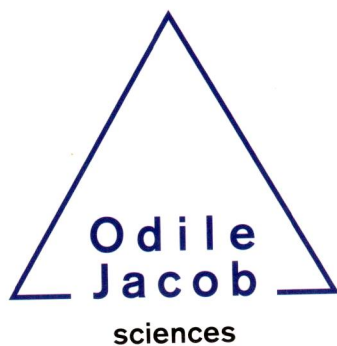


ÉTIENNE GUYON
JEAN-YVES DELENNE
FARHANG RADJAI

MATIÈRE EN GRAINS



MATIÈRE EN GRAINS

Grains et graines, façonnés, usés, cassés, collés... l'homme et la nature les utilisent pour se nourrir, bâtir ou formuler de nouveaux matériaux. Le sable et la farine forment des tas ; le sel s'écoule ou se bloque dans la sa- lière ; les grains du château de sable sont liés par de l'eau. Ces observations sont si familières que l'on en a longtemps négligé la portée. D'abord source de métaphores, tel l'atome de Démocrite, la matière en grains fait actuellement l'objet de nombreuses recherches scientifiques exploitant des propriétés étonnantes, à mi-chemin entre fluide et solide. On comprend dans ce livre précis et clair, fourmillant d'exemples, pourquoi la matière la plus ordinaire qui soit est une merveilleuse source d'inspiration pour des domaines d'application aussi variés que l'agronomie, les sciences de l'environnement, les matériaux de construction, le génie des procédés... et jusqu'aux sciences humaines et sociales.

ÉTIENNE
GUYON

Étienne Guyon est chercheur à l'ESPCI Paris-Tech, ancien directeur de l'École normale supérieure et du Palais de la Découverte.

JEAN-YVES
DELENNE

Jean-Yves Delenne est directeur de recherche à l'Institut national de la recherche agronomique (INRA).

FARHANG
RADJAI

Farhang Radjai est directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

6855841

ISBN 978-2-7381-3857-6



9 782738 138576

En couverture :
© Photo Pascal Blondin/Association Musée du Sable.

24,90 €

www.odilejacob.fr

Table

Préface	7
Avant-propos	11
CHAPITRE 1 – Grains, graines et poudres	15
Observons un grain.....	16
Beaucoup de puissances de dix (16) – Des tout petits grains (17) – Des gros grains (20) – Le grain qu'on tient dans la main (21)	
Compter des grains.....	27
Mesurer des grains.....	28
Le physicien et l'ingénieur s'intéressent aux grains (29) – La surface d'un grain (31)	
CHAPITRE 2 – La fabrique des grains.....	35
Faire du petit avec du gros... ..	36
Une histoire ancienne (36) – La fragmentation (41) – L'exemple de la meunerie (43) – L'importance des milieux granulaires dans le génie des procédés (45) – Les processus naturels de fragmentation/érosion (46)	
... et faire du gros avec du petit.....	48
Généralités sur l'agrégation (48) – Des agrégats cristallins... (49) – ... aux grains de couscous (49) – Les colloïdes (51) – Les formes fractales (51) – De la poussière à l'étoile (53)	
Trier les grains.....	55
Le tri (55) – Adapter une distribution de tailles des grains (60)	

CHAPITRE 3 – Des empilements de grains	63
L'archétype du sac de billes	64
L'ordre des empilements	68
Des billes sur un plan (68) – Des billes en volume (72) – Colloïdes et opales (76)	
Le désordre des milieux granulaires	80
Les défauts dans une couche de billes... (80) – ... et le désordre résultant (83) – Du désordre dans un sac de billes (84) – Jouer avec les tailles (89)	
CHAPITRE 4 – Compacité d'un empilement.....	93
Les limites de la compacité.....	93
Plusieurs valeurs supérieures (94) – D'autres causes de vides (94) – La quête du Graal pour un sac de billes (96) – La compacité minimale (98)	
Les effets de forme	101
Des grains très allongés (102) – Les bonbons M&Ms (103) – Des empilements numériques (104) – Des grains qui s'accrochent (105) – Grains anguleux (106)	
Compacité critique	108
La déformation des matériaux granulaires (108) – L'état critique (110)	
Dilatance.....	111
Dilatance et compacité (111) – Liquéfaction (113)	
CHAPITRE 5 – Établir des contacts	115
Deux grains, un contact.....	115
Le frottement entre deux grains.....	119
Le glissement (120) – Roulement et pivotement (124)	
Élasticité d'un empilement.....	126
Propagation du son.....	128
Des oreilles ensablées (128) – Acoustique des cristaux granulaires (130)	
Plasticité d'un empilement	131
Localisation des déformations.....	136
CHAPITRE 6 – Les manifestations du désordre.....	139
Les échelles du désordre.....	140
Le petit désordre (142) – Le très grand désordre (143) – Le grand désordre (143)	

La percolation ou le fil d'Ariane.....	144
Une expérience modèle (144) – D'autres situations de percolation (146) – La transition de percolation : un <i>phénomène critique</i> (147) – Le seuil de percolation (149) – Percolation : une généralisation (150)	
Le grand désordre des contacts électriques.....	151
Un ensemble de grains conducteurs (151) – L'effet Branly (151)	
La percolation en mécanique.....	154
CHAPITRE 7 – Les chaînes de force.....	157
Voir les forces	157
<i>Experimentum crucis</i> (157) – Les expériences numériques (159)	
Forces faibles contre forces fortes	160
La texture granulaire	162
Combien de contacts par grain ? (162) – Quelles sont les directions des contacts ? (164)	
Effet de voûte.....	165
Pressions sous un tas de sable.....	170
Pressions dans un silo	173
CHAPITRE 8 – Écoulements de grains	177
L'inertie des grains.....	178
Les régimes d'écoulement.....	181
Sablier et silo	185
Le sablier (185) – Le silo (188)	
L'angle du talus	190
Tas vibrés.....	192
La ségrégation	193
Les noix du Brésil (194) – La ségrégation dans les avalanches (196)	
CHAPITRE 9 – Du château de sable aux tours d'argile	199
Du fluide entre des grains.....	199
La tension superficielle	201
La physique du château de sable.....	203
Grains mouillés (203) – La preuve par les expériences (205) – Des gouttes et des grains simulés (206) – Cohésion macroscopique (210)	
L'eau dans le sol.....	212
Le sol mouillé (212) – Les états mécaniques du sol mouillé (213) – Le compactage des grains mouillés (214)	

Constructions de terre	217
La terre armée (217) – Bâtir en terre (218) – Des constructions renforcées (220) – Les grains prennent racine (221) – Augmenter la compacité (223) – L'argile (223)	
CHAPITRE 10 – Les grains collés	227
Les matériaux frittés.....	229
Le frittage (229) – Caractériser un fritté (231) – Préparer un fritté (233) – Des frittés poreux (235) – Les céramiques (236) – L'impression en 3 dimensions par frittage (237)	
Le béton	238
Coller les grains entre eux (238) – Une longue histoire interrompue (239) – Les nouvelles performances des bétons (240) – Le ciment (242)	
Les milieux consolidés naturels.....	243
Les roches sédimentaires (243) – Agents bactériens (243) – Le blé (244)	
Mécanique des composites granulaires.....	245
Types de rupture (245) – Le broyage (247) – Transmission des contraintes (248)	
CHAPITRE 11 – Les fluides dans les granulaires.....	251
La matière en grains est pleine de vides.....	252
La perméabilité	254
L'écoulement dans un tube (255) – La loi de Darcy (256) – Une longueur caractéristique d'un poreux (257) – Évaluer la perméabilité (259)	
Des milieux non saturés.....	259
Imbibition et drainage (260) – Un poreux envahi (261) – Le sol est un réservoir d'eau (263)	
Les fluides miscibles.....	264
Diffusion moléculaire... (264) – ... et dispersion (264)	
Modifier la perméabilité	266
Le bouchage d'un poreux (266) – Le débouchage d'un poreux (267) – La filtration (268)	
CHAPITRE 12 – Les grains dans un fluide.....	275
Un peu d'organisation !.....	276
La concentration des grains (276) – Des grains de tailles différentes (276) – La nature du fluide (278)	

La chute d'une bille.....	279
Le problème de Stokes (279) – L'inertie du fluide (281) – Diffusion et mobilité (282)	
Les particules en interaction.....	283
Une bille dans un tube (283) – L'entraide entre deux billes (283) – La chute d'un ensemble de billes (284)	
La sédimentation.....	285
La formation des sédiments (286) – Les interactions chimiques (287)	
Des particules agitées	288
Les vases des particules (288) – La fluidisation (289)	
La viscosité d'une suspension	292
Comment la viscosité varie avec la concentration (292) – Une suspension diluée (293) – Aux fortes concentrations (293) – Effets conjugués de la viscosité et de l'inertie des grains (296) – L'inertie du fluide (297)	
Conclusion	299
Glossaire.....	303
Bibliographie	315
Index	317
Remerciements.....	321
Crédits photos	323