

Table des matières

Avant-propos	11
Chapitre 1. Théorie générale des extracteurs liquide-liquide	13
1.1. Extraction par étages successifs	13
1.1.1. Faisabilité de l'extraction (étude à l'aide du diagramme ternaire)	13
1.1.2. Calcul sur ordinateur de l'équilibre solvant-raffinat	14
1.1.3. Extraction multi-étagée à contre-courant	14
1.1.4. Quantité minimale de solvant	16
1.1.5. Etude à l'aide de la courbe de partage	17
1.1.6. Aptitude du couple (solvant et produit) pour l'extraction	18
1.2. Mélangeurs-décanteurs	18
1.2.1. Opération de mélange	18
1.2.2. Séparation des deux phases	19
1.2.3. Calcul des décanteurs	20
1.3. Equation des concentrations pour les extracteurs différentiels	22
1.3.1. Principe des extracteurs différentiels	22
1.3.2. Bilan d'une tranche élémentaire de l'extracteur sans rétromélange	23
1.3.3. Dispersion axiale (rétromélange)	25
1.3.4. Conditions aux limites	29
1.3.5. Bilan global d'un constituant	30
1.3.6. Procédure de calcul	31
1.4. Les paramètres du transfert	32
1.4.1. Vitesses en fût vide moyennes	32
1.4.2. Diamètre moyen des gouttes	33

1.4.3. Equivalence de d_{32} et du diamètre harmonique moyen	34
1.4.4. Aire interfaciale	34
1.4.5. Coefficients de transfert	35
1.4.6. Coalescence	35
1.4.7. Effet Marangoni	36
1.4.8. Vitesse de glissement	36
1.4.9. Débits à l'engorgement (méthode approximative)	37
1.5. Alimenteur de phase dispersée	38
1.5.1. Influence de l'alimenteur sur l'efficacité du transfert	38
1.5.2. Conception proposée pour l'alimenteur	39
1.5.3. Vitesse à travers les trous du répartiteur	41
1.5.4. Ouverture du répartiteur	43
1.5.5. Pas des trous	44
1.6. Conclusion : études en pilote	45
1.6.1. Avantages et inconvénients des différents types d'extracteurs	45
1.6.2. Equivalence des appareils	46
1.6.3. Choix de la phase dispersée	47
1.6.4. Utilisation des pilotes en extraction liquide-liquide	47
1.6.5. Raisons supplémentaires pour l'utilisation d'un pilote	48

Chapitre 2. Trois exemples de calcul

d'extracteur liquide-liquide différentiel	49
2.1. Données générales	49
2.1.1. Tension interfaciale	49
2.1.2. Propriétés physiques et notations	50
2.2. Colonnes à garnissage	51
2.2.1. Contraintes sur la taille nominale du garnissage	51
2.2.2. Engorgement	52
2.2.3. Rétention de phase dispersée	53
2.2.4. Diamètre moyen des gouttes	54
2.2.5. Vitesse de glissement	54
2.2.6. Coefficients de transfert	55
2.2.7. Coefficients de dispersion axiale	57
2.3. Contacteur à disques tournants	59
2.3.1. Présentation et intérêt de l'appareil	59
2.3.2. Définition du contacteur à disques tournants	60
2.3.3. Normes de dimensionnement	60
2.3.4. Vitesse de rotation du pilote	62
2.3.5. Puissance d'agitation massique (pilote)	62

2.3.6. Diamètre moyen des gouttes	64
2.3.7. Rétention à l'engorgement.	65
2.3.8. Diamètre de l'extracteur	66
2.3.9. Rétention de phase dispersée	67
2.3.10. Vitesse de rotation pour l'appareil industriel	68
2.3.11. Coefficients de dispersion axiale	69
2.3.12. Coefficients de transfert	71
2.4. Colonne pulsée à plateaux perforés.	71
2.4.1. Structure de l'appareil	71
2.4.2. Régimes de fonctionnement.	72
2.4.3. Intérêt des colonnes pulsées.	73
2.4.4. Détermination des paramètres de pulsation.	74
2.4.5. Densité de puissance d'agitation	75
2.4.6. Engorgement.	76
2.4.7. Diamètre moyen des gouttes	77
2.4.8. Rétention de phase dispersée	78
2.4.9. Vitesse de glissement.	78
2.4.10. Coefficients de transfert	79
2.4.11. Dispersion axiale : phase continue	79
2.4.12. Dispersion axiale : phase dispersée.	80

Chapitre 3. Equilibre et transfert de matière entre un fluide

et un solide divisé	81
3.1. Introduction.	81
3.2. Choix des adsorbants	82
3.2.1. Généralités	82
3.2.2. Charbon activé.	83
3.2.3. Le gel de silice.	83
3.2.4. L'alumine activée.	83
3.2.5. Les terres activées.	84
3.2.6. Echangeurs d'ions	84
3.2.7. Les zéolites.	84
3.3. Les différents types d'isothermes d'équilibre fluide-solide.	85
3.3.1. L'isotherme dite de Freundlich	85
3.3.2. Combinaison Langmuir-Freundlich	85
3.3.3. L'isotherme de Langmuir (voie thermodynamique).	86
3.3.4. L'isotherme de Langmuir (équilibre dynamique, 1916, 1918)	87
3.3.5. Généralisation à plusieurs composants	88

3.3.6. Généralisation à une surface hétérogène (isotherme bi-Langmuir)	88
3.3.7. L'équation de Langmuir pour les liquides	89
3.3.8. Isotherme « compétitive » de Gritti et Guiochon (2003)	89
3.3.9. L'isotherme de Tóth (1971)	89
3.3.10. L'isotherme de Moreau <i>et al.</i> (1991)	90
3.3.11. L'isotherme de Martire (1987, 1988)	90
3.3.12. L'isotherme BET	90
3.3.13. Echange d'ions	91
3.3.14. Généralisation	93
3.3.15. Les cinq types principaux d'isothermes	94
3.4. Thermodynamique et équilibre de l'adsorption multiple	95
3.4.1. Position du problème	95
3.4.2. Pression d'étalement, équation de Gibbs	96
3.4.3. Energie de surface et tension superficielle des liquides	97
3.4.4. Tension superficielle et pression d'étalement	98
3.4.5. Equation de Gibbs et tensioactifs	98
3.4.6. Calcul de la pression d'étalement sur un solide	99
3.4.7. Approximation de Padé	100
3.4.8. Les équations d'équilibre ; composition de l'adsorbat	100
3.4.9. Calcul de la somme molaire des espèces adsorbées	101
3.4.10. Comparaison avec les lois de Raoult	102
3.4.11. Lois de Fick et coefficient d'activité	103
3.4.12. Calcul de γ_s avec une isotherme linéaire	103
3.4.13. Calcul de γ_s avec l'isotherme de Langmuir	104
3.4.14. Chaleur isostérique	106
3.5. Paramètres de transfert	107
3.5.1. Transfert à travers le film liquide	107
3.5.2. Expression de la diffusivité de Knudsen dans un pore	107
3.5.3. Diffusivité globale de pore dans un milieu poreux	109
3.5.4. Diffusivité de surface	109
3.5.5. Diffusion dans les pelletes (ou les tablettes ou encore les sphérules)	110
3.5.6. Equation différentielle interne aux particules solides	110
3.5.7. Equation d'échange fluide-solide	112
3.5.8. Echange simplifié fluide-particule	112
3.6. Adsorption entre une masse de liquide et une masse de solide	114
3.6.1. Une situation simple	114
3.6.2. Le volume de liquide est limité	115

3.6.3. Prise en compte de la résistance du film liquide	116
3.6.4. L'isotherme n'est pas linéaire.	117
3.6.5. Porosité bidispersée.	117
Chapitre 4. Extraction liquide-solide et lavage par un liquide d'un solide divisé	119
4.1. Fondements de l'extraction et du lavage liquide-solide	119
4.1.1. Terminologie.	119
4.1.2. Mesure du soluble total et du soluble extractible	119
4.1.3. Porosité accessible	121
4.1.4. Coefficient d'équilibre	122
4.1.5. Forme et dimension des particules	122
4.1.6. Coefficient global de transfert en chromatographie	124
4.1.7. Equivalence entre chromatographie et saturation d'un lit fixe	125
4.1.8. Nombre d'unités de transfert côté extrait	127
4.1.9. Les extracteurs et les laveurs	129
4.2. Hydrodynamique des extracteurs continus à percolation	131
4.2.1. Principe	131
4.2.2. Vitesse d'engorgement.	133
4.3. Performances des extracteurs continus à percolation	137
4.3.1. Hypothèse	137
4.3.2. Nombre d'unités de transfert, équation de transfert	137
4.4. Batteries de diffusion	145
4.4.1. Principe	145
4.4.2. La méthode de Spaninks et Bruin	145
4.5. Lavage des minerais.	150
4.5.1. Concentrations et fractions massiques.	150
4.5.2. Détermination graphique d'un nombre d'étages de lavage.	153
Annexe	157
Bibliographie	159
Index	167