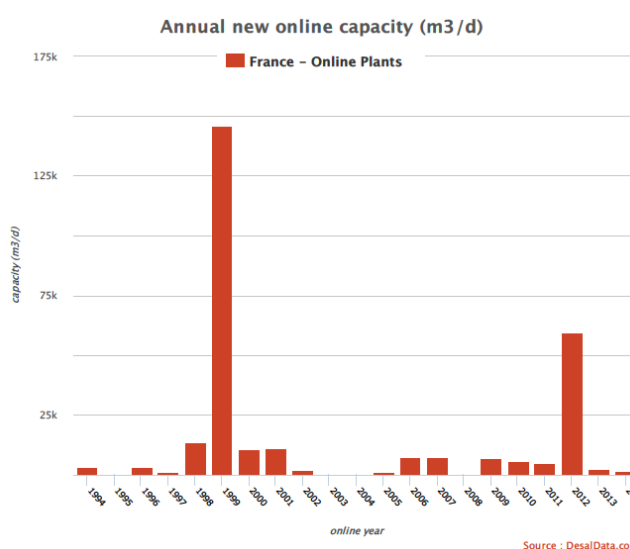


Figure 2 - Capacité en fonction de l'année de mise en fonctionnement, en France

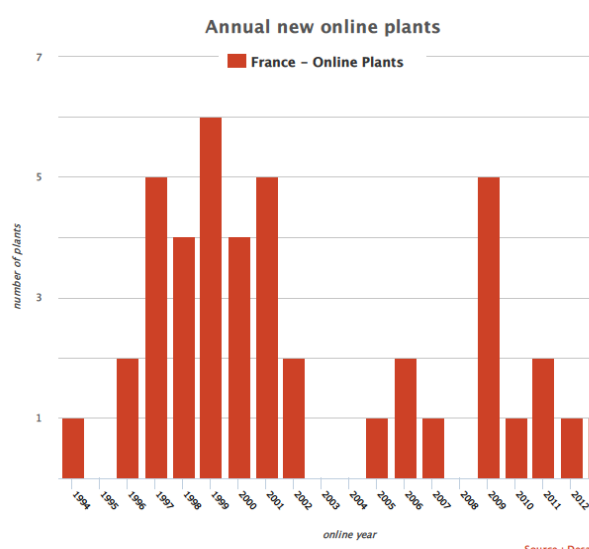


Figure 3 – Nombre d'usines en fonction de l'année de mise en fonctionnement, en France

Les figures 2 et 3 concernent la France : autant en nombre qu'en capacité, les chiffres sont très inférieurs à ceux de l'Espagne.