

Table des matières

Avant-propos	1
Jacques BESSON, Frédéric LEBON et Éric LORENTZ	
Partie 1. Contact et frottement.	5
Chapitre 1. Méthodes de lagrangien et de Nitsche pour le contact avec frottement.	7
Franz CHOULY, Patrick HILD et Yves RENARD	
1.1. Introduction.	7
1.2. Contact avec frottement de deux corps élastiques en petites déformations.	8
1.2.1. Le contact de deux corps élastiques	8
1.2.2. La forme en inéquation faible classique.	11
1.2.3. Le principe de dualité et la forme faible avec multiplicateurs	12
1.2.4. Le lagrangien augmenté proximal : principe et utilisation	14
1.3. Approximation par éléments finis en petites déformations	16
1.3.1. État de l'art, méthodes avec multiplicateurs	18
1.3.2. Absence de condition inf-sup et méthodes stabilisées	20
1.3.3. La méthode de Nitsche vue comme modèle limite des méthodes stabilisées.	21
1.3.4. Lien entre Nitsche et lagrangien augmenté proximal	23
1.3.5. Lien entre Nitsche et pénalité.	24
1.4. Approximation par éléments finis en grandes déformations	25
1.4.1. Sur l'appariement de contact et la fonction <i>gap</i>	27
1.4.2. Formulation des conditions de contact et de frottement	30
1.4.3. Lagrangien augmenté et pénalisation	32

1.4.4. Méthode de Nitsche.	38
1.4.5. Sur la valeur du paramètre γ	40
1.4.6. Tests numériques	41
1.5. Remerciements.	46
1.6. Bibliographie.	47

Chapitre 2. Calcul intensif en mécanique multicontact : de l'élastostatique à la dynamique granulaire 53

Pierre ALART

2.1. Introduction.	53
2.2. Multicontact en élastostatique.	55
2.2.1. Cadre des développements	55
2.2.2. Préconditionnements de solveurs parallèles	58
2.2.3. Décomposition de domaine : solveur Newton-Schur	59
2.3. Non-régularité diffuse dans les structures discrètes : tenségrité	64
2.3.1. Motivation	64
2.3.2. Décomposition de domaine : solveur LATIN micro-macro	65
2.4. Dynamique granulaire	67
2.4.1. Formulation en vitesse-impulsion	67
2.4.2. Solveurs parallélisés et parallélisables.	69
2.4.3. Décomposition de domaine : solveur FETI-NLGS	74
2.5. Conclusion	81
2.6. Bibliographie.	82

Chapitre 3. Méthodes numériques en contact micromécanique 87

Vladislav A. YASTREBOV

3.1. Introduction.	87
3.1.1. Plan	88
3.2. Problème micromécanique du contact	88
3.2.1. Géométrie des surfaces : description mathématique.	88
3.2.2. Géométrie des surfaces : exemples et discussions.	91
3.2.3. Modèles de rugosité	93
3.2.4. Formalisation du contact.	94
3.2.5. Lois de frottement.	96
3.3. Méthode des éléments finis	98
3.3.1. Convergence, paramètres et pas de chargement	100
3.3.2. Convergence des problèmes du frottement	100

3.3.3. Convergence quadratique	103
3.3.4. Maillage et temps de calcul	103
3.3.5. Contrainte de contact	104
3.3.6. Régularité des surfaces.	106
3.4. Application I : étude d'une aspérité isolée.	107
3.4.1. Aspérité élastique	107
3.4.2. Aspérité élastoplastique	111
3.5. Application II : contact des surfaces rugueuses.	118
3.6. Conclusion	122
3.7. Bibliographie.	123
Partie 2. Endommagement et fissuration	147
Chapitre 4. Méthodes numériques pour la rupture ductile	149
Jacques BESSON	
4.1. Introduction.	149
4.2. Mécanismes physiques de la rupture ductile	150
4.3. Quelques modèles de rupture ductile	151
4.3.1. Le modèle de Rice et Tracey et critères de rupture	151
4.3.2. Le modèle de Gurson-Tvergaard-Needleman	152
4.3.3. Autres modèles	155
4.4. Réaliser des simulations de la rupture ductile dans un code par éléments finis	156
4.4.1. Paramètres des calculs	156
4.4.2. Contrôle des pressions	157
4.4.3. Application du critère de Rice et Tracey	158
4.4.4. Application du modèle GTN	159
4.4.5. Solution pragmatique.	162
4.5. Origine de la localisation.	163
4.6. Méthodes de régularisation	165
4.6.1. Méthodes intégrales	165
4.6.2. Méthodes dites à gradient explicite ou implicite.	166
4.6.3. Modèles micromorphes	170
4.6.4. Modèles à énergies enrichies	172
4.6.5. Exemple	174
4.7. Conclusion	177
4.8. Bibliographie.	180

Chapitre 5. Modélisation de la rupture quasi fragile 189

Éric LORENTZ

5.1. Quelles approches pour prédire la rupture quasi fragile ?	189
5.2. Matériaux à longueurs internes	192
5.2.1. Localisation et non-localité	192
5.2.2. Risques à ignorer le caractère non local inhérent à l'endommagement	195
5.2.3. Limitations d'une régularisation de la localisation par viscosité . .	197
5.2.4. Caractérisation de la longueur interne : vers un modèle de fissuration	199
5.3. Formulations non locales	203
5.3.1. Formulation du problème de mécanique à l'échelle de la structure	204
5.3.2. Quelques classes de modèles non locaux	208
5.3.3. Analyse qualitative des formulations non locales	217
5.3.4. Modèles à champ de phase et modèles à gradient d'endommagement	221
5.3.5. Approcher un modèle cohésif par un modèle à gradient	225
5.4. Aspects phénoménologiques du comportement quasi fragile.	228
5.4.1. Isotropie ou anisotropie ?	229
5.4.2. Caractère unilatéral	232
5.4.3. Comportement asymptotique à rupture	236
5.5. Méthodes de résolution numérique	241
5.5.1. Impact de la non-localité.	242
5.5.2. Des calculs difficiles à mener à bien.	252
5.6. Conclusion	262
5.7. Bibliographie.	265

**Chapitre 6. Méthodes des éléments finis étendus (XFEM)
et des *level sets* épaisses (TLS). 275**

Nicolas MOËS

6.1. Introduction.	275
6.2. Catégorisation des approches pour la fissuration.	276
6.3. La méthode des éléments finis étendus (XFEM) pour la fissuration des milieux non adoucissants	279
6.4. Les méthodes XFEM et <i>Thick Level Set</i> (XFEM-TLS) pour la fissuration des milieux adoucissants	285
6.4.1. Modèles TLS V1 et V2	289

6.4.2. Lien avec le modèle de Griffith et le modèle cohésif	293
6.4.3. TLS : aspects de l'implémentation	293
6.5. Exemples de simulation XFEM-TLS.	297
6.5.1. Rupture d'une craie par torsion	297
6.5.2. Multifissuration d'un bloc rempli de cavités	298
6.5.3. Flexion trois-points d'une poutre et fissure cohésive	300
6.6. Conclusion	301
6.7. Bibliographie.	302
Chapitre 7. Transition endommagement-fissure.	309
Sylvia FELD-PAYET	
7.1. Introduction.	309
7.1.1. Les modèles d'endommagement continu et leurs limites	309
7.1.2. Modéliser une discontinuité.	311
7.1.3. Définition d'une stratégie de transition endommagement-fissure.	319
7.1.4. Objectif et cadre de l'étude	321
7.2. Localiser une discontinuité.	321
7.2.1. Formulation d'un critère d'orientation.	322
7.2.2. Du critère d'orientation à la surface de fissure.	328
7.2.3. Méthodes basiques d'évaluation pour plus de régularité	332
7.2.4. Méthodes avancées d'évaluation assurant plus de régularité	334
7.2.5. Construction d'une surface discrétisée continue en 3D.	347
7.3. Insérer une discontinuité	355
7.3.1. Objectifs et liens avec le critère d'orientation	355
7.3.2. Les différents critères d'insertion	356
7.3.3. Points durs associés à la détermination du front	360
7.3.4. Perspectives : renforcer le lien avec la physique.	363
7.4. Reprendre le calcul après insertion d'une discontinuité.	363
7.4.1. Les problèmes	363
7.4.2. Transfert de champ	364
7.4.3. Rééquilibrage	370
7.5. Conclusion	372
7.6. Bibliographie.	373
Liste des auteurs.	383
Index	385