

Table des matières

Avant-propos	13
Chapitre 1. La filtration des liquides et des gaz : le criblage des solides divisés	15
1.1. Généralités	15
1.1.1. Paramètres fondamentaux	15
1.1.2. Chute de pression à travers un lit de particules sphériques	18
1.1.3. Lois générales de la filtration	20
1.1.4. Purge du gâteau	21
1.1.5. Concept utile : le pore équivalent	22
1.2. Filtres à liquide.	23
1.2.1. Toile filtrante partiellement immergée	23
1.2.2. Chute du préfilt sur une toile à défilement	25
1.2.3. Choix des filtres à liquide	26
1.3. Essorage centrifuge (suspension liquide-solide) : théorie	27
1.4. Filtration des liquides en lit épais	34
1.5. Filtration des gaz.	35
1.5.1. Aérosols très chargés en poussières (le filtre à manches).	35
1.5.2. Filtres à haut rendement (FHR).	36
1.6. Elimination du liquide par pressage	37
1.7. Criblage	37
1.7.1. Généralités	37
1.7.2. Description des cribles	37
1.7.3. Description des cribles vibrants.	38
1.7.4. Surface criblante	39

1.7.5. Caractéristiques de l'alimentation d'un crible vibrant	40
1.7.6. Paramètres opératoires et paramètres de construction.	42
1.7.7. Critères de performance d'un crible	43
1.7.8. Traduction quantitative des développements précédents	43

Chapitre 2. Théorie de la filtration sur membrane. 49

2.1. Introduction : définition de la filtration convective	49
2.2. Soluté unique et membrane électriquement inerte	51
2.2.1. Définitions	51
2.2.2. Couche de polarisation et transmissions observables et intrinsèques	52
2.2.3. Epaisseur de la couche de polarisation	53
2.2.4. Cas des grosses molécules, macromolécules, microparticules	55
2.2.5. Transmission intrinsèque dans la membrane	55
2.2.6. Variations de la transmission observable	57
2.2.7. Apparition d'un gel	59
2.2.8. Equation de Maxwell-Stefan et dialyse	60
2.2.9. Equations pratiques.	64
2.2.10. Expression du rejet à partir des équations pratiques	66
2.2.11. Pervaporation	67
2.2.12. Applications industrielles de la filtration sur membrane électriquement inerte	68
2.3. Membrane et solutés électriquement chargés	68
2.3.1. Conventions préalables : notations	68
2.3.2. Exclusion diélectrique	70
2.3.3. Charge fixe des membranes et influence du pH	72
2.3.4. Coefficient d'efficacité de la charge fixe	73
2.3.5. Mobilité des ions dans la membrane	75
2.3.6. Equation de Nernst-Planck complétée (N.P.C.)	75
2.3.7. Résolution numérique du système d'équations D.M.C.	77
2.3.8. Calculs approchés de Dresner (1972)	79
2.3.9. Influence du rayon de pore	79
2.3.10. Transport des électrolytes à travers une membrane chargée	80
2.3.11. Structure des pores et rejet	81
2.3.12. Au moins trois g-ions différents.	82
2.3.13. Compléments d'information	83
2.4. Grandeurs électrohydrauliques	84
2.4.1. Paramètres électroosmotiques : cas particuliers	84
2.4.2. Mobilité, diffusivité, conductivité, nombre de transport	85

2.4.3. Mesure du potentiel ζ	86
2.4.4. Potentiel d'écoulement	87
2.5. Encrassement des membranes	88
2.5.1. Introduction	88
2.5.2. Adsorption des organiques et des colloïdes	89
2.5.3. Blocage partiel (freinage) du perméat dans les pores par adsorption	91
2.5.4. Entartrage par les inorganiques	94
2.5.5. Blocage total des pores par les particules	95
2.5.6. Blocage partiel par les particules (freinage par voûtage), formation de gâteau de filtration	96
2.5.7. Nettoyage des surfaces encrassées	97
2.5.8. Selon le type d'industrie	98
2.5.9. Lois empiriques pour l'encrassement	98
2.5.10. Prévion de l'encrassement : sa prévention	99
2.5.11. Biofilms	99

Chapitre 3. Théorie de la dialyse, membranes biologiques : électrodialyse	101
3.1. Introduction	101
3.1.1. Modes de franchissement d'une membrane séparant deux solutions à la même pression	101
3.1.2. Membranes liquides	102
3.2. Solutés électriquement neutres	102
3.2.1. Equation de Maxwell-Stefan dans une membrane	102
3.2.2. Influence du diamètre moléculaire	103
3.2.3. Traversée de la membrane	104
3.3. Membrane électriquement chargée : conventions	105
3.3.1. Hypothèses préliminaires	105
3.3.2. Définitions	105
3.4. Concentrations ioniques à l'intérieur et à l'extérieur de la membrane	106
3.4.1. Equilibre de Donnan (ions de valence quelconque)	106
3.4.2. Exclusion de Donnan	107
3.4.3. Différence de potentiel total et potentiels de Donnan	108
3.4.4. Cas particulier (ions monovalents)	108
3.5. Potentiel interne et concentrations	109
3.5.1. Calcul du potentiel interne (ions tous monovalents)	109
3.5.2. Densité de flux de chaque ion	112
3.5.3. Neutralité électrique du flux ionique total	112

3.5.4. Solutions isotoniques	113
3.5.5. Calcul pratique du potentiel interne et des flux ioniques	114
3.5.6. Profils du potentiel interne et des concentrations	114
3.5.7. Transport d'un composé unique	115
3.5.8. Intégration numérique des équations de diffusion-migration	116
3.6. Perméation aidée	118
3.6.1. Définition	118
3.6.2. Cas général	118
3.6.3. Cas particulier I : réaction de supportage partout à l'équilibre	121
3.6.4. Cas particulier II : diffusions de B et AB quasi instantanées devant la vitesse de réaction	122
3.7. Perméation par effet tunnel : principe	123
3.8. Hémodialyse	123
3.8.1. Définition	123
3.8.2. Transfert de matière	124
3.9. Electrodialyse	124
3.9.1. Principe	124
3.9.2. Nombre de transport	125
3.9.3. Résistance électrique de la membrane	126
3.9.4. Résistance électrique d'une cellule	128
3.9.5. Equation de transfert des ions	131
3.9.6. Densité de courant limite	133
3.9.7. Transférance et permselectivité d'une membrane	135
3.9.8. Nombre de transport de l'eau	136
3.9.9. Rendement de courant	137
3.9.10. Membranes bipolaires	139

Chapitre 4. Fractionnement des dispersions par décantation naturelle et par gravité

4.1. Vitesse de décantation	141
4.1.1. Généralités	141
4.1.2. Vitesse limite d'une particule isolée	142
4.1.3. Partage de la hauteur entre clair et sédiment	143
4.1.4. Vitesse de frottement liquide sur solide	144
4.1.5. Vitesse de décantation d'un nuage de particules	145
4.2. Décanteurs dans l'industrie chimique	146
4.2.1. Types de décanteurs	146
4.2.2. Essai en éprouvette	147

4.2.3. Courbes caractéristiques de la décantation (extrapolation)	147
4.2.4. Surface horizontale d'un décanteur	149
4.2.5. Récapitulatif	151
4.2.6. Hauteur d'un décanteur	152
4.2.7. Densité de flux du solide.	152
4.2.8. Couple du réducteur du racleur (décanteurs circulaires)	154
4.3. Décanteurs dans l'extraction des minerais.	156
4.3.1. Tables rainurées	156
4.3.2. Classificateur hydraulique à plusieurs compartiments	157
4.3.3. <i>Jigs</i>	157
4.3.4. Classification par liqueur dense (triai gravimétrique).	158
4.3.5. Décantation différentielle en hélice (système Humphrey)	159

Chapitre 5. Déstabilisation des sols, dispersions colloïdales : coagulation et floculation 161

5.1. Dispersions colloïdales : la double couche	161
5.1.1. Introduction	161
5.1.2. Charge, potentiel de surface et potentiel dzéta	162
5.1.3. Couche rigide de Stern-Hamburg	164
5.1.4. Couche diffuse : profil du potentiel	165
5.1.5. Electrophorèse des colloïdes	170
5.1.6. Pression osmotique des dispersions de colloïdes	171
5.2. Adsorption dans la double couche	171
5.2.1. Définitions	171
5.2.2. Variations du PIE et du PCZ avec l'adsorption	173
5.2.3. Retour sur l'influence du pH	174
5.2.4. Adsorption spécifique d'ions à la surface des particules	176
5.2.5. Adsorption des polymères, floculation	177
5.3. Interaction entre deux particules	180
5.3.1. Loi de Hamaker	180
5.3.2. Attraction et répulsion entre deux particules supposées sphériques et identiques	181
5.3.3. Coagulation des sols selon Ostwald	183
5.4. Pratique de la déstabilisation.	184
5.4.1. Méthodes de déstabilisation	184
5.4.2. Enthalpie libre d'interaction de deux particules : température critique	185
5.4.3. Fréquence des agrégations et barrière énergétique	187
5.4.4. Mécanismes de collision.	189
5.4.5. Mécanisme de collision prédominant	192

5.4.6. Déstabilisation par piégeage.	193
5.4.7. Retour sur la distinction coagulation/floculation.	194
5.4.8. Cinétique de Smoluchowski (1917)	194
5.5. Adjuvants de déstabilisation	197
5.5.1. Ions comme adjuvants	197
5.5.2. Adjuvants polymères	197

Chapitre 6. La flottation : les colonnes à mousse 199

6.1. La flottation.	199
6.1.1. Principe de la flottation	199
6.1.2. Accrochage entre bulles et particules de minerai	200
6.1.3. Critères d'existence de la flottation	201
6.1.4. Dispersion de l'air dans la cellule	202
6.1.5. Collecteurs	204
6.1.6. Autres adjuvants.	204
6.1.7. Débit solide amené à la mousse depuis la pulpe	205
6.1.8. Débit en nombre de particules dans la mousse	206
6.1.9. Diamètre des bulles de la mousse	207
6.1.10. Concentration de la pulpe : bilan matière	207
6.1.11. Paramètres de la flottation	208
6.1.12. Batterie de cellules	208
6.1.13. Utilisations de la flottation	209
6.1.14. Indications complémentaires	209
6.1.15. Diamètre des particules.	210
6.2. Colonnes à mousse : fonctionnement.	210

Chapitre 7. Expulsion d'un liquide par pressage 213

7.1. Mécanisme du pressage des S.D. inorganiques	213
7.1.1. Idéalisation : le pressage unidirectionnel	213
7.1.2. Loi du pressage du solide	214
7.1.3. Pression des fluides.	214
7.1.4. Evolution théorique du pressage	215
7.1.5. Matériel de pressage des dispersions inorganiques	216
7.2. Pressage des végétaux	217
7.2.1. Intérêt du pressage	217
7.2.2. Terminologie.	217
7.2.3. Mécanisme du pressage	218

7.3. Matériel utilisé pour les végétaux	219
7.3.1. Presse hydraulique	219
7.3.2. Presse continue à vis	220
7.3.3. Autres presses continues	222
7.3.4. Caractéristiques des oléagineux	223
7.3.5. Pression maximale selon les produits	224
7.3.6. Adjuvants de pressage	224
7.3.7. Facteurs d'influence sur le rendement de pressage des huiles	225
Annexe A. Caractéristiques des surfaces criblantes	227
Annexe B. Définition et ouverture des toiles pour tamis	229
Annexe C. Intégration numérique : méthode de Runge-Kutta d'ordre 4	231
Annexe D. Le système électrostatique CGS	233
Bibliographie	237
Index	247