

L'USINE NOUVELLE

SÉRIE | CHIMIE

Catherine Xuereb
Martine Poux
Joël Bertrand

AGITATION ET MÉLANGE

Aspects fondamentaux
et applications industrielles

DUNOD

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	XIII
1 • Introduction aux problèmes d'agitation et de mélange	1
1.1 Une science récente et très ancienne	1
1.2 Quelques aspects de sémantique	4
1.3 L'agitation et le mélange au cœur des procédés	4
1.4 Les techniques d'agitation et de mélange usuelles	7
2 • Présentation des principaux types de systèmes d'agitation	9
2.1 Définition, classification des systèmes d'agitation	9
2.2 Les cuves	12
2.3 Sélectivité des équipements	17
2.4 Les systèmes géométriquement spéciaux	26
2.5 Critères de choix	30
3 • Caractérisation globale des systèmes d'agitation	31
3.1 Puissance d'agitation	31
3.2 Écoulements	39
3.3 Influence de la géométrie sur les écoulements et la puissance consommée	53
4 • Principes du mélange	61
4.1 Notions sur l'interaction entre écoulement du fluide et mélange	61
4.2 Équations de Navier-Stokes-Damköhler pour le champ de concentration	63
4.3 Mélange laminaire et mélange chaotique	64
4.4 Mélange turbulent ; notion et signification des échelles	70
4.5 La mesure des champs de concentration dans le mélangeur	71
4.6 Les critères de mélange	74

5 • Mélange de fluides de viscosité élevée	85
5.1 Mécanismes de mélange	86
5.2 Les outils d'agitation des fluides très visqueux	87
5.3 Mise en œuvre pratique de fluides non newtoniens	92
5.4 Aspects énergétiques	95
5.5 Temps de mélange et efficacité	100
5.6 Exemple	102
6 • Mélange en continu en cuve agitée	105
6.1 Écoulements dans une cuve agitée en continu	106
6.2 Temps de séjour	107
6.3 Interprétation des DTS	109
6.4 Questions pratiques	113
7 • Réacteurs chimiques	117
7.1 Mise en évidence de l'influence de l'agitation sur la réaction chimique	118
7.2 Mécanismes du mélange : macromélange, mésomélange, micromélange	122
7.3 Réactions tests	132
7.4 Effet des conditions opératoires sur les performances du réacteur	134
7.5 Critères de choix des équipements et recommandations	140
8 • Transfert de chaleur dans les cuves agitées	143
8.1 Éléments généraux de transfert de chaleur	144
8.2 Dispositifs d'échange	145
8.3 Coefficient de transfert de chaleur pour l'utilité	147
8.4 Transfert de chaleur entre le liquide et la paroi de la cuve	148
8.5 Transfert de chaleur entre le liquide et un serpentín immergé	157
8.6 Exemples de problèmes de transfert de chaleur dans les cuves agitées	159
9 • Systèmes gaz-liquide	167
9.1 Les équipements spécifiques	167
9.2 Les différents régimes de fonctionnement	171
9.3 Aspects énergétiques	176
9.4 Caractérisation de la dispersion	181
9.5 Évaluation du transfert de matière	184
9.6 Temps de mélange	188
9.7 Cas particulier des systèmes autoaspirants	190
9.8 Extrapolation	192
0 0 <i>Conclusion</i>	
10 • Systèmes solide-liquide	
10.1 Mécanique de la mise en suspension	
10.2 Répartition spatiale du solide divisé dans la phase liquide	
10.3 Transferts entre un solide suspendu et un liquide	
10.4 Production et disparition <i>in situ</i> de particules	
10.5 Brisure, agrégation et agglomération de particules en suspension	
10.6 Problèmes techniques liés à l'agitation de suspensions	
11 • Dispersions liquide-liquide et émulsions	
11.1 Caractérisation des dispersions	
11.2 Aspects physico-chimiques	
11.3 Aspects dynamiques : rupture et coalescence	
11.4 Mise en œuvre d'un procédé d'émulsification	
11.5 Conclusion	
12 • Mélange de poudres	
12.1 Définitions et mécanismes	
12.2 Caractérisation de la qualité et de l'homogénéité du mélange	
12.3 Élaboration du mélange	
12.4 Équipement et dispositifs technologiques de mélange	
12.5 Éléments de dimensionnement	
12.6 Conclusion	
13 • Mélange en ligne	
13.1 Mélange par jet	
13.2 Mélangeurs chaotiques	
13.3 Mélangeurs statiques	
13.4 Exemple	
14 • Micromélangeurs	
14.1 Principe de mélange	
14.2 Mécanismes de mise en contact de fluides	
14.3 Caractérisation et dimensionnement	
14.4 Application à la détermination des temps de réaction	
14.5 Génération de dispersions	
14.6 Industrialisation	
15 • Simulation numérique d'une cuve agitée	
15.1 Description de la CFD	

15.3	Sélection du domaine à simuler	321
15.4	Les méthodes de représentation de l'agitateur	321
15.5	Construction du maillage	323
15.6	Choix de modèles physiques	324
15.7	Établissement des conditions frontières	331
15.8	Quelques aspects numériques	332
15.9	Quelques résultats illustratifs	334
15.10	Perspectives	335
16	• Extrapolation	339
16.1	L'étape indispensable : le pilote	339
16.2	La base de l'extrapolation : le principe de similitude	341
16.3	Les règles de base de l'extrapolation	343
16.4	L'usage de la mécanique des fluides numérique	345
16.5	Cas d'étude	350
16.6	Conclusion	354
17	• Aspects mécaniques	355
17.1	Le dispositif d'agitation	355
17.2	Dimensionnement de l'arbre d'agitation	358
17.3	Vitesse de rotation critique	360
17.4	Application numérique	361
17.5	Moteurs, réducteurs de vitesse, variateurs de vitesse	362
17.6	Autres considérations	363
17.7	Préparation à la discussion avec un équipementier	371

Bibliographie

Index