TECHNOLOGIES Saint-Laurent

RÉSUMÉ

Depuis leur création à la fin des années 1950, les technologies membranaires sont devenues des procédés de séparation ayant un grand impact au niveau industriel. Le marché, tant pour le traitement des solutions aqueuses que des solutions non aqueuses, est en pleine croissance.

Leurs qualités principales - séparation physique sélective par différence de pression, obtention d'un perméat de qualité constante, récupération de matières premières - sont des atouts que peu de techniques offrent. De ce fait, que ce soit pour l'eau potable ou pour les eaux usées industrielles et municipales, les membranes, couplées ou non avec des traitements biologiques, physico-chimiques ou autres, sont des technologies à envisager sérieusement et, bien souvent, incontournables.

OUTIL NOVATEUR

POTENTIEL DES TECHNOLOGIES MEMBRANAIRES POUR LE TRAITEMENT DE L'EAU POTABLE ET DES EAUX USÉES

POINTS SAILLANTS

- **Technologie**
  Technologies basées sur une séparation physique permettant l'obtention d'une eau d'excellente qualité bactériologique et/ou physico-chimique et couvrant une large gamme de performances.
- **Environnement**
  Technologies permettant une meilleure gestion des ressources en eau (qualité et volume consommé), une diminution du volume de boues à éliminer et une rétention maximale des polluants.
- **Économie**
  Technologies permettant des économies par la récupération d'eau de procédé, de matières premières et/ou d'énergie et une diminution des volumes d'eaux usées à traiter.

Saint-Laurent Vision 2000

Environnement Canada Protection Région du Québec
Environment Canada Protection Québec region

Centre National en Électrochimie et en Technologies Environnementales

Développement économique Canada
Canada Economic Development

OBJECTIFS DE LA FICHE

L'objectif de cette fiche est de sensibiliser les décideurs industriels et politiques aux technologies membranaires et de démontrer leur potentiel économique et environnemental dans le traitement de l'eau. Les technologies membranaires sont en pleine expansion depuis une vingtaine d'années. Elles permettent de traiter l'eau par des voies physiques et conviennent tant pour l'eau potable que pour les eaux industrielles et municipales. Dans le cas de l'eau potable, leurs qualités premières sont une réduction considérable de l'ajout de produits chimiques, une rétention quasi absolue des bactéries, des virus, de la matière organique naturelle et des ions multivalents dissous, raisons qui justifient amplement leur utilisation dans le contexte de la santé humaine. Leur application aux eaux industrielles et municipales est tout aussi intéressante. Les membranes agissent comme polisseurs d'eau, permettent de réutiliser l'eau et de récupérer des matières premières.

PROBLÉMATIQUE

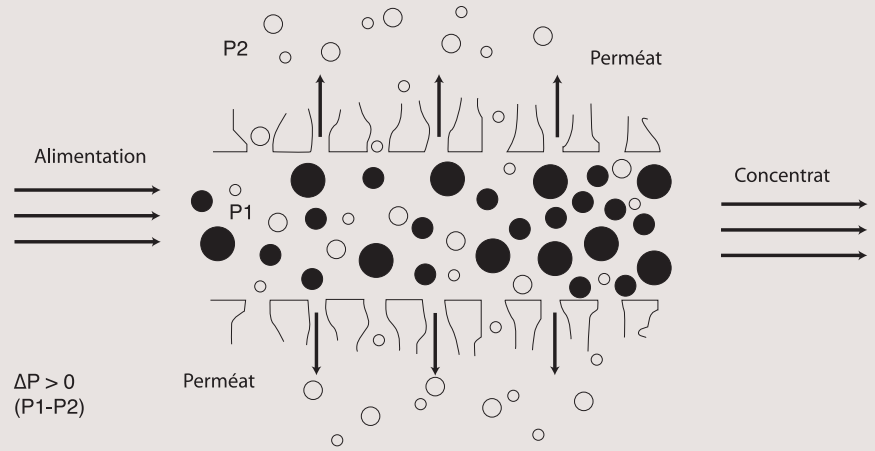
La demande sans cesse croissante en eau par l'industrie, l'agriculture et à des fins domestiques, a entraîné une augmentation de la pollution et un appauvrissement des ressources en eau.
Pour sauvegarder cette ressource naturelle, il est impératif de trouver les moyens adéquats de traitement. Parmi les solutions les plus en vue, les technologies membranaires, qui conviennent pour traiter tous les types d'eau et permettent d'en réduire la demande, sont les meilleurs atouts.

TECHNOLOGIE

Les membranes ont connu un essor sans précédent durant les vingt dernières années tant pour le traitement de l'eau potable et en agroalimentaire que pour le traitement des eaux usées municipales et industrielles (tableau 1). Parmi les techniques les plus utilisées, on retrouve la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (OI). Ces techniques, couplées ou non à un bioréacteur, sont des procédés de séparation utilisant la pression comme force motrice. Elles permettent, en fonction de la nature et de la structure de la membrane, de produire deux courants : le perméat (l'eau filtrée épurée) et le concentrat (eau concentrée en contaminants).
Pour ces technologies, le fluide circule non pas perpendiculairement mais parallèlement à la surface de la membrane afin d'assurer par sa vitesse d'écoulement un auto-nettoyage (figure 1, filtration tangentielle).

Toute technologie membranaire requiert une membrane et un module qui lui tient lieu de support. Une membrane est une barrière sélective de quelques centaines de nanomètres à quelques millimètres d'épaisseur, qui sous l'effet de la force motrice, va permettre ou empêcher le passage de certains composants entre deux milieux qu'elle sépare. La séparation sélective ou permsélectivité correspond à l'ensemble des taux de perméabilité aux différentes

FIGURE 1 : SCHÉMA DE LA FILTRATION TANGENTIELLE



MÉTHODOLOGIE

substances contenues dans une solution. La force motrice englobe les gradients de pression, de concentration, de potentiel électrique ou encore de température. Il existe toute une variété de matériaux membranaires et de structures qui forment autant de possibilités de configuration et de classification (tableau 2). On distingue deux types de membranes :

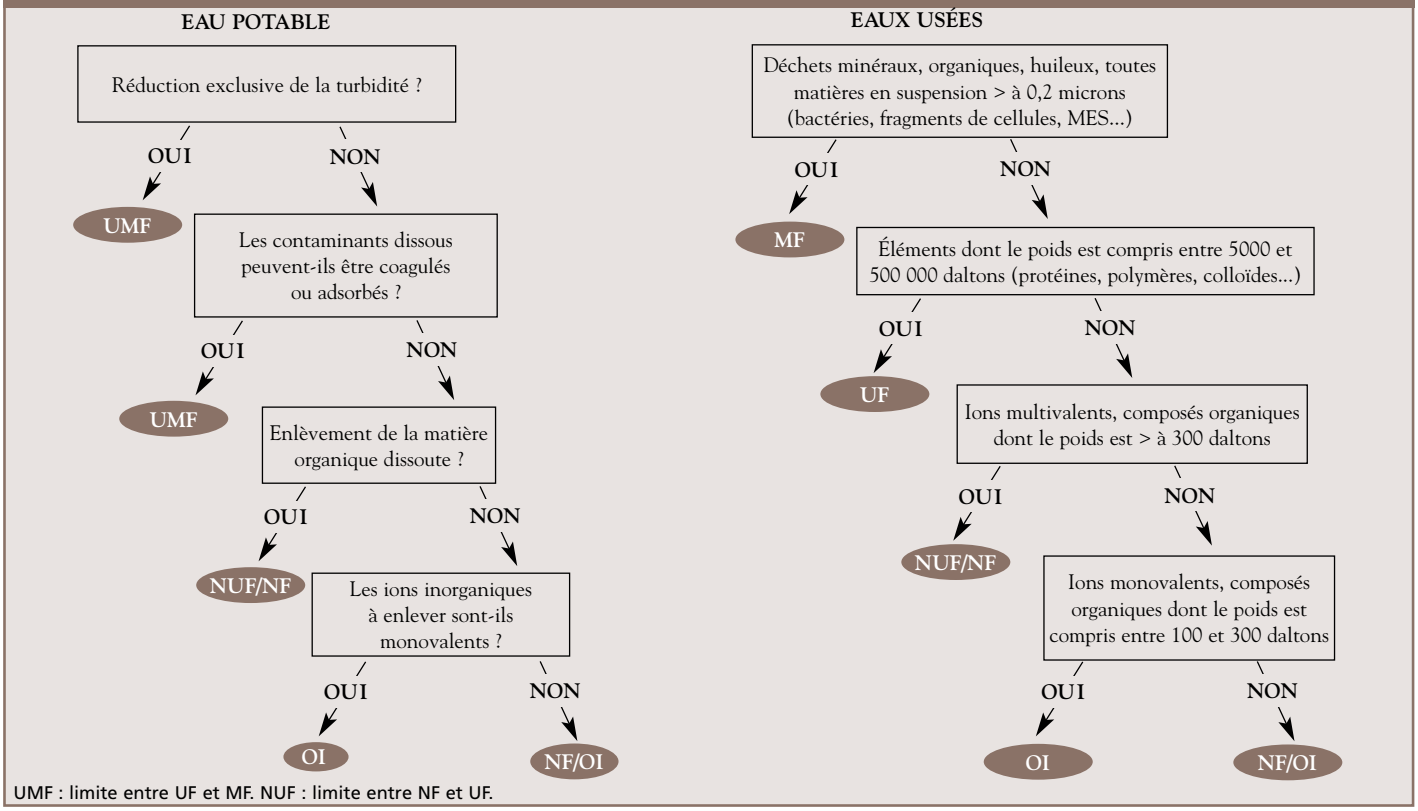
- Les membranes organiques, produites à partir de polymères organiques (acétate de cellulose, polysulfone, polyamides, etc.).
- Les membranes minérales ou inorganiques, composées de corps entièrement minéraux, principalement les céramiques et le métal fritté.

Ces membranes peuvent être utilisées selon différentes configurations.

- Module spiralé : constitué de feuilles de membranes enroulées en spirale.
- Module plan : constitué de feuilles de membranes planes.
- Module tubulaire : sous forme de tube polymérique, dont le diamètre est important (supérieur au centimètre) ou en réseau dans une matrice en céramique.
- Module à fibres creuses (petits tubes en polymère dont le diamètre varie du millimètre au micromètre).

Le succès des technologies membranaires dépend d'un bon protocole d'évaluation basé sur une étude minutieuse de la problématique et de la qualité de l'eau. Il est en effet essentiel de déterminer tous les paramètres afin de remettre au client le produit le mieux adapté à ses besoins. Les différentes étapes du processus de recherche sont illustrées aux figures 2 et 3.

FIGURE 2 : ARBRE DÉCISIONNEL POUR LE CHOIX D'UNE TECHNOLOGIE MEMBRANAIRE DE TRAITEMENT DE L'EAU POTABLE ET DES EAUX USÉES



UMF : limite entre UF et MF. NUF : limite entre NF et UF.

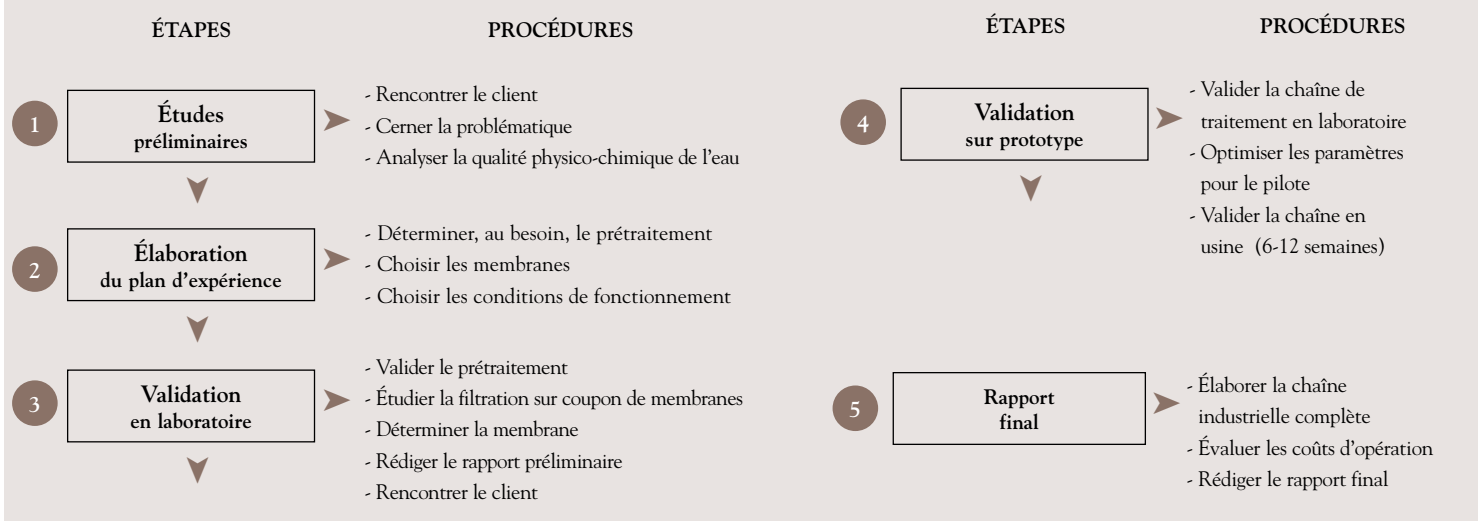
TABLEAU 1 : EXEMPLES D'EFFLUENTS TRAITÉS PAR LES TECHNOLOGIES MEMBRANAIRES

TYPE DE TECHNOLOGIE (TAILLE DES PORES)	TYPE D'EFFLUENTS TRAITÉS	DOMAINES
Microfiltration (0,05 à 3 microns)	• Procédé de clarification, barrière de protection contre les kystes de protozoaires • Décontamination de produits agro-alimentaires (lait, fromage…) • Recyclage de solutions alcalines • Rétention de particules colloïdales • Solutions contenant des liquides huileux • Solutions contenant des matières en suspension (MES) inorganiques et/ou organiques	• Agro-alimentaire • Eau potable • Métallurgie • Mines • Pâtes et papiers • Pétrochimie • Textile
Ultrafiltration (3 à 130 nm)	• Enlèvement des colloïdes, virus et une partie de la matière organique naturelle • Diminution de la coloration des eaux • Récupération d'eau chaude • Récupération des résidus de « papier couché » • Traitement d'effluents à faibles charges organiques • Valorisation de déchets d'abattoir • Enlèvement des MES, huiles et lubrifants • Épuration d'effluents contenant des colles • Épuration d'effluents d'usines pétrochimiques contenant des polyols	• Eau potable • Métallurgie • Mines • Pâtes et papiers • Pétrochimie • Tannerie • Textile
Nanofiltration (0,9 à 6 nm)	• Enlèvement des ions multivalents, 80-95 % de la matière organique naturelle et de la couleur • Récupération d'eau et/ou de colorants • Enlèvement des micro-polluants (pesticides, herbicides, insecticides) • Concentration et récupération de métaux • Concentration et récupération de protéines • Concentration et purification d'effluents acides ou alcalins contaminés	• Aéronautique • Agro-alimentaire • Chimie • Eau potable • Métallurgie • Mines • Pâtes et papiers • Tannerie • Textile
Osmose inverse (0,1 à 1,5 nm)	• Enlèvement des ions monovalents, dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres • Récupération d'eau d'effluents colorés • Récupération d'eau d'effluents d'usine de blanchiment ultrafiltrés et d'eau blanche ultrafiltrée • Production d'eau ultra pure pour utilisation dans des procédés sensibles • Récupération d'eau d'effluents miniers • Concentration et purification d'effluents acides ou alcalins contaminés • Traitement d'eaux préalablement microfiltrées ou ultraflitrées pour réutilisation	• Aéronautique • Agro-alimentaire • Chimie • Eau potable • Électronique • Métallurgie • Mines • Pâtes et papiers • Pétrochimie • Pharmaceutique • Tannerie • Textile
Bioréacteur à membranes	• Remplacement de la décantation secondaire par une filtration interne ou externe • Tous les types d'eau en fin de collecte	• Toute industrie qui applique un traitement biologique

TABLEAU 2 : AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES DIFFÉRENTS MODULES ET DES DIFFÉRENTES STRUCTURES DE MEMBRANES

FORME DU MODULE	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Plan	• Faible coût des membranes • Travail à hautes pressions • Parallèle ou en série	• Faible ratio surface membrane / volume d'encombrement (100-400 m^2/m^3) • Coût d'immobilisation important • Difficulté de remplacer les membranes
Tubulaire	• Forte concentration de MES • Travail à hautes pressions • Parallèle ou en série	• Faible ratio surface membrane / volume d'encombrement (inférieur à 300 m^2/m^3) • Nécessite beaucoup d'énergie • Entreposage de longues membranes
À fibres creuses	• Modulable • Ratio surface membrane / volume d'encombrement important (600-1200 m^2/m^3) • Forte concentration de MES	• Seulement en parallèle • Basse pression obligatoire
En spirale	• Ratio surface membrane / volume d'encombrement important (300-1000 m^2/m^3) • Modulable • Travail à hautes pressions • Parallèle ou en série	• Risque élevé de colmatage
Membrane organique (tous les modules)	• Grande gamme de matériaux constitutifs • Faible coût	• Difficilement stérilisable • Peu résistante aux solvants, au chlore résiduel et à l'ozone • Température maximale d'utilisation : 85 °C
Membrane inorganique (module plan et tubulaire)	• Longue durée de vie • Résistance aux solvants, aux agents chimiques et aux hautes températures • Facilement stérilisable par vapeur ou chlore	• Coût élevé • Facteur de mise à l'échelle plus ou moins linéaire

FIGURE 3 : ÉVALUATION DE LA TRAITABILITÉ DE L'EAU POTABLE ET DES EAUX USÉES PAR LES TECHNOLOGIES MEMBRANAIRES



POTENTIEL ET LIMITES

Potentiel

Le potentiel économique et environnemental des techniques membranaires est important. En effet, les membranes permettent de :

- Réutiliser l'eau traitée et ainsi d'en diminuer la consommation et d'en récupérer son potentiel calorifique.
- Réutiliser des matières premières (produits chimiques, solvants, pigments, protéines…)
- Remplacer certains procédés chimiques, ce qui supprime la problématique de commande, de manutention, de transport, de stockage et d'élimination des produits chimiques.
- Concentrer des effluents à éliminer.
- Lorsque couplées à un bioréacteur, les membranes permettent de réduire le volume de boues générées et d'obtenir une eau traitée d'excellente qualité.
- Traiter les eaux à la source plutôt qu'en fin de collecte où elles sont mélangées.
- Concentrer des solutions contenant des éléments à forte valeur ajoutée.

Les technologies membranaires font appel à des systèmes compacts et adaptables pouvant traiter des volumes d'eau allant du litre par minute aux millions de litres par minute.

Limites

Les membranes étant des barrières physiques, elles sont sujettes au colmatage, à la dégradation physique (abrasion, température...) ou à l'attaque de produits chimiques (solvants, chlore...), tout dépendant du matériau structurant. Bien que les limites de tolérance des membranes sont sans cesse repoussées, il demeure que dans la plupart des cas, des prétraitements sont nécessaires.
Pour le dessalement d'eau, la limite économique se situe aux environs de 45 g de sel par litre d'eau.

INFORMATION

Cette fiche a été rédigée à partir d'une recherche bibliographique, de l'expérience et des travaux de recherche effectués par le Centre national en électrochimie et en technologies environnementales (CNETE).
Ce projet a été financé par Environnement Canada.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser à :

Environnement Canada
Section innovation technologique et secteurs industriels

Jean-René Michaud, ing., M. Sc. A.

Tél. : (514) 283-9207

Courrier électronique : jean-rene.michaud@ec.gc.ca

CNETE Inc.
Richard Northon, Chimiste, M. Sc.
Directeur général

Tél. : (819) 539-8508

Courrier électronique : rnorthon@cnete.qc.ca

Site Internet : www.cnete.qc.ca

TECHNOLOGIES Saint-Laurent

Les fiches d'information Technologies Saint-Laurent sont destinées aux entreprises, industries, organismes et personnes qui s'intéressent aux nouvelles technologies environnementales. Elles sont produites par Environnement Canada, dans le cadre de Saint-Laurent Vision 2000. Elles servent à diffuser les résultats obtenus lors des projets de développement et de démonstration technologiques réalisés dans les cinq secteurs suivants : eaux usées industrielles, sols contaminés, déchets dangereux, sédiments contaminés et outil novateur.

Vous pouvez obtenir les fiches en vous adressant à :
Environnement Canada
Section innovation technologique et secteurs industriels
105, rue McGill, 4e étage
Montréal (Québec) H2Y 2E7
Tél. : 1 800 463-4311

Publications disponibles sur La Voie verte :
http://lavoieverte.qc.ec.gc.ca/dpe/Francais/dpe_main_fr.asp?innov_choix_pub

Production :
Dianne Ouellet

Rédaction :
Martin Girard
Éric Orset

Révision du texte :
Monique Simond
Jean-René Michaud

Mise en page :
Lacroix O'Connor Lacroix

Impression :
Imprimerie VDL

Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement
© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2002
N° de cat. : En1-17/49-2002F
ISSN : 1188-7990
ISBN : 0-662-88042-0

Décembre 2002

Also available in English under the title: *Potential of Membrane Technologies for the Treatment of Drinking Water and Wastewater*

Canada