

GÉOSCIENCES

Dynamique de la lithosphère continentale

Le cycle sismique

de l'observation à la modélisation

sous la direction de
Frédérique Rolandone

Table des matières

Avant-propos	1
Frédérique ROLANDONE	
Introduction. Approche cinématique du cycle sismique	3
Marianne MÉTOIS	
Chapitre 1. Détermination des caractéristiques principales des séismes à partir des données sismologiques	37
Martin VALLÉE	
1.1. Introduction.	37
1.2. Observation des ondes élastiques générées par les séismes.	38
1.2.1. Observations à l'échelle mondiale	39
1.2.2. Données enregistrées à l'échelle locale et régionale	43
1.3. Modélisation des ondes élastiques générées par un séisme	44
1.3.1. Représentations simplifiées de la source sismique	45
1.3.2. Modélisation des ondes de volume en champ lointain et à distance lointaine : application aux modèles avec propagation horizontale de la rupture	50
1.3.3. Fonction de Green empirique	56
1.3.4. Modélisation complète du champ d'ondes élastiques	58
1.4. Quelques approches permettant de retrouver les caractéristiques globales de la source sismique	59
1.4.1. Méthodes reposant sur l'analyse des ondes de longue période à distance lointaine	59

1.4.2. Méthodes reposant sur l'analyse large bande des ondes de volume téléseismiques.	62
1.4.3. Méthodes d'analyse du champ complet à distance locale ou régionale	68
1.5. Conclusion	70
1.6. Bibliographie.	71
Chapitre 2. Phase co-sismique : imagerie de la rupture sismique . .	77
Zacharie DUPUTEL	
2.1. Introduction.	77
2.2. Les observations de surface	79
2.2.1. Données sismologiques	79
2.2.2. Données GNSS : de la géodésie à la sismo-géodésie	83
2.2.3. Imagerie satellite et aérienne	86
2.2.4. Données tsunami	88
2.3. Le problème direct.	88
2.3.1. Cas statique : modélisation de données géodésiques	90
2.3.2. Cas cinématique : modélisation de données sismologiques et GNSS haute fréquence	92
2.3.3. Calcul des fonctions de Green	96
2.4. Le problème inverse.	97
2.4.1. Approche par régularisation de Tikhonov.	99
2.4.2. Approche bayésienne.	100
2.4.3. Modélisation de données dans le domaine fréquentiel ou en ondelettes.	103
2.5. Caractérisation de la source et implications sur la physique des séismes.	105
2.6. Conclusion	112
2.7. Bibliographie.	113
Chapitre 3. Phase post-sismique : observations géodésiques et mécanismes	119
Frédérique ROLANDONE	
3.1. Les premières observations de la déformation post-sismique	119
3.2. La géodésie spatiale pour imager la déformation post-sismique.	123
3.2.1. Post-sismique du séisme de Sanriku-Haruka-Oki	124
3.2.2. Post-sismique du séisme de Landers.	125
3.2.3. Post-sismique du séisme d'Hector Mine	127

3.2.4. Post-sismique du séisme de Parkfield	129
3.3. Les processus de la déformation post-sismique et le comportement mécanique de la lithosphère.	131
3.3.1. Déformation poroélastique et circulation de fluides.	132
3.3.2. <i>Afterslip</i> et propriétés frictionnelles des failles.	133
3.3.3. Relaxation viscoélastique et viscosité du manteau supérieur . . .	134
3.4. Conclusion : importance de la déformation post-sismique dans le bilan du cycle sismique.	136
3.5. Bibliographie.	137

**Chapitre 4. Lois de friction et modélisation numérique
du cycle sismique 141**

Marion Y. THOMAS et Harsha S. BHAT

4.1. Les lois de friction.	141
4.1.1. Idées historiques sur la friction	141
4.1.2. De la friction statique à la friction dynamique	142
4.1.3. Loi de friction en <i>slip-weakening</i>	144
4.1.4. Loi de friction en <i>rate-weakening</i>	146
4.1.5. Loi de friction en <i>rate-and-state</i>	146
4.2. Modélisation simple des failles	150
4.2.1. Modélisation du glissement sur une faille : fluage ou séisme . . .	150
4.2.2. Modélisation du cycle sismique	153
4.3. Une réalité physique plus complexe	156
4.3.1. Variabilité dans le mode de glissement des failles.	157
4.3.2. Mécanismes additionnels pouvant jouer pendant les séismes . . .	159
4.3.3. Au-delà du modèle de Terre élastique.	161
4.3.4. Transition vers une nouvelle génération de modèles	162
4.4. Bibliographie.	164

**Chapitre 5. Cycle sismique de la subduction chilienne :
méga-séismes, gap sismique et couplage. 169**

Christophe VIGNY et Emilie KLEIN

5.1. Le contexte sismotectonique.	169
5.2. La théorie du gap sismique appliquée au Chili	171
5.3. Correspondance couplage/sismicité	173
5.4. Évaluation de l'aléa sismique actuel au Chili	176
5.4.1. De l'aléa au risque	176

5.4.2. Séismes de subduction « standards » au long des segments chiliens, du nord au sud.	177
5.4.3. Séismes de subduction « profonds ».	178
5.4.4. Séismes intra-plaques	178
5.5. Séismes géants et super-cycles	179
5.6. Bibliographie	184

**Chapitre 6. Cycle sismique de la subduction mexicaine : mise
en évidence du rôle clé des déformations transitoires 187**

Mathilde RADIGUET

6.1. Contexte géodynamique de la région.	188
6.1.1. Convergence des plaques et géométrie de la subduction	188
6.1.2. Sismicité	189
6.2. Observation du cycle sismique : évolution des réseaux et historique des découvertes	192
6.3. Caractérisation des séismes lents majeurs et liens avec le couplage. . .	194
6.3.1. Caractéristiques et localisation des SSE.	195
6.3.2. Liens avec le couplage	196
6.4. Activité sismique	197
6.4.1. Différents types de signaux identifiés	197
6.4.2. Caractéristiques globales des tremors dans la zone de subduction	201
6.4.3. Liens entre activité des tremors, LFE et SSE.	201
6.4.4. Caractérisation des petits SSE : analyses conjointes sismo-géodésiques	202
6.5. Interactions entre glissements asismiques et sismiques au Mexique . .	203
6.5.1. Glissements lents précédant des séismes majeurs	203
6.5.2. SSE et glissement post-sismique	205
6.5.3. Sensibilité des glissements asismiques aux ondes sismiques . . .	205
6.6. Conclusion	206
6.7. Bibliographie	207

**Chapitre 7. Topographie des avant-arcs : reflet des propriétés
sismiques des méga-chevauchements 213**

Nadaya CUBAS

7.1. Introduction.	213
7.2. Principe mécanique : la théorie du prisme critique.	214
7.3. Application aux avant-arcs de subduction.	216

7.3.1. Relations entre comportement sismique et propriétés frictionnelles.	216
7.3.2. Relations entre comportement sismique et état critique	217
7.3.3. Impact sur la distance fosse-côte	220
7.4. <i>Splay faults</i> : des failles de transition.	220
7.5. Déformation des prismes d'accrétion : témoin de la propagation de rupture sismique jusqu'en surface	222
7.6. Conclusion	223
7.7. Bibliographie.	225

**Chapitre 8. Le cycle de *diking* au niveau des frontières
de plaques divergentes 229**

Cécile DOUBRE

8.1. Introduction.	229
8.2. Les frontières de plaques divergentes	230
8.3. Interactions magmato-tectoniques dans les zones de rift	233
8.4. Le cycle de <i>diking</i>	235
8.4.1. La phase <i>co-diking</i>	236
8.4.2. La phase <i>post-diking</i>	245
8.4.3. La phase <i>inter-diking</i>	248
8.5. Conclusion	251
8.6. Bibliographie.	253

**Chapitre 9. Interactions entre la déformation tectonique
et l'érosion lors du cycle sismique dans les chaînes
de montagnes. 257**

Philippe STEER

9.1. Introduction.	257
9.2. Paradigme de paysages à l'état d'équilibre dynamique	259
9.3. Séismes et glissements de terrain co-sismiques.	261
9.4. Distribution de taille des glissements de terrain	264
9.5. Relaxation post-sismique des paysages	266
9.6. Discussions : bilan topographique des séismes et du cycle sismique . .	272
9.7. Perspectives : rôle de l'érosion sur la dynamique des failles et des séismes	275
9.8. Bibliographie.	277

Chapitre 10. Déformation cumulée, vitesse long terme et cycle sismique des décrochements intracontinentaux	285
Jérôme VAN DER WOERD	
10.1. Introduction	285
10.2. Du décalage géomorphologique à la vitesse d'une faille	287
10.2.1. Décalage tectonique des rivières	287
10.2.2. Les bords de terrasses alluviales (<i>risers</i>) pour la détermination des vitesses moyennes	289
10.3. Variation spatiotemporelle de la vitesse long terme des failles.	293
10.4. Glissement caractéristique, taille des séismes et cycle sismique	297
10.4.1. Du séisme au décalage cumulé : cas de la faille du Kunlun et séisme de Kokoxili	297
10.4.2. Répétition caractéristique des ruptures et des séismes.	301
10.5. Conclusion	302
10.6. Bibliographie	304
Chapitre 11. Paléosismologie	307
Yann KLINGER	
11.1. Introduction	307
11.2. Paléosismologie pour des failles en contexte continental	309
11.2.1. Tranchées paléosismologiques	309
11.2.2. Escarpement de failles en contexte calcaire.	313
11.2.3. Paléosismologie et imagerie satellitaire	314
11.3. Paléosismologie pour des failles en contexte marin	316
11.3.1. Subduction et mouvements verticaux	316
11.3.2. Enregistrement turbiditique des séismes.	320
11.4. Effets indirects des séismes et paléosismicité	321
11.5. Bibliographie	323
Chapitre 12. Modélisation analogique du cycle sismique et de la dynamique des séismes	327
Stéphane DOMINGUEZ	
12.1. Introduction	327
12.2. Principe et méthodologie	328
12.3. Résultats expérimentaux	331
12.3.1. Modélisation des différentes phases du cycle sismique	331
12.3.2. Modélisation cinématique du glissement et rôle des conditions aux limites.	341
12.4. Bibliographie	345
Conclusion. Évolution des idées sur le cycle sismique : une confrontation continue entre observations et modèles	347
Cécile LASSERRE	
Liste des auteurs.	357
Index	359

Les séismes sont parmi les manifestations les plus destructrices de la dynamique interne de la Terre. Cet ouvrage analyse le cycle sismique à différentes échelles de temps : le séisme (quelques secondes), les phases post-sismique (quelques années à dizaines d'années) et inter-sismique (quelques dizaines à centaines d'années), et enfin la déformation cumulée due à plusieurs cycles sismiques (quelques milliers à centaines de milliers d'années).

Le cycle sismique est ici étudié à travers des observations court terme sismologiques et géodésiques (GPS et InSAR) et des observations long terme tectoniques, géomorphologiques, morphotectoniques et paléosismologiques. Divers outils de modélisation sont présentés : les expériences analogiques, les approches expérimentales et la modélisation cinématique ou mécanique. Le cycle sismique est illustré dans différents contextes tectoniques, des failles décrochantes continentales aux zones de subduction. Enfin, les interactions entre le cycle sismique et le magmatisme dans les rifts ainsi que les interactions avec l'érosion dans les chaînes de montagnes sont également traitées.

La coordonnatrice

Frédérique Rolandone est maîtresse de conférences en sciences de la Terre à Sorbonne Université. Ses recherches portent sur le cycle sismique observé par la géodésie spatiale.