

Table des matières

Avant-propos	11
Chapitre 1. Réentraînement d'un lit de particules solides balayé par un courant fluide	13
1.1. Préliminaires	13
1.1.1. Importance du problème	13
1.1.2. Méthode adoptée	14
1.2. Vitesse de frottement	14
1.2.1. Tuyauterie	14
1.2.2. Plaque plane (bord perpendiculaire à l'écoulement fluide).	15
1.3. Force et soulèvement	16
1.3.1. Hypothèses	16
1.3.2. Vitesse de poussée moyenne	17
1.3.3. Force de « traîne » et force de soulèvement	18
1.4. Critère d'entraînement – Forces de fixation	19
1.5. Quantité entraînée	20
1.5.1. Probabilité et fréquences	20
1.5.2. Résultat de Wu <i>et al.</i>	21
1.6. Vitesse limite d'entraînement (méthode simplifiée)	22
1.6.1. Géométrie moyenne de la particule sphérique à la surface du lit	22
1.6.2. Vitesse d'entraînement commençant	23
1.6.3. Particules anguleuses	27
1.6.4. Vitesse de nettoyage et vitesse de non-entraînement	28
1.7. Probabilité d'entraînement et débit entraîné	28

Chapitre 2. Transport mécanique des solides divisés	31
2.1. Généralités	31
2.1.1. La ségrégation à la chute et au versage – La formation de poussière	31
2.1.2. La combinaison des débits et des capacités de stockage (notions).	32
2.1.3. Organisation de la circulation des SD	33
2.1.4. Les extracteurs.	34
2.2. Goulottes et aéroglissières	36
2.2.1. Goulottes inclinées sur l'horizontale.	36
2.2.2. Goulottes verticales.	38
2.2.3. Interruption ou modulation du débit d'une goulotte.	38
2.2.4. Aéroglissières	39
2.3. Transporteur à bande	40
2.3.1. Description.	40
2.3.2. Critères d'utilisation	41
2.3.3. Régulation du débit par bascule intégratrice	42
2.3.4. Protections	42
2.3.5. Choix de la largeur de bande	43
2.3.6. Débit	43
2.3.7. Puissance consommée	44
2.3.8. Efforts supportés par la bande	46
2.3.9. Dispositifs de chargement	48
2.3.10. Dispositifs de décharge.	50
2.3.11. Transporteur à bande métallique	50
2.4. Transporteur à chaîne(s)	52
2.4.1. Transporteur à traverses	52
2.4.2. Transporteur à raclettes	54
2.4.3. Transporteur à palettes métalliques	55
2.5. Transporteur vibrant.	56
2.5.1. Principe de fonctionnement	56
2.5.2. Types de transporteurs	57
2.5.3. Vitesse de progression du produit dans l'auge	58
2.5.4. Débit	62
2.5.5. Puissance consommée	63
2.5.6. Avantages et inconvénients des transporteurs vibrants	65
2.6. Elévateurs.	66
2.6.1. Principe de l'élévateur à godets.	66
2.6.2. Types d'élévateurs et modes de décharge.	66

2.6.3. Modes de remplissage des godets	67
2.6.4. Faut-il choisir une bande ou une chaîne ?	68
2.6.5. Débit	68
2.6.6. Puissance consommée	69
2.6.7. Elévateur vibrant	70
2.6.8. Elévateur à vis	70
2.7. Transporteur à vis pour solides divisés	70
2.7.1. Généralités	70
2.7.2. Choix des caractéristiques de la vis	71
2.7.3. Les calculs théoriques de Darnell et Mol pour le débit de la vis	72
2.7.4. Puissance consommée par la vis	74
2.8. Transport par charges	77
2.8.1. Conteneurs et bennes	77
2.8.2. Transporteur à rouleaux pour caisses	77
2.8.3. Elévateurs de charges	78
2.9. Quelques propriétés des solides divisés	78
2.9.1. Abrasivité – Classes d’abrasivité	78
2.9.2. Masse volumique apparente – Frottement à la paroi	79
2.9.3. Relations entre les équipements et la coulabilité du produit	79
2.9.4. Dégagement de poussière (fusage)	80
2.10. La logistique du stockage et du transport	80

Chapitre 3. Transport pneumatique des solides divisés 81

3.1. Le transport pneumatique – Présentation	81
3.1.1. Description de l’écoulement	81
3.1.2. Tassement d’un sédiment (ou désaération d’un lit fluidisé)	82
3.1.3. Mesure de la raideur k	84
3.1.4. Les différents régimes de transport pneumatique horizontal	85
3.2. Propriétés des solides divisés	87
3.2.1. Masse volumique et porosité	87
3.2.2. Classification de Geldart	89
3.2.3. Précautions et choix selon les produits	90
3.3. Les courbes opératoires	92
3.3.1. Les types de courbes opératoires	92
3.3.2. Expression de la puissance selon Hilgraf à l’état dense	95
3.4. Vitesses et chutes de pression	97
3.4.1. Vitesse de transport et taux de charge – Phases dense et diluée	97
3.4.2. Vitesse de l’air pour l’état dilué	99
3.4.3. Vitesse pour le transport horizontal en phase dense	100

3.4.4. Critère de Yang pour le blocage en tuyauterie verticale en phase dense	101
3.4.5. Puissance consommée dans la tuyauterie	103
3.5. Etude particulière des tuyauteries verticales	109
3.5.1. Etudes préliminaires	109
3.5.2. Simulation numérique de Desgupta <i>et al.</i>	109
3.5.3. Longueur minimale des bouchons de solide (estimation simplifiée)	110
3.5.4. Traversée des bouchons solides par le gaz	111
3.5.5. Frottement des bouchons de solide sur la paroi	112
3.5.6. Procédure pratique	115
3.6. Les équipements annexes au transport pneumatique.	118
3.6.1. Les systèmes d'alimentation pour installations continues	118
3.6.2. Expédition par sasses successives (phase dense)	120
3.6.3. Critères de bonne conception d'un transport par charges (on dit aussi par sasses).	123
3.6.4. Séparation du produit et du gaz porteur	123
3.6.5. Conclusion sur ces systèmes	124
3.6.6. Vannes de sectionnement	124
3.6.7. Tuyauterie de transport pneumatique	125
3.6.8. Les récepteurs (séparateurs gaz-solide)	125
3.6.9. Régulation du débit de solide – Démarrage et arrêts	126
3.6.10. Choix de la machine motrice pour le gaz	126

Chapitre 4. Transport hydraulique d'un solide divisé tube descendeur vanne en L	129
4.1. Puissance dissipée dans les bouillies	129
4.1.1. Introduction	129
4.1.2. Agitation des bouillies	130
4.1.3. Puissance de pompage des bouillies	131
4.1.4. Chute de pression dans le transport d'une bouillie	132
4.2. Le tube descendeur	133
4.2.1. Caractéristiques du descendeur : utilisation.	133
4.2.2. Description du solide divisé dans le tube	133
4.2.3. Mécanisme de fonctionnement du tube descendeur	134
4.2.4. Vitesse de glissement.	136
4.2.5. Cycles de débit-pression	137
4.2.6. Principe du calcul de la courbe de performance	139
4.2.7. Simulation du descendeur par le calcul	141
4.2.8. Etudes de l'aération.	141

4.2.9. Position d'une injection de gaz sur la hauteur du tube	142
4.2.10. Etude de l'injection par la théorie et l'expérience	143
4.2.11. Conclusion : le tube descendeur dans les procédés industriels	143
4.3. Vannes en L	144
4.3.1. Description et fonctionnement	144
4.3.2. Utilisations	144
Annexe A. Echelle de Mohs	145
Annexe B. Masse volumique apparente des solides divisés en vrac (kg.m^{-3})	149
Bibliographie	153
Index	159