Procédé d'électrodialyse appliqué au recyclage du rejet de la boucle de préparation de l'eau en hémodialyse

Ahmed Abarkan[1,2], Nabil Grimi[3], Hubert Métayer[4], Tarik Sqalli Houssaïni[2,5], Cécile Legallais[1]

Affiliation 1 : Laboratoire de Biomécanique et Bioingénierie (BMBI), CNRS, Université de technologie de Compiègne, 60203 Compiègne, France

Affiliation 2 : Laboratoire d'Epidémiologie et de Recherche en Sciences de Santé (ERESS), Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fez 30050, Maroc

Affiliation 3 : Laboratoire Transformations Intégrées de la Matière Renouvelable (TIMR), Université de technologie de Compiègne, ESCOM, 60203 Compiègne, France

Affiliation 4 : Centre d'autodialyse La Dialoise, 5 rue Jean-Jacques Bernard, 60200 Compiègne, France

Affiliation 5 : Service de Néphrologie, Hôpital Universitaire Hassan II, Fez 30050, Maroc

Contexte

L'eau est une ressource naturelle précieuse, mais limitée. Les Nations Unies estiment que d'ici 2025, deux tiers de la population mondiale sera localisée dans des pays en prise avec des problèmes de stress hydrique. La technique d'hémodialyse, pour les patients en insuffisance rénale chronique, est considérée comme un traitement à fort impact sur les plans économique et environnemental, en particulier pour la consommation d'eau. Au niveau mondial, 3 millions de patients sont actuellement prise en charge, avec une croissance de 7% par an. En France, un rapide calcul amène à une consommation d'eau estimée à environ 3 millions de m^3/an pour la prise en charge des 50 000 patients hémodialysés.

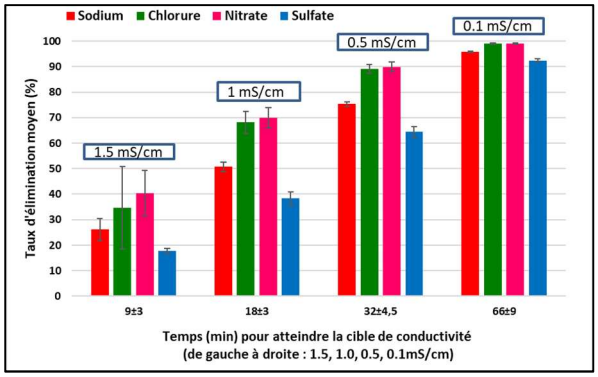
A l'heure actuelle, dans la très grande majorité des sites, cette eau va directement à l'égout après son usage, alors qu'une partie pourrait très certainement être recyclée. Il convient donc de réfléchir, dans une perspective de transition écologique, à la réutilisation des 250 à 300 L d'eau /patient/séance qui sont rejetés pendant le processus d'osmose inverse (OI) qui permet d'envoyer une eau ultrapure vers les générateurs d'hémodialyse. Cette eau, moyennement salée, n'est jamais en contact avec le patient. Elle pourrait être traitée par électrodialyse (ED) en mode recirculation afin de lui conférer une composition répondant aux normes ou recommandations pour des réutilisations sur site, en irrigation, remplissage de piscine de rééducation, ou nettoyage des instruments avant stérilisation.

Matériels et Méthodes

Les rejets OI proviennent du centre d'hémodialyse de Compiègne. Nous avons utilisé un module ED à l'échelle de laboratoire équipé de 5 paires de membranes anioniques et cationiques (PCCell, Heusweiler, Allemagne), pour une surface d'échange total de 640 cm^2. Afin de déterminer l'influence de différentes conditions opératoires, tels que les débits, la concentration initiale et la tension appliquée (E), sur le taux de déminéralisation (DR) et la consommation d'énergie spécifique (SPC), nous avons réalisé un plan d'expérience avec des solutions modèles (NaCl), en mode batch. Les conditions opératoires menant à de très bons DR avec une consommation électrique modérée, à savoir un débit du diluât (Q) de 20 $L.h^{-1}$ et une différence de potentiel (E) de 12V, ont été choisies et appliquées à la solution réelle. Les analyses d'eau (sélection d'ions mesurés pour évaluer la qualité de l'eau, pH) ont été effectuées suivant les normes en vigueur par la société Eurofins Alpabio (Parçay Meslay, France).

Résultats et discussion

La conductivité initiale moyenne de l'eau issue du rejet OI est de 1,96 ± 0,09 mS.cm^{-1}. L'application de l'électrodialyse permet de parvenir à la diminution significative de cette conductivité, avec des taux d'élimination variables pour chaque ion, qui sont en lien avec leur valence, leur rayon de Stokes ou leur concentration initiale (Abarkan et al., 2022). Suivant la cible de conductivité, la durée du traitement de 1L de diluât doit être adaptée (Figure 1). Nous avons également pu montrer qu'il était possible d'obtenir un taux de récupération de 80% avec des consommations électriques limitées. La productivité du procédé est supérieure à celle généralement montrée dans la littérature, du fait de la phase préliminaire d'optimisation (Patel et al., 2021).



Potentiel d'utilisation des effluents OI traités	Conductivité cible (mS/cm)	DR (%)	SPC (KW.h.m^{-3})	W (L.m^{-2}.h^{-1})
Piscine de rééducation	1.05	45	0.69	107
Avant stérilisation Lavage manuel	1	48	0.72	102
Avant stérilisation Lavage en machine et pompe à vide	0.65	66	0.98	70
Irrigation des espaces verts	0.5	74	1.09	59

Figure 1 : A gauche : Taux d'élimination pour les ions majoritairement présents dans le rejet OI, en fonction du temps de traitement. Chaque process est stoppé quand la conductivité cible, mesurée en temps réel, est atteinte. A droite, résumé des taux de déminéralisation (DR), consommation spécifique (SPC) et productivité (W) obtenus pour les cibles de conductivité en fonction de l'usage.

Conclusion

L'électrodialyse peut satisfaire un taux de déminéralisation élevé avec une faible consommation d'énergie. La durée du traitement dépend de l'objectif de conductivité. Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau obtenue à la fin du traitement sont conformes aux recommandations de de différents usages choisis. Le traitement des rejets d'OI est donc réalisable avec l'électrodialyse. La prochaine étape sera l'étude du procédé à l'échelle pilote, pour in fine parvenir au traitement journalier d'une dizaine de m^3 par jour sur un site de taille moyenne.

Remerciements

Cette étude a été partiellement soutenue par l'ITE de l'Alliance Sorbonne Université (IDEX SUPER).

Références bibliographiques

Abarkan, A., Grimi, N., Métayer, H., Houssaïni, T.S., Legallais, C. Electrodialysis can lower the environmental impact of hemodialysis. *Membranes*, 2022, 12 (1), art. no. 45.

Patel, S.K.; Biesheuvel, P.M.; Elimelech, M. Energy consumption of brackish water desalination: Identifying the sweet spots for electrodialysis and reverse osmosis. *ACS EST Eng.* 2021, 1, 851–864.