

DÉVELOPPEMENT DE SOLUTIONS DE SOUTIRAGE POUR LA RÉGÉNÉRATION DES EAUX USÉES PAR OSMOSE DIRECTE

présenté dans le cadre du Colloque de l'ARC du 85e Congrès de l'ACFAS, 8-9 mai 2017, Montréal, Qc., Canada



Serge Alex¹, Prangya ROUT² et Puspendu BHUNIA²

¹Institut des procédés industriels, Collège de Maisonneuve, Montréal, Qc., Canada; ²Indian Institute of Technology, Bhubaneswar, Odisha, Inde

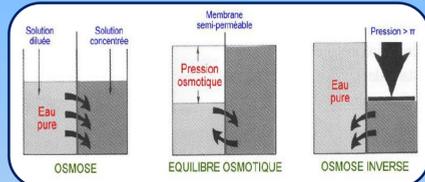


La réutilisation des eaux usées connaît une croissance considérable ces dernières années car cela permet de réduire les investissements pour leur traitement et/ou d'éviter l'agrandissement des installations existantes. Aujourd'hui, Singapour recycle plus de 30 % de ses eaux usées grâce aux progrès faits par l'osmose directe (OD ou *Forward osmosis* (FO)). Si nous sommes familiers avec l'osmose inverse qui a été pendant des années la meilleure technique pour produire de l'eau douce à partir de l'eau salée, nous le sommes moins avec l'osmose qui est pourtant un phénomène spontané.

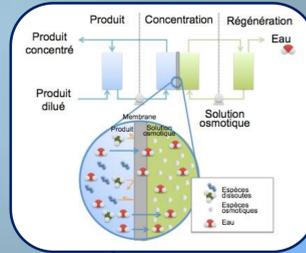
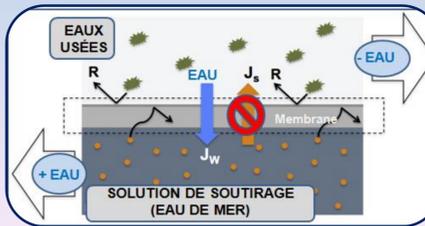
Avec cette technique, on fait circuler l'eau contaminée d'un côté d'une membrane semi-perméable et de l'autre de l'eau salée. Par osmose, l'eau se déplace du compartiment contaminé vers celui salé. Ainsi, on réduit le volume des eaux usées et on dilue l'eau salée que l'on peut alors dessaler plus facilement par osmose inverse. **Cette approche est intéressante si on a accès à la mer ou à une source d'eau salée!** Sinon, il faut trouver autre chose. Aussi, les recherches se sont orientées vers les liquides ioniques à polarité commutable (*Switchable Ionic Liquids* ou *SILs*). Ces produits, généralement des amines tertiaires, lorsqu'ils absorbent le CO₂ sont hydrophiles. Sous cette forme, ils absorbent l'eau et peuvent remplacer avantageusement l'eau de mer comme agent osmotique. Ensuite si on retire le CO₂, les SILs redeviennent hydrophobes et ils relâchent l'eau par séparation de phase. Ainsi, on peut séparer les deux composantes par simple décantation: l'eau rejetée est propre (ou presque !) et les SILs sont recyclés.

L'OSMOSE EN QUELQUES MOTS

Si deux solutions aqueuses de concentrations différentes sont séparées par une membrane semi-sélective, alors spontanément, un flux d'eau va passer du compartiment le plus dilué vers celui le plus concentré. Ceux-ci vont se mélanger jusqu'à atteindre l'uniformisation de leurs concentrations. On parlera alors d'**osmose directe** ou tout simplement d'**osmose**. Lorsque cet équilibre osmotique est atteint, le niveau de l'eau s'est élevé et cette colonne crée une pression du côté concentré, que l'on appelle la pression osmotique (souvent notée π). **Ce phénomène est naturel et ne dépend que de la concentration.** Par contre, si on applique une pression dont la valeur excède la pression osmotique induite par la différence de concentration du côté concentré, l'eau se dirigera dans le sens inverse du flux osmotique, on parlera alors d'**osmose inverse**.



Sur le plan technologique, le système d'osmose directe ressemble *comme deux gouttes d'eau* à sa sœur l'osmose inverse, excepté que les pressions d'opération sont très faibles. Mais, surtout il faut qu'une **solution de soutirage** (solution osmotique) **ayant une pression osmotique plus élevée que la solution à traiter circule de l'autre côté de la membrane pour extraire l'eau** (voir le schéma ci-dessous). L'eau de mer est idéale pour jouer ce rôle car sa pression osmotique oscille autour de 28 bars.



LES SOLUTIONS DE SOUTIRAGE: PAS FACILE À TROUVER

□ L'eau de mer est une des meilleures solutions de soutirage à condition d'y avoir accès. Sinon, on a recours à des mélanges soit à base de sels, de sucre, de polymères, etc. Un bel exemple: **le mangrove utilise une solution très sucrée pour dessaler l'eau de mer.** En effet, ces arbres extraient l'eau par osmose directe: la solution sucrée circule dans les racines, qui jouent le rôle de la membrane, alimentant ainsi l'arbre en eau douce.



□ Au niveau des choix, les solutions de soutirage à base de sels sont favorisées car leurs coûts sont faibles et elles se régénèrent relativement bien soit par osmose inverse ou par évaporation (mais il y a un coût alors que la disponibilité de l'eau de mer supprime cet inconvénient).

□ Soulignons l'introduction du mélange **ammoniac + dioxyde de carbone** qui donne des pressions osmotiques élevées et qui est utilisé pour le dessalement directe de l'eau de mer. Plus facile à recycler, que les solutions salines, il amène son lot de problèmes (ie.: eau contaminée par l'ammoniac).

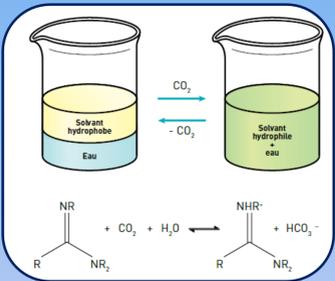
□ Le tableau ci-dessous donne un aperçu des pressions osmotiques des solutions de soutirage et celles de l'eau pour comparaison.

SOLUTIONS	CONCENTRATION en g/L (M ou mol/L)	PRESSION OSMOTIQUE en bars
Eaux douces	100 à 1000 ppm de sels	0,068 - 0,680
Eaux saumâtres	1000 à 10000 ppm de sels	0,680 - 6,800
NaCl*	35,2 (0,60 M)	28
CaCl ₂ *	43,8 (0,39 M)	28
MgSO ₄ hydraté*	141,3 (0,57 M)	28
MgCl ₂ *	34,2 (0,35 M)	28
Glucose (C ₆ H ₁₂ O ₆)**	204 (1,13 M)	28
NH ₃ /CO ₂ ***	(1 à 6 M)	48 - 250

*D'après Achilli et al., 2010; température 25 °C
**Calculer avec l'équation de van t'Hoff pour une solution idéale à la même température ($\pi = iMRT$)
***Température 50 °C

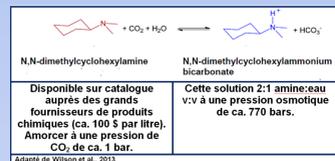
LES LIQUIDES IONIQUES A POLARITÉ COMMUTABLE: UNE CHIMIE ÉLÉGANTE

□ Les **liquides ioniques à polarité commutable** ont été introduits en 2005 par Jessop. Ils sont très utilisés comme solvants et comme absorbants pour la capture du dioxyde de carbone. Ces composés ont l'étonnante capacité d'être hydrophiles lorsqu'ils ont absorbé du CO₂ et de devenir hydrophobes si on le retire.



□ Par conséquent, sous leur configuration hydrophile, ils absorbent l'eau et en version hydrophobe, ils la relâchent, car il y a séparation de phase (voir schéma ci-contre)

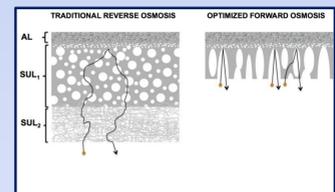
□ Le passage d'une forme à l'autre se fait en les exposant à un courant de CO₂ ou d'azote, dépendant si on veut **ajouter ou soustraire** du CO₂. On peut aussi obtenir le dégazage (le retrait du CO₂) par chauffage.



□ Les pressions osmotiques des solutions aqueuses de ces liquides ioniques sont de plusieurs centaines de bars. Les SILs se retrouvent chez différentes familles chimiques, mais les amines tertiaires sont les plus populaires car elles sont faciles à produire en grande quantité et à bas coûts.

ENCORE BEAUCOUP DE LA RECHERCHE ET D'INNOVATION À VENIR AVANT LES APPLICATIONS

□ Cependant, il reste du développement à faire au niveau du matériel des membranes pour optimiser cette filière. Actuellement, les membranes d'osmose inversée résistent assez bien aux liquides ioniques (ex. Dow BW30, SW30HR), contrairement à celles conçues pour l'osmose directe. Par contre, celles d'osmose inversée ne sont pas idéales pour l'osmose directe, car elles sont trop épaisses. Donc, il reste encore du travail....



LE MOT DE LA FIN

□ Le développement de l'osmose directe a contribué à améliorer les perspectives de réutilisation des eaux usées (et de leur dessalement).

□ Constat: on accuse un certain retard sur l'Asie au niveau de l'optimisation des ressources en eau. Par exemple, Singapour a introduit des collecteurs d'eau de pluie en forme de faux palmiers pour la récupérer et remplir ainsi 20 % de ses besoins en eau potable sans effort!



Références:

- A. Achilli, T. Y. Cath and A. E. Childress, *Selection of inorganic-based draw solutions for forward osmosis applications*. Journal of Membrane Science, 364, 233-241, 2010.
- S. Alex, *L'osmose directe ou quand l'osmose inverse change de sens*. Chimiste, 31(2), 11-16, 2017.
- P. G. Jessop, D. J. Heldebrant, X. Li, C. A. Eckert and C. L. Liotta, *Green chemistry: Reversible non polar-to-polar solvent*. Nature, 436, 1102, 2005 ou doi:10.1038/4361102a.
- P. G. Nicoll, *Forward osmosis - A brief introduction*. Ref: IDAWC/TIAN13-445 Report, 27 pages, 2013. <http://idadesal.org/wp-content/uploads/2014/10/140824-Nicoll-IDA-White-Paper-Forward-Osmosis-A-Brief-Introduction.pdf>
- A. D. Wilson, F. F. Stewart and M. L. Stone, « *Use of switchable solvents as forward Osmosis draw solutes* ». Idaho National Laboratory (USA), 2013. <http://idadesal.org/wp-content/uploads/2014/10/140824-Nicoll-IDA-White-Paper-Forward-Osmosis-A-Brief-Introduction.pdf>