

Membranes semi-perméables

Membranes d'osmose inverse

par **Rémy AUDINOS**

Professeur des universités

Ingénieur du Génie chimique de Toulouse

1. Mode d'action des membranes d'osmose inverse.....	K 362 - 2
2. Grandeurs caractéristiques.....	— 2
3. Propriétés des membranes d'osmose inverse	— 2
Références bibliographiques	— 14

Une **membrane d'osmose inverse** est une membrane artificielle **poreuse**, généralement **organique**, de type **anisotrope** (asymétrique) ou **composite**.

Le lecteur pourra se reporter à l'article K 360 de ce traité pour les définitions générales relatives aux membranes permselectives.

1. Mode d'action des membranes d'osmose inverse

Les membranes d'osmose inverse sont composées d'une **couche mince**, ou **couche active**, ou encore **peau**, de faible épaisseur, comprise entre 0,1 et 1,5 μm , comportant des micropores ; cette couche active est supportée par une ou plusieurs couches, à la fois plus poreuses et mécaniquement plus résistantes.

Par exemple, dans le cas d'une membrane composite à 3 couches, la peau est supportée par un milieu poreux, assurant un drainage aisé, lui-même disposé sur un support à larges ouvertures, comme un **tissu** ou un **non-tissé**, garantissant une bonne tenue mécanique.

C'est la couche mince qui contrôle le passage sélectif des substances. Il est couramment admis que la sélectivité et la perméabilité des membranes d'osmose inverse résultent des effets récurrents dus à la solubilité et à la diffusion des substances dans le matériau membraneux.

Ainsi, chaque constituant du milieu traité, solvant ou soluté, se dissout plus ou moins dans le matériau de la peau. Ensuite, les molécules ou ions dissous diffusent au travers du matériau de la couche mince sous l'action de la force motrice de transfert due au gradient de pression, essentiellement hydrostatique [3].

En général, l'étape de dissolution est prépondérante, déterminant la nature des substances qui pourront traverser la membrane.

Par exemple, dans le cas des membranes perméables à l'eau, la sélectivité est directement liée à la facilité d'hydratation des ions. Comme l'eau est un solvant polaire, les ions sont plus solvatés que les molécules ou que les substances neutres. Par suite, ces dernières franchiront plus difficilement la membrane. De même, les ions divalents, dont l'**énergie d'hydratation** (tableau 1) est supérieure à celle des ions monovalents, auront plus de difficulté à passer que ces derniers.

C'est aussi pourquoi, en solution aqueuse, certaines substances, dont l'ionisation dépend du pH, pourront être, ou non, arrêtées.

Mais d'autres critères peuvent être utilisés, comme les *paramètres de solubilité* [1].

Les domaines de température, de pH et de pression utilisables pour les membranes d'osmose inverse sont surtout fonction de la nature de la couche active.

Dans le cas des membranes organiques anisotropes, cette couche est constituée soit d'acétate de cellulose, soit de polyamide, soit de polysulfone modifiée, ou bien encore, de polymères dérivés.

Les membranes composites ont une couche active formée de polyamide, de polyétheramide, de polyétherurée, de polyéther, de polyalcool vinylique ou de polyéthersulfone.

2. Grandeurs caractéristiques

Les grandeurs caractéristiques des membranes d'osmose commercialisées ont été rassemblées en huit groupes. Il s'agit :

- 1 - de l'approvisionnement, qui précise le nom du fabricant, la marque et le code de la membrane ;
- 2 - des propriétés structurales, qui indiquent la nature de la couche active ;
- 3 - des propriétés physico-chimiques, qui regroupent les valeurs du seuil de coupure et du taux de rejet, le composé utilisé pour la mesure étant habituellement du chlorure de sodium ;
- 4 - des propriétés de transfert, qui comprennent la densité du flux à l'eau et le taux de récupération ;
- 5 - des propriétés mécaniques qui donnent la pression d'utilisation (maximale ou conseillée) ;
- 6 - de la tenue, qui fait état de la température et du pH du milieu ;
- 7 - du type de module réalisé et, si possible, son modèle ;
- 8 - enfin de quelques applications courantes.

Le tableau 2 donne quelques précisions sur ces grandeurs.

3. Propriétés des membranes d'osmose inverse

Les principaux fabricants de membranes d'osmose inverse sont mentionnés dans le tableau 3, auquel le lecteur pourra se reporter pour accéder aux tableaux des principales propriétés des membranes répertoriées.

Tableau 1 – Énergie d'hydratation E_{hyd} de quelques ions

Cation	Masse molaire (g/mol)	E_{hyd} (kJ/mol)	Anion	Masse molaire (g/mol)	E_{hyd} (kJ/mol)
Cs ⁺	133	286	I ⁻	127	274
Rb ⁺	85,5	337	Br ⁻	80	303
K ⁺	39	363	NO ₃ ⁻	62	310
Na ⁺	23	454	Cl ⁻	35,5	325
Li ⁺	7	636	F ⁻	19	449
Ca ⁺⁺	40	1 615	SO ₄ ⁻⁻	96	1 047

Tableau 2 – Grandeurs caractéristiques des membranes d'osmose inverse

Grandeur	Renseignements donnés au paragraphe 3
Fabricant	Nom de la société ou de la division de la société concernée
Marque	Nom sous lequel le matériau est commercialisé, avec éventuellement l'indication d'un dépôt légal, ® ou ™
Code	Repère attribué par le fabricant, parfois abrégé
Matériau	Indique la nature du matériau sélectif, dans tous les cas un polymère
Taux de rejet	C'est le rapport de la différence de la concentration de la substance en amont et en aval de la membrane sur la concentration en amont. Il s'exprime en général en pour-cent et a pour symbole <i>TR</i> . Le taux de rejet pour une substance donnée n'est pas une constante intrinsèque de la membrane, car il dépend aussi des conditions opératoires et du milieu [2]. En général, il est donné pour du chlorure de sodium dans des conditions de concentration et température précisées
Densité du flux à l'eau	C'est la quantité de perméat qui traverse l'unité de surface de membrane pendant l'unité de temps pour une différence de pression donnée. Parfois, elle peut être déduite des valeurs de débit indiquées pour le ou les modules correspondants (s'y reporter). Elle s'exprime en général en $m^3/m^2 \cdot j \cdot bar$. Habituellement le perméat est de l'eau dessalée
Taux de récupération	C'est la fraction d'eau dessalée recueillie comme perméat par rapport à l'alimentation
Pression	Pression d'essai de la membrane, ou pression maximale ou pression recommandée pour son usage. Elle s'exprime en kPa (1 kPa = 0,01 bar)
Température	Température maximale ou température recommandée pour l'usage de la membrane. Elle s'exprime en degrés Celsius (°C)
pH	Indique les valeurs extrêmes du domaine du pH que peut supporter la membrane pendant une période de temps prolongée
Hydrophilicité	Indique le « caractère hydrophile » de la membrane (cf. articles K 364 et K 365) références [4] [5]
Module	Indique le type de module commercialisé utilisant la membrane
Tolérances	Indique la teneur maximale de certains composés et la durée de contact
Applications	Il s'agit de donner quelques domaines d'applications courants : dessalement ou concentration

Tableau 3 – Principaux fabricants de membranes d'osmose inverse

Fabricant	Numéro du tableau à consulter
Dow	4
Danske Separation Systems AS (DSS AS)	5
E.I. Du Pont de Nemours and C ^o	6
Fluid System C ^o (marque ROGA [®])	7
Fluid System C ^o (marque TFC [®])	8 et 9
Hangzhou Xidoumen Membrane Industries C ^o Ltd (HXMI)	10
Hydranautics	11
Millipore (Millipore S.A. et Millipore Corporation)	12
Nitto Denko C ^o	13 et 14
Osmonics (marque DESAL [™]) (Desal-Osmonics Autocontrol SA et Desalination System)	15 et 16
Osmonics (marque SEPA [®])	17 et 18
Osmota Membran Technik GmbH	19 et 20
PCI Membrane Systems Ltd	21
Permionics	22
Rhodia Orelis	23
Stork Friesland B.V.	24
Toyobo C ^o Ltd	25
Vladipore ZAO	26

Tableau 4 – Membranes d'osmose inverse Dow, marque FILMTEC®

Matériau	Taux de rejet (2) (3) (%)	Pression (4) (kPa)	Température (4) (°C)	pH (5)	Module (7)	Tolérances (ppm)	Applications
TFC (1)	99,5 98,5	4 100	45	2 à 11	MBS	Cl < 0,1	Dessalement d'eaux saumâtres (6)

(1) TFC : film mince composite polyamide sur polysulfone ; (2) avec NaCl 2,0 g/L, à pH = 8, à 25 °C et sous 16 bar, 15 % de taux de récupération ; (3) selon module : 99,5 % pour BW 30, 98,5 % pour BW 30 LE (cf. note (6)) ; (4) valeur maximale ; (5) nettoyage entre 1 à 12 pendant 30 min ; (6) teneur en chlore inférieure à 0,1 ppm ; (7) module bobiné en spirale MBS :

Type	Surface (m ²)	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit (m ³ /j)
BW 30-330	31	201	1 016	28 (2)
BW 30-365	34	201	1 016	34 (2)
BW 30-400	37	201	1 016	40 (2)
BW 30 LE-400	37	201	1 016	34 (2)

Tableau 5 – Membranes d'osmose inverse DSS AS

Code	Matériau (1) (2)	Taux de rejet (%)	Tenue en température (°C)	Module (3)	Applications
HR 98	PBDA	85 à 98	60	MPP	Dessalement
CA	CA	85 à 98	30	MPP	Dessalement

(1) PBDA : poly 1-3 benzènediamine, film mince composite sur polypropylène ; (2) CA : acétate de cellulose ; (3) module plan à plaques MPP : type M20 (surface 0,72 m² maxi), type M30 (surface 19 m² maxi).

Tableau 6 – Membranes d'osmose inverse Du Pont, marque PERMASEP®

Code	Matériau (1)	Taux de rejet (%)	Pression (2) (kPa)	Tenue en température (2) (°C)	pH (3)	Module (4)	Applications
B 10 T	PAA	99,6	8 300	0 à 40	4 à 9	MFC	Dessalement d'eaux de mer très salées Dessalement de saumures très concentrées
B 10 TM	PAA	99,45	7 000	0 à 30	4 à 9	MFC	Dessalement d'eaux de mer peu salées
Aramid	PAA	97,3	2 760	0 à 40	4 à 9	MFC	Dessalement d'eaux saumâtres à BP (11)
B 9	PAA	92,0				MFC	Dessalement d'eaux saumâtres à MP (11)

(1) PAA : polyamide aromatique asymétrique (aramide) ; (2) valeur maximale sur le module ; (3) nettoyage entre 2,5 et 12 ; (4) module à fibres creuses MFC :

Type	Membrane	Surface (m ²)	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit (m ³ /j)	
SW H 8540	HF	B 10 T	1 219	216	1 031	30,3 (5)
6880 T	B-10 Twin	B 10 T	-	279	2 051	60,5 (6)
6835 T	simple	B 10 T	-	279	1 200	30,3 (6)
SW M 8540	HF	B 10 TM	1 219	216	1 031	39,3 (7)
6882 TM	B-10 Twin	B 10 TM	-	279	2 108	72,5 (8)
6440	simple	B 10 TM	-	154	1 260	6,81 (6)
6410	simple	B 10 TM	-	154	587	2,46 (6)
BW L 8540	HF	Aramid	1 280	216	1 032	41,6 (9)
0840	simple	B9	-	245	122	60,0 (10)
0440	simple	B9	-	137	1 190	15,9 (10)
0420	simple	B9	-	137	640	9,1 (10)
0410	simple	B9	-	137	435	5,3 (10)

(5) mesuré avec de l'eau à 35 g NaCl/L, à 25 °C sous 69 bar, taux de récupération de 35 % ; (6) mesuré avec de l'eau à 35 g NaCl/L, à 25 °C sous 69 bar, taux de récupération de 75 % ; (7) mesuré avec de l'eau à 32 g NaCl/L, à 25 °C sous 69 bar, taux de récupération de 35 % ; (8) mesuré avec de l'eau à 32 g NaCl/L, à 25 °C sous 69 bar, taux de récupération de 75 % ; (9) mesuré avec de l'eau à 15 g NaCl/L, à 25 °C sous 15 bar, taux de récupération de 75 % ; (10) mesuré avec de l'eau à 15 g NaCl/L, à 25 °C sous 27 bar, taux de récupération de 75 % ; (11) BP : basse pression, MP : moyenne pression.

Tableau 7 – Membranes d'osmose inverse Fluid Systems, marque ROGA®

Code	Matériau (1)	Taux de rejet (2) (%)	Pression (3) (kPa)	Module (4)	Applications
SD	CA	95,5	2 900	MBS	Dessalement d'eau — Fourniture d'eau industrielle Traitement d'eaux municipales usées
HR	CA	98	2 900		
LP	CA	75	1 550	MBS	Adoucissement d'eau Eaux pour boissons
ULP	CA	30	1 550		

(1) CA : acétate de cellulose ; (2) pour les ions chlorures ; (3) pression d'essai ;
(4) module bobiné en spirale MBS :

Type	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit (m ³ /j)
4221 SD	101	1 016	7,6
4231 SD Magnum®	101	1 524	12,3
8221 SD	203	1 016	30,3
8231 SD Magnum®	203	1 524	49,2
4221 HR	101	1 016	6,1
4221 HR Magnum®	101	1 524	9,8
8221 HR	203	1 016	23,8
8231 HR Magnum®	203	1 524	39,7
9221 HR	216	1 016	29,5
4231 LP Magnum®	101	1 524	12,3
8231 LP Magnum®	203	1 524	49,2
8231 ULP Magnum®	203	1 524	37,9

Tableau 8 – Membranes d'osmose inverse Fluid Systems marque TFC® (1)

Code	Matériau (2)	Taux de rejet (%)	Pression (5) (kPa)	Tenue en température (°C)	pH	Module (6)	Applications
ULP®	PA	98,5 (3) (4)	550			MBS	Très basse pression : traitement d'eaux municipales, eau potable Basse pression (taux de rejet en sel et silice très élevé) : pharmacie, médecine. Basse pression (taux de rejet supérieur à 99,7 %) : contrôle virus, bactéries, pharmacie
HR	PA	99,5 (3)	1 550				
HR Premium	PA	> 99,7 (3)	1 550				
HR NW	PA	99,4 (3)	1 550				
HR HS	PA	99,5 (3)	1 550	80			
S	PA	85,0 (7)	550			MBS	Traitement d'eaux municipales usées Dessalement de l'eau de mer Dessalement de l'eau de mer Concentration aliments, produits lactés Polissage perméats OI, UF
XR	PA	99,6 (7)	2 240				
SS	PA	99,6 (7)	5 520				
SS Premium	PA	> 99,8 (7)	5 520				
HR	PA	99 (7)	1 550				
–	PA	95 (8) 85 (3)	552 (9) 2 410 (10)	1 à 45 (13)	4 à 5 (11) 2,5 à 11 (12)	MBS	Adoucissement de l'eau

(1) TFC : film mince composite ; (2) PA : polyamide ; (3) aux ions chlorures ; (4) sous 6,9 bar ; (5) pression d'essai ; (6) MBS : module bobiné en spirale (cf. tableau 9) ; (7) aux ions chlorures sous 6,1 bar ; (8) avec saumure type sous 5,18 bar ; (9) recommandée ; (10) maximale ; (11) recommandé ; (12) maximal ; (13) valeurs minimale et maximale.

Tableau 9 – Modules bobinés en spirale des membranes d'osmose inverse Fluid System marque TFC® (1) (cf. tableau 8)			
Type	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit (m³/j)
4280 ULP-T	101	1 016	6,1 (3)
4821 ULP	101	1 016	6,6 (3)
8821 ULP	203	1 016	27,3 (3)
8821 ULP 400	203	1 016	32,2 (3)
8831 ULP Magnum®	203	1 524	42,0 (3)
8831 ULP 600 Magnum®	203	1 524	49,0 (3)
4820 HR	101	1 016	7,2
4831 HR Magnum®	101	1 524	12,1
8822 HR	203	1 016	32,2
8822 HR 400	203	1 016	39,7
8832 HR Magnum®	203	1 524	49,2
8832 HR 600 Magnum®	203	1 524	56,7
8822 HR Premium	203	1 016	32,2
8822 HR 400 Premium	203	1 016	39,7
4821 HR NW	101	1 016	8,5
8821 HR NW	203	1 016	32,6
4821 HR HS (2)	101	1 016	4,9
8821 HR HS (2)	203	1 016	19,7
4921 S	101	1 016	6,1
8921 S	203	1 016	25,0
8921 S 400	203	1 016	30,3
4820 XR	101	1 016	5,7
8822 XR	203	1 016	25,7
8822 XR 400	203	1 016	31,4
1820 SS	101	1 016	4,2
5820 SS	152	1 016	9,5
2822 SS	203	1 016	18,9
2822 SS 360	203	1 016	22,7
2832 SS Magnum®	203	1 524	29,1
2832 SS 540 Magnum®	203	1 524	34,0
2822 SS Premium	203	1 016	18,9
2822 SS 360 Premium	203	1 016	22,7
3838 N1	96	965	5,7
3839 N1	96	984	5,7
8040 N1	203	1 016	2,9
8040 N 380	203	1 016	3,4
4040 N1	101	1 016	7,5
8921 S (surface 30,6 m ²)	203,2	1 016	25 (4)
8921S-400 (surface 37,2 m ²)	203,2	1 016	30 (4)

(1) TFC : film mince composite ; (2) stérilisable à 80 °C ; (3) sous 6,9 bar ; (4) avec solution à 500 mg NaCl/L sous 5,52 bar, à 25 °C, à pH 7,5, taux de récupération d'eau de 10 %.

Tableau 10 – Membranes d'osmose inverse HXMI (Chine)

Matériau (1) (2) (3)	Taux de rejet (4) (%)	Module (5) (6)	Applications
CTA	95 ± 1	MFC	Dessalement d'eaux saumâtres
CA-CTA	> 95	MBS	
PA	> 97	MBS	

(1) CTA : triacétate de cellulose ; (2) CA-CTA : alliage d'acétate de cellulose et de triacétate de cellulose ; (3) PA : polyamide ; (4) selon les conditions indiquées pour les modules (cf. notes (5) et (6)) ;

(5) module à fibres creuses MFC :

Type	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit (m ³ /j)
HRO 220 L	250	1 300	28 à 32 (7)
HRO 115 L	150	980	7 à 8 (7)
HRO 220 M	270	1 300	22 à 26 (8)
HRO 115 M	170	980	5,5 à 6,5 (8)

(6) module bobiné en spirale MBS :

Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit (m ³ /j)
100	1 016	5 à 7 (9)
200	1 016	20 à 30 (9)
100	1 016	> 7 (10)
200	1 016	> 30 (10)

(7) avec NaCl 1,5 g/L, à 25 °C et sous 15 bar, taux de récupération de 60 % ; (8) avec NaCl 5,0 g/L, à 25 °C et sous 28 bar, taux de récupération de 50 % ; (9) avec NaCl 2,0 g/L, à 25 °C et sous 28 bar, taux de récupération de 10 % ; (10) avec NaCl 2,0 g/L, à 25 °C et sous 16 bar, taux de récupération de 10 %.

Tableau 11 – Membranes d'osmose inverse Hydranautics

Code	Matériau (1)	Taux de rejet (2) (%)	Pression (3) (kPa)	Tenue en température (°C)	pH	Module	Tolérance Cl (ppm)	Applications
CAB 1	CAb	95	4 140	40	4 à 6	MBS (4)	0,3 à 0,5 maximum : 1	Dessalement d'eau
CAB 2	CAb	98	4 140	40	4 à 6			
CAB 3	CAb	99	4 140	40	4 à 6			

(1) CAb : mélange d'acétates de cellulose ; (2) pour une solution aqueuse contenant 2 g NaCl/L sous 28,9 bar à 25 °C, pH entre 5 et 6, et un taux de récupération 10 % pour les modules 4040 et 8040 et 16 % pour le module 8060 ; (3) pression maximale ;

(4) module bobiné en spirale MBS :

Type (2)	Surface (m ²)	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit alimentation (5) (m ³ /j)	Taux de récupération (6) (%)
4040-MSA-CAB 1	7	100,1	1 016	86,4	20
4040-MSA-CAB 2	7	100,1	1 016	86,4	20
4040-MSA-CAB 3	7	100,1	1 016	86,4	20
8040-MSY-CAB 1	31,5	201,9	1 016	408	20
8040-MSY-CAB 2	31,5	201,9	1 016	408	20
8040-MSY-CAB 3	31,5	201,9	1 016	408	20
8060-MSY-CAB 1	47,4	201,9	1 524	408	33
8060-MSY-CAB 2	47,4	201,9	1 524	408	33
8060-MSY-CAB 3	47,4	201,9	1 524	408	33

(5) valeur maximale ; (6) valeur minimale du rapport du débit de concentrat à celui du perméat.

Tableau 12 – Membranes d'osmose inverse Millipore

Code	Matériau (1)	Taux de rejet (%)	Pression (4) (kPa)	Tenue en température (°C)	pH (5)	Module (6)	Applications
Nanomax 50	PA	65 (2)	40	4 à 50	4 à 10	MBS	Industrie pharmaceutique : concentration, dessalage
Nanomax 95	PA	96 (3)	40	4 à 50	4 à 10	MBS	

(1) PA : polyamide, film mince composite ; (2) mesuré avec NaCl 1 g/L, à pH = 7, sous 7 bar ; (3) mesuré avec NaCl 1 g/L, sous 11 bar ; (4) valeur maximale ; (5) nettoyage : 2 à 4 et 10 à 11, à 40 °C ; (6) module bobiné en spirale MBS :

Type	Surface (m ²)	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit du rétentat (L/min)
Helicon RO 4	0,4	46	305	4
Helicon RO 60	5,8	102	635	40
Helicon RO 300	32	203	1 016	150

Tableau 13 – Membranes d'osmose inverse Nitto Denko marque NTR

Code	Matériau (1) (2)	Module (3) (4)	Applications
1500 (5)	CA	MMT	Eaux usées d'immeubles Effluents aqueux huileux
1600	CA	MBS	Dessalement d'eaux saumâtres ou de rivière Recyclage d'eaux de procédés
7100	TFC	MBS	Eau ultrapure pour semi-conducteurs Concentration de jus de fruits ou de boissons
7200	TFC	MBS	Concentration et raffinage d'acides aminés, de sucres, de solutions pharmaceutiques
HF	TFC	MBS	Eau ultrapure pour semi-conducteurs
SF	TFC	MBS	Dessalement d'eaux saumâtres ou de rivière
SR	TFC	MBS	Concentration et raffinage de solutions pharmaceutiques
HR	TFC	MBS	Dessalement d'effluents déjà purifiés de stations de traitement
UP	TFC	MBS	Concentration et raffinage d'acides aminés, de sucres
7400	TFC	MBS	Réduction de la DCO des effluents de blanchiment en papeterie
SWC	TFC	MBS	Dessalement de l'eau de mer Dessalement d'eaux saumâtres très salées

(1) CA : acétate de cellulose ; (2) TFC : film mince composite sur polysulfone ; (3) module multitubulaire MMT :

Type (7)	Nombre de tubes	Diamètre des tubes (mm)	Surface (m ²)	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Taux de rejet (6) (%)	Pression (kPa)	Débit (m ³ /j)
NTR 1550	18	11,5	1,6	109	2 619	50	42	1,44
NTR 1595	18	11,5	1,6	109	2 619	95	20	1,44

(4) MBS : module bobiné en spirale (cf. tableau 14) ; (5) densité de flux à l'eau 30 L/h · m² avec NaCl 0,5 %, une tenue en température jusqu'à 25 °C et un domaine de pH compris entre 3 et 7 ; (6) avec NaCl 0,5 % ; (7) enveloppe en PVC : modèle P 18 A.

Tableau 14 – Modules bobinés en spirale des membranes Nitto Denko, marque NTR (cf. tableau 13)

Type	Modèle				Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit (m ³ /j)
	seul	HG	autres	taille			
NTR 1698	oui			S4	102	1 016	6,1
NTR 1698	oui			S8	202	1 016	25,7
NTR 7197	oui						
NTR 7250	oui	HG		S2	62,5	1 016	3,6
NTR 7250	oui	HG		S4	102	1 016	12
NTR 7250	oui			S8	202	1 016	48
NTR 729		HG	HF	S2	62,5	1 016	3,6
NTR 729		HG	HF	S4	102	1 016	12
NTR 729			HF	S8	202	1 016	54
NTR 725	oui		SF				
NTR 759		HG	HR	S2	62,5	1 016	1,6
NTR 759		HG	HR	S4	102	1 016	7
NTR 759			HR	S8	202	1 016	30
NTR 759			UP	S4	102	1 016	7,5
NTR 759			UP	S8	202	1 016	32
NTR 769			SR	S2	62,5	1 016	1,1
NTR 769			SR	S4	102	1 016	4,5
NTR 769			SR	S8	202	1 016	18
NTR 7410	oui	HG		S2	62,5	1 016	8
NTR 7410	oui	HG		S4	102	1 016	25
NTR 7430	oui						
NTR 7450	oui	HG		S2	62,5	1 016	4,5
NTR 7450	oui	HG		S4	102	1 016	13
NTR 70		HG		S2	62,5	1 016	4
NTR 70		HG		S4	102	1 016	16
NTR 70			SWC	S8	202	1 016	

Tableau 15 – Membranes d'osmose inverse Osmonics, marque DESAL™

Code	Matériau (1) (9)	Taux de rejet (%)	Tenue en température (°C)	pH	Module (5)	Type	Applications
Desal-11	TFM®	99,5 (2)	50 (3)	4 à 11 (4)	MBS	AG AD	Dessalement d'eaux saumâtres Dessalement de l'eau de mer
Desal-3 HP	TFM®	99,0 (6)	50 (3)	2 à 11 (7)		SC	Séparation d'organiques Lixiviats, eaux usées
Desal-3 HR	TFM®	99,2 (8)	50 (3)	2 à 11 (7)		SE	Dessalement d'eaux saumâtres Concentration d'eaux de procédés
Desal-3 BW	TFM®	98,5 (2)	50 (3)	2 à 11 (7)		SG	
Desal-CA HR	CA-CTA	98,5 (8)	30	5 à 6,5 (10)		CD	
Desal-CA BW	CA-CTA	97,5 (8)	30	5 à 6,5 (10)		CE	
Desal-CA HF	CA-CTA	89,0 (2)	30	5 à 6,5 (10)		CG	

(1) membrane composite TFM®, polymère propriété de la société ; (2) avec NaCl 1 g/L à 25 °C sous 13,79 bar ; (3) 50 °C en général, mais 70 °C avec éléments spéciaux ; (4) optimum de pH entre 6,5 et 7,5 ; nettoyage entre 2,0 et 11,5 ; (5) MBS : module bobiné en spirale (cf. tableau 16) ; (6) avec NaCl 32 g/L à 25 °C sous 55,16 bar ; (7) optimum de pH entre 5,5 et 7,0 ; nettoyage entre 1,0 et 11,5 ; (8) avec NaCl 1 g/L à 25 °C sous 27,58 bar ; (9) CA-CTA : alliage de diacétate de cellulose et de triacétate de cellulose ; (10) nettoyage entre 3,0 et 8,0.

Tableau 16 – Modules bobinés en spirale des membranes d'osmose inverse Osmonics, marque DESAL™ (cf. tableau 15)

Type (8)	Surface (m ²)	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit (m ³ /j)	Type (8)	Surface (m ²)	Espaceur (mm)	Diamètre (8) (mm)	Longueur (mm)	Débit (m ³ /j)
AG 8040 F 400	37,16	200,2	1 016	39,75 (1)	SG 8040 C	32,52	–	201,9	1 016	27,22 (3)
AG 4025 T	5,11	98,6	635	5,48 (1)	SG 4040 CZH	9,01	–	101,1	1 016	6,62 (3)
AG 4026 F	5,11	98,6	666,8	5,48 (1)	SG 8040 CZH	32,52	–	201,9	1 016	24,6 (3)
AG 4040 F	8,36	98,6	1 016	8,88 (1)	CG 4025 T	5,11	–	98,6	635	4,73 (6)
AG 8040 F	32,52	200,2	1 016	34,78 (1)	CG 4026 F	5,11	–	98,6	666,8	4,73 (6)
AG 4040 C	8,36	101	1 016	8,88 (1)	CG 4040 F	8,36	–	98,6	1 016	7,56 (6)
AG 8040 C	32,52	201	1 016	37,78 (1)	CG 8040 F	32,52	–	200,2	1 016	27,59 (6)
AG 2540 FF	2,51	61	1 016	2,68 (1)	CE 4025 T	5,11	–	98,6	635	4,91 (7)
AG 4021 FF	3,72	99	533	3,97 (1)	CE 4026 T	5,11	–	98,6	666,8	4,91 (7)
AG 4040 FF	8,18	99	1 016	8,69 (1)	CE 4040 T	8,36	–	98,6	1 016	7,94 (7)
AG 2540 TF	2,51	61	1 016	2,68 (1)	CE 8040 F	32,52	–	200,2	1 016	30,24 (7)
AG 4021 TF	3,72	99	533	3,97 (1)	CD 4025 T	5,11	–	98,6	635	3,87 (7)
AG 4040 TF	8,18	99	1 016	8,69 (1)	CD 4026 T	5,11	–	98,6	666,8	3,87 (7)
AD 4040 F	7,71	98,6	1 016	3,94 (2)	CD 4040 T	8,36	–	98,6	1 016	6,05 (7)
AD 4040 FF	7,25	98,6	1 016	3,71 (2)	CD 8040 F	32,52	–	200,2	1 016	22,68 (7)
AD 8040 F	29,73	200,2	1 016	15,14 (2)						
SG 4025 T	5,11	98,6	635	4,54 (3)	AG 2540 (8)	2,51	0,76	60,7 (F) 61,7 (C)	1 016	2,68 (1)
SG 4026 F	5,11	98,6	666,8	4,54 (3)		1,77	1,27	60,7 (F) 61,7 (C)	1 016	2,02 (1)
SG 4040 F	8,36	98,6	1 016	7,56 (3)	SC 2540 (8)	2,51	0,76	60,7 (F) 61,7 (C)	1 016	1,18 (5)
SG 8040 F	32,52	200,2	1 016	29,11 (3)		1,77	1,27	60,7 (F) 61,7 (C)	1 016	0,83 (5)
SE 4025 T	5,11	98,6	635	4,54 (4)	SE 2540 (8)	2,51	0,76	60,7 (F) 61,7 (C)	1 016	2,27 (4)
SE 4026 T	5,11	98,6	666,8	4,54 (4)		1,77	1,27	60,7 (F) 61,7 (C)	1 016	1,60 (4)
SE 4040 F	8,36	98,6	1 016	7,56 (4)	SG 2540 (8)	2,51	0,76	60,7 (F) 61,7 (C)	1 016	2,27 (3)
SE 8040 F	32,52	200,2	1 016	29,11 (4)		1,77	1,27	60,7 (F) 61,7 (C)	1 016	1,60 (3)
SC 4040 F	7,71	98,6	1 016	3,64 (5)	CE 2540 (8)	2,51	0,76	60,7 (F) 61,7 (C)	1 016	2,38 (7)
SC 8040 F	31,59	200,2	1 016	13,61 (5)		1,77	1,27	60,7 (F) 61,7 (C)	1 016	1,67 (7)
SG 4025 C	5,76	101,1	635	5,37 (3)	CG 2540 (8)	2,51	0,76	60,7 (F) 61,7 (C)	1 016	2,27 (6)
SG 4040 C	9,01	101,1	1 016	7,57 (3)		1,77	1,27	60,7 (F) 61,7 (C)	1 016	1,60 (6)

(1) avec NaCl 2 g/L, pH = 7,5 à 25 °C et sous 15,51 bar, 15 % récupération ; (2) avec NaCl 32 g/L, pH = 7,5 à 25 °C et sous 55,16 bar, 10 % récupération ; (3) avec NaCl 2 g/L, pH = 6,5 à 25 °C et sous 15,51 bar, 15 % récupération ; (4) avec NaCl 2 g/L, pH = 6,5 à 25 °C et sous 29,3 bar, 15 % récupération ; (5) avec NaCl 32 g/L, pH = 6,5 à 25 °C et sous 55,16 bar, 15 % récupération ; (6) avec NaCl 2 g/L, à 25 °C et sous 15,51 bar, 15 % récupération ; (7) avec NaCl 2 g/L, à 25 °C, et sous 29,3 bar, 15 % récupération ; (8) type F ou C.

Tableau 17 – Membranes d'osmose inverse Osmonics, marque SEPA®

Code	Matériau (1) (2)	Taux de rejet (3) (%)	Seuil de coupure (Da)	Pression (4) (kPa)	Pression (5) (kPa)	Tenue en température (5) (°C)	pH	Module (6) (7)	Applications
SS	CA h	> 98	150	2 760	6 900	50	2 à 8	MBS FUS	Potabilisation de l'eau Boissons
ST	CA h	> 95	200	2 760	6 900	50	2 à 8		Fabrication de glace
SR	CA h	> 92	250	2 760	6 900	50	2 à 8		Fermes marines
SF	CA h	> 85	300	2 070	6 900	50	2 à 8		Récupération eaux de lavage Hôtels, restaurants
MS	PA	> 98	150	1 380	6 900	80	3 à 11	MBS FUS	Producteur d'eau potable dans les îles
MQ	PA	85	150	690	6 900	80	2 à 11		Industrie pharmaceutique Eaux pour chaudières Eaux pour hémodialyse Eau ultrapure
USP	–	99	–	–	–	–	3 à 11	MBS	Eaux pour hémodialyse Eau pour injections

(1) CA h : acétate de cellulose type S, hydrophile faible ; (2) PA : polyamide type M, composite ; (3) pour NaCl en solution à 0,2 % en masse à 25 °C sous la pression recommandée ; doublé pour les ions divalents ; (4) pression recommandée ; (5) valeur maximale ; (6) MBS : module bobiné en spirale (cf. tableau 18) ; (7) FUS : feuille unique simple de 924 cm² (1 pied carré).

Tableau 18 – Modules bobinés en spirale des membranes d'osmose inverse Osmonics, marque SEPA® (cf. tableau 17)

Osmo® sepralator				PR (1)	SR (1)	HR (1)	HR (PA) (2)	HF (PA) (2)	USPG (3)
Type	Surface (m ²)	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit (4) (m ³ /j)	Débit (5) (m ³ /j)	Débit (6) (m ³ /j)	Débit (7) (m ³ /j)	Débit (7) (m ³ /j)	Débit (7) (m ³ /j)
112	0,93	51	660	1,05	1,18	0,79	0,83	–	–
192	1,5	51	991	1,59	1,76	1,18	1,52	–	–
212	0,93	51	660	0,91	1,18	0,79	0,83	–	–
213	1,5	51	991	1,59	1,76	1,18	1,52	–	–
704	6,2	102	991	6,37	6,10	4,81	5,91	–	–
411	6,8	102	1 016	7,39	7,58	6,06	6,82	7,58	–
416	7,2	102	1 016	8,34	7,96	6,25	7,43	–	7,43
811	34,7	211	1 016	33,4	34,6	27,4	31,8	38,2	–
813	32,5	211	1 016	37,1	38,7	30,5	34,7	–	34,7
815	29,4	201	1 016	29,6	30,7	24,3	28,4	34,1	–
817	31,2	201	1 016	33,2	34,5	27,2	30,9	–	30,9

(1) acétate de cellulose type S, hydrophile faible ; (2) polyamide type M, composite ; (3) conçu et agréé pour l'industrie pharmaceutique ; (4) sous une pression de 22,1 bar avec un taux de rejet de NaCl de 87 % ; (5) sous une pression de 29 bar avec un taux de rejet de NaCl de 95 % ; (6) sous une pression de 29 bar avec un taux de rejet de NaCl de 97,5 % ; (7) sous une pression de 15,5 bar avec un taux de rejet de NaCl de 99 %.

Tableau 19 – Membranes d'osmose inverse Osmota

Code	Matériau (1) (2)	Taux de rejet (%)	Seuil de coupure (Da)	Densité de flux à l'eau (3) (L/h · m ²)	Pression (4) (kPa)	Température (4) (°C)	pH	Module (8) (9) (12)	Surface (m ²)	Applications
F 1	TFC	99	100	40	7 000	80	3 à 11 (5)	MMT	1,0 ou 2,8	Recyclage d'eaux usées Eau pour électronique
F 2	TFC	80	150	50	7 000	80	3 à 11 (5)	MMT	1,0 ou 2,8	
F 4	TFC	70	600	85	7 000	80	3 à 11 (5)	MMT	2,8	
F 6	TFC	70	600	85	7 000	80	3 à 11 (5)	MMT	1,0	
F 097	CA	97 (6)	100	35	6 000	40	3 à 8 (7)	MMT	1 ou 2	
F 092	CA	92 (6)	200	55	6 000	40	3 à 8 (7)	MMT	1 ou 2	
F 089	CA	89 (6)	300	85	6 000	40	3 à 8 (7)	MMT	1 ou 2	
CA 97	–	94 à 95						MBS MPP		
CA 89	–	94 à 95								
CO 97	–	94 à 95								

(1) TFC : film mince composite ; (2) CA : acétate de cellulose ; (3) mesuré à 25 °C sous 3 bar ; (4) valeur maximale ; (5) nettoyage 1,5 à 12 ; (6) mesuré avec NaCl 3,5 g/L, à 25 °C sous 40 bar ; (7) nettoyage 1 à 8 ;

(8) module multitubulaire MMT :

Type	Nombre de tubes	Diamètre de tubes (10) (mm)	Surface (m ²)	Longueur (mm)	Débit (11) (m ³ /j)
OS UO RM 12	18	13/–	1,0	1 105	57,6
OS UO RM 25	18	13/–	2,8	2 210	57,6
OS UO RM 12	18	14,1/17,5	1	1 318	28,8
OS UO RM 25	18	14,1/17,5	2	2 568	28,8

(9) MBS : module bobiné en spirale (cf. tableau 20) ; (10) diamètre intérieur/diamètre extérieur ; (11) débit d'alimentation d'eau ;

(12) module plan plaque (type filtre-presse) MPP :

Type	Surface (m ²)	Débit (m ³ /j)
OS UO PM 12	12	21,6

Tableau 20 – Modules bobinés en spirale des membranes d'osmose inverse Osmota (cf. tableau 19)

Type	Surface (m ²)	Débit (m ³ /j)	Type	Surface (m ²)	Débit (m ³ /j)
OS UO 200	2,4	19,2	OS UO 510	6,2	148
OS UO 200 P	2,4	24,0	OS UO 520	4,6	240
OS UO 200	2,0	19,2	OS UO 2500	31,8	432
OS UO 210	1,7	30,0	OS UO 2500 P	31,8	480
OS UO 220	1,2	38,4	OS UO 2500 HD	29,6	432
OS UO 500	8,6	96	OS UO 2501	25,6	678
OS UO 500 P	8,6	108	OS UO 2502	15,8	864
OS UO 500 HD	7,6	96			

Tableau 21 – Membranes d'osmose inverse PCI MS, marque PCI

Code	Matériau (3) (6)	Taux de rejet (%)	Pression (1) (kPa)	Tenue en température (2) (°C)	pH	Hydro- philicité (5)	Module (8)	Type	Applications
AFC 99	PA	99 (4)	6 400	80	1,5 à 12	TI3	MMT	B1	Rétention de petites molécules
CPA 12	CA	95 (4)	6 000	30	2,0 à 7,25	TI5	MMT	B1	Industrie laitière Industries alimentaires Industries des boissons Industrie pharmaceutique Industries chimiques
CPA 15	CA	90 (4)	6 000	30	2,0 à 7,25	TI5	MMT	B1	
CPA 16	CA	90 (4)	6 000	30	2,0 à 7,25	TI5	MMT	B1	
AFC 80	PA	80 (4)	6 000	70	1,5 à 10,5	TI4	MMT	B1	Nanofiltration
AFC 40	PA	60 (7)	6 000	60	1,5 à 9,5	TI4	MMT	B1	
AFC 30	PA	75 (7)	6 000	60	1,5 à 9,5	TI4	MMT	B1	

(1) valeur maximale par module ; (2) valeur maximale ; (3) PA : polyamide ; (4) pour NaCl dans des conditions spécifiques ; (5) TI : échelle arbitraire d'hydrophilicité, de faible = 1 à forte = 5 ; (6) CA : acétate de cellulose ; (7) pour CaCl₂ dans des conditions spécifiques ;

(8) module multitubulaire MMT :

Type	Nombre de tubes	Diamètre des tubes (10) (mm)	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit (m ³ /j)
B1	18	12,5	101	1 200	16 (9)
B1	18	12,5	101	2 440	13 (9)
B1	18	12,5	101	3 660	10 (9)

(9) avec de l'eau aux conditions ambiantes ; (10) diamètre intérieur.

Tableau 22 – Membranes d'osmose inverse Permionics, marque PERMA

Code	Taux de rejet (%)	pH	Module (3)	Applications
PMR 9001	90 (1)	4 à 7	MBS	Dessalement d'eaux Préconcentration de lait écrémé
PPT 9908	95 à 99 (2)	2 à 11	MBS	

(1) 95 % pour Na₂SO₄, 98 % pour MgSO₄ ; (2) 99 % pour Na₂SO₄, 99 % pour MgSO₄ ;

(3) module bobiné en spirale MBS :

Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Diamètre (mm)	Longueur (mm)
63,5	304,8	63,5	635,0
101,6	304,8	101,6	635,0
203,2	304,8	203,2	635,0
63,5	508,0	63,5	1 016,0
101,6	508,0	101,6	1 016,0
203,2	508,0	203,2	1 016,0

Tableau 23 – Membranes d'osmose inverse Rhodia Orélis, marque PERSEP™

Matériau	Taux de rejet (3) (%)	Module (4)	Applications
PA (1)	98,5	MBS	Eaux de procédé Huiles de coupe Eaux de rinçage Effluents Bioréacteur à membrane
PA (2)	99,2		

(1) PA : polyamide TFC P : pression normale et TFC L : basse pression ; (2) PA : polyamide TFC P : pression normale ; (3) pour NaCl ;
(4) module bobiné en spirale MBS type PERSEP™ :

Surface (m ²)	Diamètre (mm)	Longueur (mm)
2,5	50,8	1 016
5,1	101	984
6,3-6,6	101	1 016
10,5-21	152	984
11-28	203	1 016

Tableau 24 – Membranes d'osmose inverse STORK®

Code	Matériau (1) (5)	Taux de rejet (2) (%)	Densité du flux à l'eau (3) (L/h · m ² · bar)	Pression (4) (kPa)	Tempéra- ture (4) (°C)	pH	Diamètre du tube (mm)	Module (6) (7)	Applications
WFC 0995	TFC	99 ± 0,5	1,25 ± 0,25	6 000	70	3 à 10	14,4	MTU MMT	Dessalement de l'eau Purification de l'eau Concentration du lait, du lactosérum, Concentration de jus de fruits, Concentration de produits pharmaceutiques
WFR 0970	CA	97	0,75 ± 0,05	4 000	40	3 à 7	14,4		
WFR 0950	CA	95	1,00 ± 0,05	4 000	40	3 à 7	14,4		Traitement des eaux de chaudières Épuration de lixiviats Traitement d'effluents

(1) TFC : film mince composite polyamide sur polysulfone ; (2) pour NaCl ; (3) mesurée sous 4 MPa (40 bar) à 20 °C avec de l'eau propre ; (4) valeur maximale ;
(5) CA : acétate de cellulose ;
(6) module à tube unique MTU :

Type (8) (9)	Nombre de tubes	Diamètre des tubes (10) (mm)	Surface (m ²)	Longueur (mm)
1P1	1	14,4	0,08	1 800
1R1	1	14,4	0,08	1 800

(7) module multitubulaire MMT :

Type (8) (9)	Nombre de tubes	Diamètre des tubes (10) (mm)	Surface (m ²)	Longueur (mm)
7P1	7	14,4	0,30	1 000
7R1	7	14,4	0,30	1 000
7P3	7	14,4	0,95	3 000
7R3	7	14,4	0,95	3 000
7P6	7	14,4	1,90	6 000
7R6	7	14,4	1,90	6 000
19R1	19	14,4	0,80	1 000
19R3	19	14,4	2,50	3 000
19R6	19	14,4	5,10	6 000

(8) P : enveloppe en PVC (polychlorure de vinyle) ; (9) R : enveloppe en acier inoxydable AISI 316/316 L ; (10) diamètre intérieur.

Tableau 25 – Membranes d'osmose inverse Toyobo, marque HOLLOSEP

Matériau (1)	Taux de rejet (2) (%)	Taux de récupération (%)	Pression (3) (kPa)	Tenue en température (°C)	pH	Module (5)	Tolérance Cl (ppm)	Applications
CTA	99,4	30	6 000 (4)	5 à 40	3 à 8	MFC	1	Dessalement d'eau de mer

(1) CTA : triacétate de cellulose ; (2) valeur nominale pour une solution aqueuse contenant 35 g NaCl/L sous 55 bar à 25 °C et un taux de récupération 30 % ; (3) pression maximale ; (4) 6 000 kPa pour les 5 modules HR, 6 500 kPa pour le module HM 8255, 7 000 kPa pour les modules HM 9255, HM 10 255 et HB 10 255 (cf. note(5)) ;

(5) module à fibres creuses MFC :

Type	Nombre d'éléments	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit de perméat (6) (m ³ /j)	Taux de récupération (6) (%)
HR 3155	1	104	400	0,4	30
HR 5155	1	153	444	1,2	30
HR 5255	1	153	825	3,0	30
HR 5355	1	153	1 230	5,0	30
HR 83155	1	305	1 330	12,0	30
HM 8255	2	298	2 640	27,5	30
HM 9255	2	344	2 665	35,0	30
HM 10255	2	390	2 915	45,0	30
HB 10255	2	355	3 102	65,0	30

(6) valeur nominale.

Tableau 26 – Membranes d'osmose inverse Vladipore, marque ERO

Code	Matériau (1) (2)	Taux de rejet (%)	Densité du flux à l'eau (L/h · m ²)	Taux de récupération (%)	Pression (5) (kPa)	Tenue en température (°C)	pH	Module (6)	Tolérance Cl (ppm)	Applications
100	CA	92 (3)	35	15	3 500	35	3 à 8	MBS	5	Biotechnologies Industrie agroalimentaire
200	CA	92 (3)	35	15	3 500	50	3 à 8		5	
K 100	PA	90 (3)	70	15	3 500	45	2 à 11	MBS	0,01	Industrie laitière
B 45	PA	80 (3)	20	15	1 000	45	2 à 11		0,01	
KN 100	PA	90 (3)	35	15	2 500	45	2 à 11		0,01	Industrie chimique
KN 200	PA	90 (3)	35	15	2 500	45	2 à 11		0,01	
KM 100	PA	98 (3)	40	10	5 600	45	2 à 11		0,1	Dessalement de l'eau de mer Industrie électronique
KM MO 100	PA	97 (4)	15	10	5 600	45	2 à 11		0,1	

(1) CA : acétate de cellulose ; (2) PA : polyamide ; (3) solution aqueuse contenant 0,15 % NaCl en masse ; (4) solution aqueuse contenant 3,0 % NaCl en masse ; (5) pression maximale ;

(6) module bobiné en spirale MBS :

Type (membrane - longueur)	Surface (m ²)	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Débit (m ³ /j)
100 - 1016	7,2	100	1 016	3,6
200 - 1016	33,0	200	1 016	16,8
K 100 - 1016	7,2	100	1 016	9,6
B 45 - 340	0,58	45	340	0,24
KN 100 - 1016	8,6	100	1 016	6,0
KN 200 - 1016	37,0	200	1 016	24,0
KM 100 - 1016	7,0	100	1 016	6,0
KM MO 100 - 1016	7,0	100	1 016	2,16

Références bibliographiques

- [1] GRULKE (E.A.). – *Solubility parameters values*. Polymer Handbook, J. Brandrup et E.H. Immergut édés. John Wiley and Sons (1989).
- [2] AUDINOS (R.) et ISOARD (P.) coordonateurs. – *Glossaire des termes techniques des procédés à membranes*. SFF, IDEXPO, Cachan (1986).
- Dans les Techniques de l'Ingénieur**
- [3] MAUREL (A.). – *Osmose inverse, nanofiltration, microfiltration tangentielle. Considérations théoriques*. J 2 790, Traité Génie des procédés vol. J2II (1993).
- [4] AUDINOS (R.). – *Membranes semi-perméables. Membranes d'ultrafiltration K 364*. Traité Constantes physico-chimiques vol. K2 (11-2000).
- [5] AUDINOS (R.). – *Membranes de microfiltration tangentielle. K 365*, Traité Constantes physico-chimiques vol. K2 (5-2001).