

Chapitre 12: Échangeurs d'ions et séparation par membranes

↳ Échangeurs d'ions: substances granulaires solides insolubles dont la structure moléculaire comporte des radicaux (R) acides ou basiques sur lesquels les ions fixés (cation C [H^+ ; Na^+], ou anion A [OH^-]) sont susceptibles d'être remplacés par certains ions (B) de même charge d'une solution aqueuse

Échangeurs d'ions (suite)

↳ échange d'ions => réactions chimiques :

échange anionique



échange cationique



Échangeurs d'ions (suite)

☞ Les principaux radicaux R sont :

- le radical carboxylique (-COOH) comme acide faible
- les ammonium quaternaires (-R₃N⁺OH⁻) comme base forte
- les amines (-RNH) comme base faible

☞ composés naturels (zéolite)

☞ composés minéraux synthétiques (silico-aluminates)

☞ composés organiques polymériques :
résines échangeuses d'ions)

Échangeurs d'ions (suite)

☞ 2 types de résines: gel à structure micro poreuse et résines macroporeuses.

☞ L'échangeur fonctionne de façon similaire à une colonne d'adsorption et après échange de tous les ions potentiellement échangeables (tel que prévu par l'équilibre chimique), il faut procéder à la régénération de l'échangeur à l'aide d'une solution concentrée en A⁻ [NaOH], ou C⁺ [solutions de H₂SO₄, NaCl] et récupérer ainsi l'ion B.

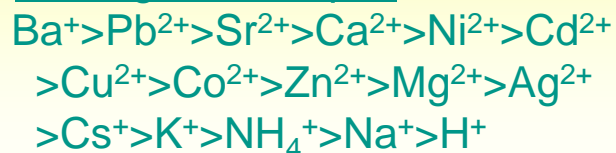
Échangeurs d'ions (suite)

☞ Comme en adsorption, les courbes de percée de colonne sont donc très utiles pour le dimensionnement des installations et le modèle présenté au paragraphe 11.3 peut être utilisé (voir la figure 13.6-7 page 12.2.1 pour un effluent contenant du cuivre).



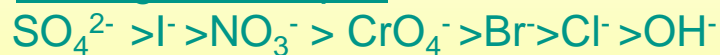
Facilité d'échange des ions:

☞ échange cationique :



En général, les échangeurs d'ions usuels ne sont donc pas sélectifs vis à vis d'un seul ion et pour des mélanges contenant des ions métalliques et du calcium, ce dernier sera fixé de préférence aux métaux.

☞ échange anionique :



Facteur limitant l'usage des résines

- ☞ la charge organique dissoute ou certains agents complexants peuvent empoisonner la résine
- ☞ une forte teneur en matière en suspension peut engendrer facilement le colmatage de la colonne

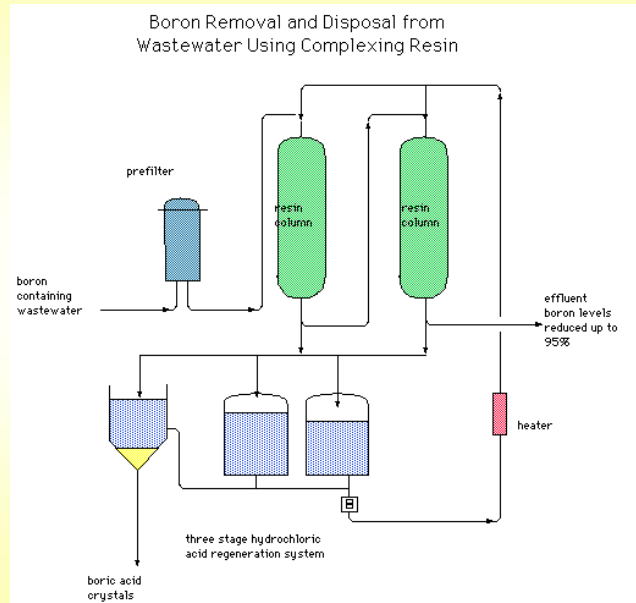
Résines spéciales:

- ☞ les résines adsorbantes destinées par exemple à la rétention de certains composés organiques comme les pesticides (voir table 9.1 page 12.2.1)
- ☞ les résines chélatantes permettant la fixation sélective de métaux lourds

Exemple de résines échangeuses d'ions commerciales:

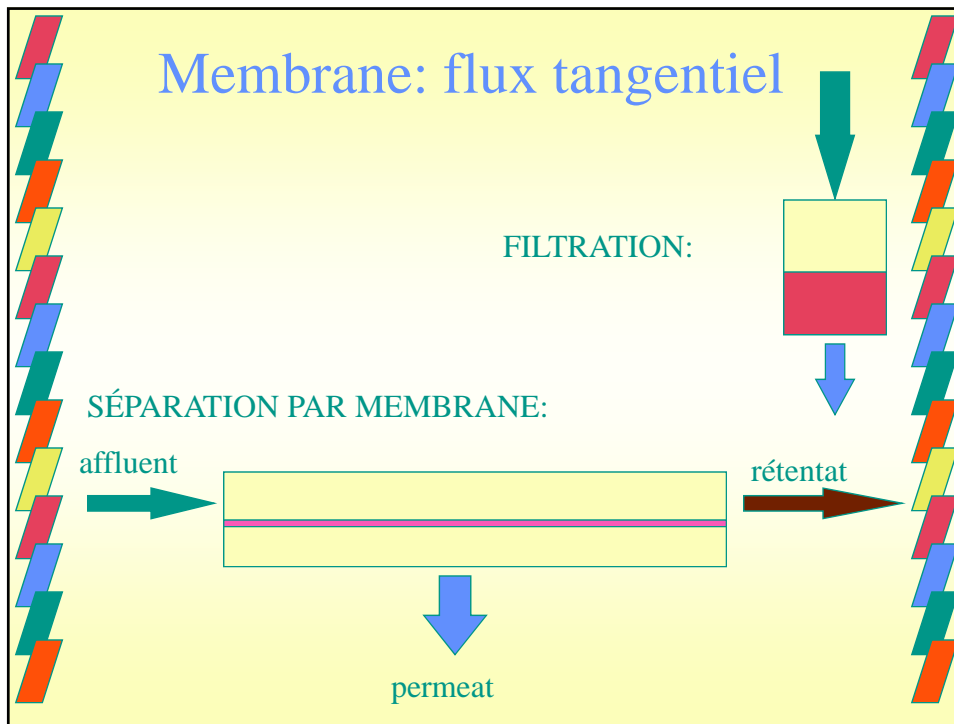
http://www.dow.com/products/product_line_detail.page?product-line=1120186

<http://www.liquidsolid.com/diagrams/boron.htm>



Séparation par membranes

- ☞ Les membranes sont des barrières micro poreuses ou denses, constituées de matériaux polymériques, ou céramiques.
- ☞ Ce sont des différences de pression, de concentration ou de potentiel électrique de part et d'autre de la membrane qui engendrent le transfert de matière



procédés par membranes

TABLEAU I: PROCÉDÉS DE SÉPARATION PAR MEMBRANES

PROCÉDÉ	DOMAINE D'APPLICATION	GRADIENT MOTEUR DE LA SÉPARATION	PRODUIT RÉCUPÉRÉ
Osmose inverse	solution aqueuse avec soluté de faible poids moléculaire	différence de pression < 100 bars	solvant
Ultrafiltration	solution de macromolécules émulsions	différence de pression < 10 bars	solvant
Microfiltration tangentielle	suspension, émulsions	différence de pression < 5 bars	phase continue
Perméation des gaz	mélanges gazeux	différence de pression < 80 bars	un composé en particulier
Pervaporation	mélange de solutions organique, organique-aqueuse	rapport des pressions partielles aux pressions de saturations	un composé en particulier
Osmose	solution aqueuse	différence de concentration	solvant
Dialyse	solution aqueuse	différence de concentration	soluté (ions)
Electrodialyse	solution aqueuse	différence de potentiel électrique	soluté (ions)

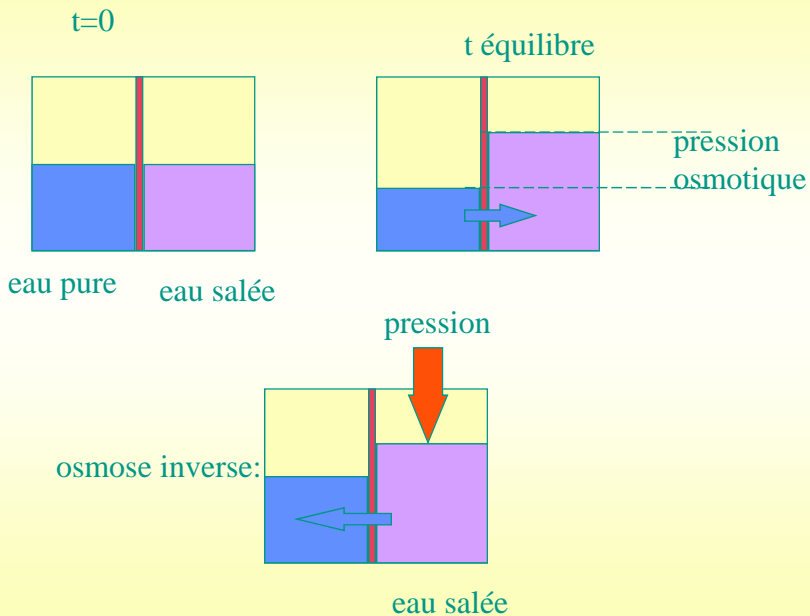
séparation par membranes (suite)

☞ A l'exception de la pervaporation, les procédés par membranes se font sans changement de phase. Parmi les procédés par membranes opérant en phase liquide et dont la séparation résulte d'un gradient de pression, on distingue la microfiltration, l'ultrafiltration et l'osmose inverse.

	TAILLE DES ESPÈCES SÉPARÉES en μm^*	PRESSION D'OPÉRATION
MICROFILTRATION	de $5 \cdot 10^{-2}$ à 40	0.1 à 5 bars
ULTRAFILTRATION	de $2 \cdot 10^{-3}$ à $2 \cdot 10^{-1}$	1 à 10 bars
OSMOSE INVERSE	de $1 \cdot 10^{-4}$ à $4 \cdot 10^{-3}$	5 à 100 bars

(*) $1 \mu\text{m} = 10^{-4}$ Angström

Expériences d'osmose inverse



Types de membranes:
Fibres creuses - tubulaires - spiralées
Materiau: polymères ou céramiques

Détention Métrique	Reverse Osmosis Membranes		Spiral Membranes		Shell Membranes	Other
	RO	RO	RO	RO	RO	RO
Separation Process	Reverse Osmosis	Ultrafiltration	Nanofiltration	Microfiltration	Particle Filtration	
Spiral Membrane	HFK-328 HFK-434 HFK-131	HFM-100 HFM-116 HFM-183	HFM-251 HFM-100 HFM-183	MFK-613 MFK-618 MFK-601	MFK-600 MFK-601 MFK-602	
Tubular Membrane		HFM-100	HFM-251 HFM-180 HFM-276 HFM-183	MFK-615		
Hollow Fiber Membrane		PM1 PM2 PM5 PM18	DF300 CM58 CM59 CM60 PM20 Perwater	PM600 PM700	PM680	

http://www.kochmembrane.com/solutions/wastewater_treatment/high_technology.htm

☞ Hollow fiber membrane shown at 50 times magnification. Wastewater is pumped through the inside of the fiber. Clean water exits radially through the walls of the fiber.



Fibre creuse
Membrane asymétrique

Exemples d'application des membranes avec l'eau:

- ☞ traitement d'eaux contaminées (récupération d'huiles, d'alcools)
- ☞ récupération de métaux par osmose inverse (zinc, cadmium, nickel, cuivre, chrome) d'eau de placage sous des pressions de 13 à 20 atm. (Voir figure 12.7)
- ☞ obtention d'eau potable par dessalement d'eau de mer (ex.: Key West 12000m³/j)
- ☞ production d'eau ultrapure pour les industries de l'électronique, de la santé

autres exemples:

- ☞ concentration de jus de fruit, jus d'érable, de lait
- ☞ récupération d'hydrogène, de vapeur d'eau ou d'oxygène de certains mélanges gazeux sur des unités chimiques ou pétrochimiques
- ☞ récupération d'un des produits d'une fermentation bactérienne
- ☞ concentrations d'enzymes, de virus, de protéines dans l'industrie pharmaceutique

Problèmes avec les membranes

- Le principal problème quant à la mise en oeuvre d'un procédé d'épuration par membrane est celui du colmatage (par des particules, ou des micro-organismes) qui va entraîner une diminution des flux transmembranaires et nécessiter des opérations de lavage.