

Table des matières

Avant-propos	11
Chapitre 1. Agitation en cuve – Homogénéisation des produits pâteux	13
1.1. Principes	13
1.1.1. Les types d’agitateurs	13
1.1.2. Les impulseurs axiaux (circulants)	13
1.1.3. Les impulseurs radiaux (cisailants)	15
1.1.4. Circulation dans une cuve agitée	16
1.1.5. Cisaillement maximum.	18
1.1.6. Pression de refoulement d’une turbine	21
1.2. Puissance consommée et débit de recirculation.	22
1.2.1. Nombres adimensionnels	22
1.2.2. Coefficient géométrique C_G	23
1.2.3. Mise en œuvre pratique des agitateurs en cuve.	26
1.3. Homogénéisation d’une solution	26
1.3.1. Objectif poursuivi.	26
1.3.2. Les liquides visqueux	28
1.3.3. Les produits très visqueux.	28
1.4. Maintien d’un solide en suspension	29
1.4.1. Répartition d’un solide divisé dans une cuve.	29
1.4.2. Critères d’homogénéité	30
1.4.3. Tube de tirage	33
1.5. Dispersion d’un gaz dans un liquide	35
1.5.1. Préliminaires.	35
1.5.2. Engorgement.	36

1.5.3. Puissance à l'arbre	36
1.5.4. Diamètre des bulles	36
1.5.5. Vitesse ascensionnelle limite des bulles	37
1.5.6. Aire interfaciale volumique	37
1.5.7. Rétention gazeuse	38
1.6. Dispersion d'un liquide insoluble dans un autre liquide (émulsification)	40
1.6.1. Dispersion liquide-liquide	40
1.6.2. Diamètre moyen des gouttes	41
1.6.3. Coefficient de transfert de matière côté phase continue	41
1.7. Malaxeurs pour produits pâteux	42
1.7.1. Description et utilisation des malaxeurs	42
1.7.2. Echelle de ségrégation	42
1.7.3. Puissance, temps et énergie	43
1.7.4. Extrapolation	44
1.8. Mélangeur à ruban (produits pâteux)	45
1.8.1. Utilisation	45
1.8.2. Description	45
1.8.3. Puissance consommée	46
1.8.4. Temps de mélange	47
1.8.5. Transfert thermique à la paroi	47

Chapitre 2. Dispersion et dissolution des poudres 49

2.1. Généralités sur les poudres et les cristaux	49
2.1.1. Propriétés des poudres relativement à la dispersion-dissolution	49
2.1.2. Notion de dispersibilité	50
2.1.3. Conditions pour une bonne dispersion	51
2.2. Physique du mouillage	52
2.2.1. Energie de surface et angle de contact	52
2.2.2. Energie libre et enthalpie d'immersion	53
2.2.3. Energie d'adhérence – Relation de Dupré (1869)	53
2.2.4. Energie de cohésion	54
2.2.5. Mouillage, étalement et énergie libre	54
2.2.6. Mouillabilité (aspect pratique)	56
2.2.7. Mesure de l'énergie superficielle totale d'un liquide	57
2.2.8. Mesure de l'angle de contact sur une poudre	57
2.2.9. Les agents de mouillage	58
2.2.10. Energie dispersive et énergie de polarisation	59
2.2.11. Mesures pratiques	59

2.3. Pratique de la dispersion – Les équipements	61
2.3.1. Procédures de dispersion (industrie alimentaire).	61
2.3.2. Destruction des agrégats	62
2.3.3. Dispersion dans l'industrie pharmaceutique	64
2.3.4. Principes d'action des appareils pour dispersion mécanique	64
2.3.5. Choix des appareils.	65
2.3.6. Industries de la peinture et des matières plastiques	66
2.3.7. Autres procédés de dispersion industrielle	67
2.4. Dissolution d'un petit cristal et dissolution d'une poudre.	68
2.4.1. Affinité pour l'eau (hygroscopicité)	68
2.4.2. Description de la dissolution d'un cristal	69
2.4.3. Vitesse d'attaque de la surface et sursaturation de cristallisation.	70
2.4.4. Théorie de la couche de diffusion	71
2.4.5. Temps de dissolution d'un cristal unique dans un volume liquide infini.	72
2.4.6. Dissolution d'un cristal dans un volume liquide limité	73
2.5. Dissolution continue d'une suspension – Le dissolvant continu.	75
2.6. Cas particuliers.	76
2.6.1. Dissolution des gélules, comprimés et dragées.	76
2.6.2. Théorie de la pénétration d'un liquide dans un milieu poreux (comprimé ou granulé).	77
2.6.3. Influence du pressage sur la dissolution d'un comprimé	79

Chapitre 3. Mélange des solides divisés – Choix des appareils mélangeurs. 81

3.1. Critères d'évaluation de l'homogénéité d'un mélange	81
3.1.1. Introduction	81
3.1.2. Moyenne, variance, coefficient de variation	81
3.1.3. Mélanges binaires, identités remarquables	82
3.1.4. Variance d'un système binaire totalement séparé (non mélangé) – Intensité de ségrégation.	83
3.1.5. Variances de référence.	84
3.1.6. Echantillon trop grand pour le comptage des particules référence	84
3.1.7. Mesure de la variance	85
3.1.8. Influence sur la variance du nombre et de la taille des échantillons	86

3.1.9. Rapport de réduction de la variance	87
3.1.10. Angle au repos (angle de talus naturel)	88
3.1.11. Distribution de diamètres souhaitable pour l'actif	88
3.2. La fonction d'autocorrélation – Définition	89
3.3. Acceptation de la qualité d'un mélange	90
3.3.1. Probabilité d'un événement et densité de probabilité	90
3.3.2. Le théorème central limite	91
3.3.3. Estimation par intervalle de confiance.	92
3.3.4. Critères d'acceptation du mélange	93
3.4. Evolution du SD au cours du mélange	95
3.4.1. Les mécanismes du mélange	95
3.4.2. Les mouvements dans un SD	96
3.4.3. Evolution d'un mélange et variance	97
3.4.4. Evolution de la variance selon Rose (1959)	98
3.4.5. La cohésion et le diamètre particulière	99
3.4.6. Tentatives analytiques de traduction d'une opération de mélange.	100
3.4.7. Durée de l'opération de mélangeage	102
3.5. Les mélangeurs (données pratiques) – Le choix de ces appareils	103
3.5.1. L'opération d'homogénéisation (mélangeage)	103
3.5.2. Les appareils à chute (ou versage) et remontée	104
3.5.3. Le mélange dans un transporteur à vis.	104
3.5.4. Cylindre tournant	105
3.5.5. Les appareils à brassage interne modéré (à convection-cisaillement)	105
3.5.6. Les appareils à brassage interne violent (broyeurs)	106
3.5.7. Energie consommée	106
3.5.8. Le choix des mélangeurs.	107
3.6. La ségrégation	108
3.6.1. Principe	108
3.6.2. Influence d'une vibration verticale.	108
3.6.3. Déversement (versage) sur un tas de SD en vrac	109
3.6.4. Chute sous l'influence de la pesanteur.	109
3.6.5. Ecoulement par gravité sur un plan incliné.	110
3.6.6. Effet de la convection-cisaillement	110
3.6.7. Synthèse mathématique de Cardew (1981)	112
3.6.8. Moyens de lutte contre la ségrégation	112
3.6.9. Conclusions sur la ségrégation	113

Annexe A. Echelle de Mohs	115
Annexe B. Masse volumique apparente des solides divisés en vrac ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	119
Bibliographie	123
Index	131