

A contre-courant, l'osmose : une énergie qui a du potentiel

Jean-Baptiste Dupin

L'énergie osmotique désigne la capacité à produire de l'électricité à partir de la différence de salinité entre l'eau douce et l'eau de mer. Elle est une source stable, prévisible et de forte densité énergétique. Le principal gisement d'énergie osmotique se situe naturellement dans les estuaires, là où eaux fluviales et eau de mer se rencontrent. À l'échelle mondiale, ce gradient chimique représente un potentiel théorique d'environ 1 500 à 2 000 TWh/an, soit l'équivalent de la consommation électrique actuelle de l'Union européenne.

L'énergie osmotique repose sur un phénomène fondamental : si une membrane sépare de l'eau à un degré différent de salinité, des flux spontanés d'eau ou d'ions se produisent, afin d'équilibrer les concentrations, et peuvent être transformés en énergie mécanique ou électrique (respectivement) selon la filière technologique :

L'osmose à pression retardée (PRO – Pressure Retarded Osmosis) repose sur l'utilisation d'une membrane semi-perméable séparant eau douce et eau salée : le flux naturel d'eau vers la solution concentrée crée une pression qui peut entraîner une turbine et produire de l'électricité. Cette approche a longtemps été considérée comme la voie la plus intuitive pour exploiter l'énergie osmotique, mais elle reste confrontée à plusieurs limites : rendement encore insuffisant des membranes, coûts élevés et encrassement biologique qui réduit rapidement les performances. L'exemple du démonstrateur PRO de Statkraft à Tofte, en Norvège – un pilote de 10 kW finalement interrompu – illustre ces obstacles technico-économiques. Si des industriels comme IDE Technologies poursuivent l'exploration de niches applicatives, la PRO nécessite encore des ruptures majeures pour devenir compétitive à grande échelle.

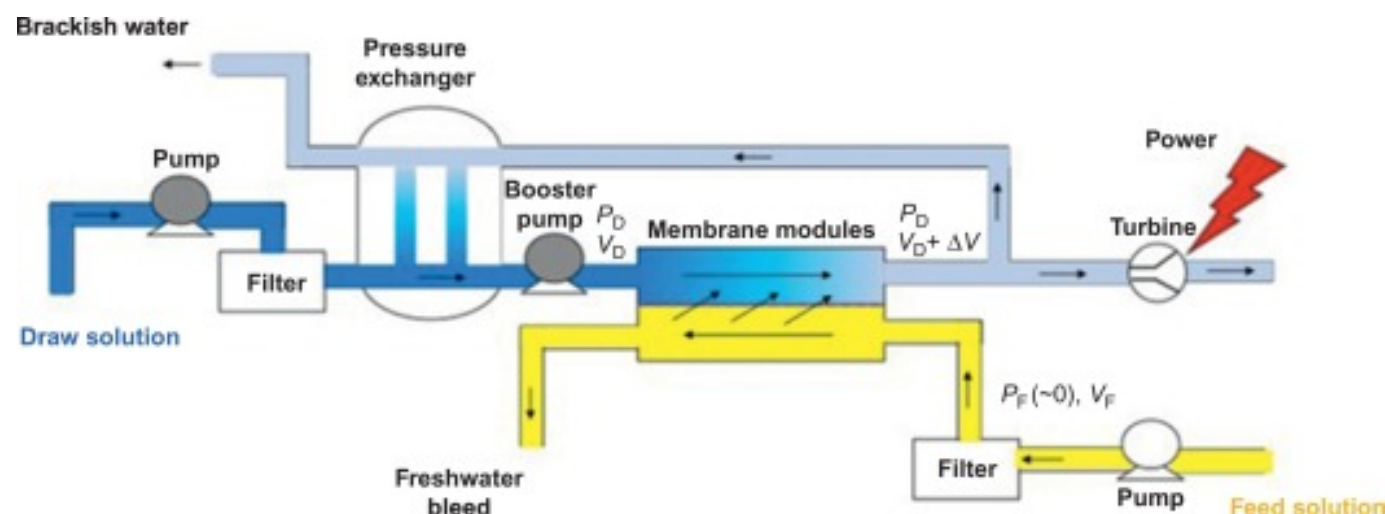


Figure 1 : Principe de fonctionnement d'une cellule osmotique à pression retardée

L'électrodialyse inverse (RED – Reverse Electrodialysis) se fonde sur l'alternance de membranes échangeuses d'ions – AEM (anioniques) et CEM (cationiques) – au sein de "stacks" modulaires où le gradient de salinité crée directement un courant électrique. Cette architecture favorise la modularité, la maintenance et l'intégration dans les infrastructures existantes, notamment les usines de désalinisation ou les réseaux portuaires.

Des acteurs internationaux comme REDstack (Pays-Bas) ont déjà validé des démonstrateurs côtiers, tandis qu'en France, Sweetch Energy se distingue avec sa technologie nanofluidique INOD® et le démonstrateur OPUS-1 situé sur l'estuaire du Rhône. Grâce à de meilleures perspectives de rendement, une moindre complexité mécanique et un bon potentiel d'hybridation industrielle, la RED s'impose aujourd'hui comme la filière la plus mature pour structurer une véritable industrie de l'énergie osmotique en Europe.

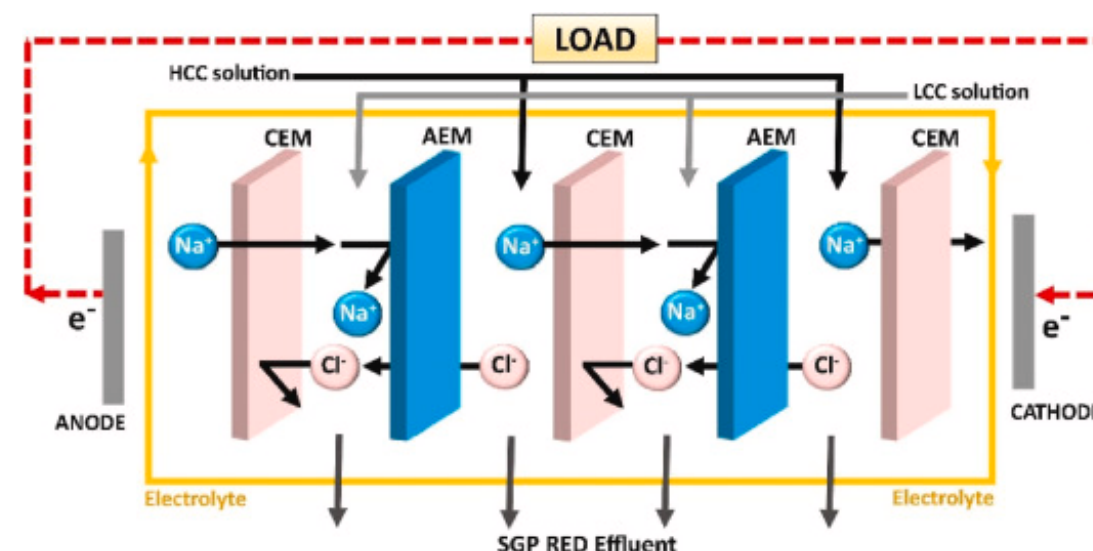


Figure 2 Principe de fonctionnement d'un module d'électrodialyse inverse (HCC/LCC : High/Low concentration ; SGP : salinity gradient power)

Malgré son potentiel, l'énergie osmotique reste confrontée à plusieurs défis. La performance et le coût des membranes constituent les principaux verrous. Les progrès attendus dans les membranes – nanomatériaux, graphène, structures biomimétiques – pourraient améliorer les performances. La gestion des rejets doit être soigneusement planifiée pour éviter les perturbations locales, et les installations en zone littorale nécessitent des permis et des études environnementales longues et coûteuses. Enfin, la rentabilité reste à démontrer, faute de déploiement industriel massif. L'absence d'un cadre réglementaire ou de signaux prix dédiés limite l'appétit des investisseurs.

L'avenir de l'énergie osmotique passera probablement par des projets hybrides, combinant RED/PRO avec le solaire, l'éolien ou la désalinisation – une opportunité car ces usines, très énergivores, rejettent une eau hypersalée et sont soumises à des contraintes environnementales encore plus fortes. Les stations d'épuration et les infrastructures portuaires pourraient accueillir des modules osmotiques intégrés, facilitant leur adoption.

L'énergie osmotique pourrait devenir un atout stratégique pour l'Europe, qui dispose d'un tissu industriel actif dans les membranes, les systèmes d'électrodialyse et les infrastructures portuaires. Avec une industrialisation adaptée, l'énergie osmotique pourrait contribuer stratégiquement (jusqu'à 1 % mondialement à horizon 2050, mais concentrée géographiquement) au mix énergétique bas carbone, car complémentaire des autres renouvelables et capable d'apporter une production stable dans un système de plus en plus électrique.