

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I. CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE	1
1. <i>Cristal idéal</i>	2
1.1. Liaisons interatomiques	2
1.2. Édifice et réseaux cristallins	4
1.3. Variétés polymorphes	5
1.4. Caractérisation des solides par diffraction X.....	6
1.5. Caractérisation de structures par spectrométrie IR.....	8
2. <i>Cristal réel</i>	10
2.1. Défauts ponctuels.....	10
2.2. Défauts surfaciques	14
2.3. Défauts volumiques.....	16
3. <i>De la structure cristalline à la texture de la poudre</i>	16
3.1. Types de contacts inter-grains	17
3.2. Le monocristal avec cohésion intra-cristalline	17
3.3. Du monocristal à l'agrégat	18
3.4. De l'agrégat à l'agglomérat	19
3.5. De l'agglomérat à la poudre	19
3.6. Rôle de la morphologie dans la cohésion des poudres.....	20
4. <i>Propriétés des poudres</i>	21
4.1. Influence de la structure	21
4.2. Influence de la texture	23
CHAPITRE II. CONSTRUCTION D'EMPILEMENTS	25
1. <i>Assemblage ordonné</i>	25
1.1. Principe de construction	25
1.2. Empilement cristallisé 2D et 3D	26
1.3. Forme et réseau de pores	28
2. <i>Assemblage aléatoire</i>	29
2.1. Origine des désordres géométriques	29
2.2. Effets d'exclusion.....	30
2.3. Assemblages 2D de disques identiques	33
2.4. Empilement 3D de sphères mono-disperses	35
CHAPITRE III. CARACTÉRISATION DES TEXTURES.....	41
1. <i>Définition des grandeurs</i>	41
1.1. Espace des grains.....	41
1.2. Espace des pores	44
1.3. Interface pore-solide	49
2. <i>Mesures</i>	51
2.1. Masse volumique	51

2.2.	Taille des grains	53
2.3.	Morphologie des grains.....	57
2.4.	Porosités	59
2.5.	Aire interfaciale gaz-solide	61
CHAPITRE IV. THERMODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DES SOLIDES DIVISÉS		
1.	<i>Thermodynamique</i>	63
1.1.	Expression classique des grandeurs	63
1.2.	Solide divisé dans une phase gazeuse.....	65
1.3.	Énergie surfacique et aires de contact solide-solide.....	66
1.4.	Énergie volumique dans un monocristal.....	67
1.5.	Énergie totale d'un solide agrégé.....	68
1.6.	Caractérisation des énergies de surface	68
2.	<i>Mécanique à l'échelle du grain</i>	69
2.1.	Inventaire des forces	70
2.2.	Système statique : contact sphère-objet solide.....	76
2.3.	Système dynamique : interaction fluide-particule.....	80
3.	<i>Mécanique à l'échelle de la poudre</i>	83
3.1.	État statique	83
3.2.	Limite d'écoulement.....	88
3.3.	Caractérisation de la dynamique des poudres.....	91
CHAPITRE V. ÉLABORATION ET MISE EN FORME DES POUDRES 94		
1.	<i>Élaboration</i>	94
1.1.	Cristallisation et précipitation	94
1.2.	Broyage.....	95
1.3.	Procédés de séparation	98
1.4.	Stockage	100
1.5.	Transport	101
2.	<i>De la poudre au matériau</i>	101
2.1.	Granulation.....	101
2.2.	Compaction	103
2.3.	Extrusion.....	103
2.4.	Frittage	105
CHAPITRE VI. FORMULATION DE MÉLANGES 108		
1.	<i>Mélangeage</i>	108
1.1.	Objets à mélanger	109
1.2.	Mélangeur	109
1.3.	Mécanismes.....	110
2.	<i>Ségrégation</i>	112
2.1.	Origine : mouvements de particules individualisées	112
2.2.	Origine : mouvements collectifs de particules.....	114
2.3.	Cohésion et homogénéité de la poudre.....	118

3.	<i>Mélangeurs industriels</i>	119
3.1.	Typologie générale	119
3.2.	Dispositifs spécifiques pour solides divisés	121
4.	<i>Évaluation de la qualité des mélanges</i>	123
4.1.	Échantillonnage	124
4.2.	Analyses	126
4.3.	Échelle de pertinence	127
4.4.	Échelle et intensité de ségrégation	129
CHAPITRE VII. MODÉLISATIONS DES PROPRIÉTÉS GÉOMÉTRIQUES		131
1.	<i>Étude de la porosité</i>	132
1.1.	Observations	132
1.2.	Modèles de type thermodynamique	133
1.3.	Mélange idéal	134
1.4.	Mécanisme d'insertion	135
1.5.	Mécanisme de substitution	135
1.6.	Mécanisme d'intercalation	137
1.7.	Comparaison avec les systèmes réels	138
2.	<i>Étude des contacts</i>	140
2.1.	Aire de contact solide-solide	141
2.2.	Nombre de contacts dans un empilement binaire	142
2.3.	Mélanges ordonnés	143
2.4.	Mélanges aléatoires	147
3.	<i>Étude de l'homogénéité d'un mélange</i>	150
3.1.	Modèle statistique	150
3.2.	Modèles à deux domaines de composition	152
CHAPITRE VIII. MODÉLISATIONS DISCRÈTES		155
1.	<i>Présentation générale</i>	157
1.1.	Intérêt de la discrétisation	157
1.2.	Typologie des modèles discrets	158
2.	<i>Physique du contact</i>	159
2.1.	Principe de la modélisation	160
2.2.	Déformations plastiques	161
3.	<i>Méthode des éléments discrets</i>	163
3.1.	Morphologie des objets	163
3.2.	Bilan des forces	164
3.3.	Forces de contact grain-solide	164
3.4.	Détection des contacts	167
3.5.	Stabilité numérique	169
4.	<i>Dynamique événementielle</i>	171
4.1.	Principe de calcul	171
4.2.	Équations constitutives	171

4.3.	Convergence numérique et effondrement inélastique	172
5.	<i>Interaction grains-fluide</i>	173
5.1.	Lit fixe	173
5.2.	Lit fluidisé	174
5.3.	Cas d'un écoulement fluide turbulent	177
CHAPITRE IX. MODÉLISATIONS MIXTES.....		179
1.	<i>Approche classique de la réactivité chimique</i>	179
1.1.	Réactivité en volume et en surface	179
1.2.	Effet de la courbure de surface	180
1.3.	Effet de lit	181
1.4.	Influence des contacts sur la réactivité solide-solide	183
1.5.	Séparation des variables chimiques et géométriques	186
2.	<i>Approche quasi-chimique</i>	186
2.1.	Fondements de la méthode	187
2.2.	Tassement par choc de grains identiques	189
2.3.	Compression de poudres.....	191
2.4.	Mélangeage de poudres.....	195
CHAPITRE X. MODÉLISATIONS CONTINUES		197
1.	<i>Propriétés de transport</i>	197
1.1.	Conductivité thermique	197
1.2.	Perméabilité	203
2.	<i>Propriétés mécaniques</i>	205
2.1.	Contrainte de Janssen	205
2.2.	Viscosité.....	208
CONCLUSION		213
CORRIGÉS DES EXERCICES		215
ANNEXES		232
1.	<i>Conductivité électrique</i>	232
2.	<i>Déformations d'un système granulaire contraint</i>	234
3.	<i>Variables statistiques- Loi binomiale</i>	237
4.	<i>Formulaire</i>	240
INDEX		242
BIBLIOGRAPHIE		245