

Table des matières

Avant-propos	1
Hannelore DERLUYN et Marc PRAT	
Introduction	5
Marc PRAT	
Partie 1. Aspects fondamentaux	15
Chapitre 1. Thermodynamique et cinétique de la cristallisation de sels	17
Lionel MERCURY	
1.1. Introduction	17
1.2. Force motrice thermodynamique	18
1.2.1. Équilibre, spontanéité, irréversibilité	18
1.2.2. Paramètres contrôlant la force motrice	19
1.2.3. Expression de la force motrice	29
1.3. Stabilité, métastabilité et instabilité.	31
1.4. Cinétique des transformations de phase	33
1.4.1. Équation caractéristique	33
1.4.2. Couplage chimie-transport	35
1.5. Conclusion	36
1.6. Bibliographie	36

Chapitre 2. La pression de cristallisation	39
Noushine SHAHIDZADEH	
2.1. Introduction	39
2.2. Notion de pression de cristallisation	41
2.3. Mesure directe de la contrainte générée lors de la cristallisation en confinement	44
2.4. Relation entre pression de cristallisation et pression de disjonction . .	52
2.5. Concentration dans les films minces piégés entre le cristal et la paroi en fin d'évaporation	53
2.6. Conclusion	54
2.7. Remerciements	55
2.8. Bibliographie	56
Chapitre 3. Évaporation, transport et cristallisation	61
Marc PRAT	
3.1. Introduction	61
3.2. Évaporation en milieu poreux	62
3.2.1. Deux situations génériques	62
3.2.2. Cinématique	65
3.3. Transport des ions	65
3.4. Sursaturation	68
3.5. Subflorescence et efflorescence	69
3.6. Efflorescence ramifiée <i>versus</i> efflorescence compacte (croûte)	70
3.7. Enracinement de l'efflorescence	71
3.8. Facteurs affectant la distribution des efflorescences à la surface . . .	72
3.9. Dynamique des efflorescences	74
3.10. Impact de l'efflorescence sur la cinétique de séchage	75
3.11. Croûtes à motifs	79
3.12. Évaporation et formation de subflorescence	80
3.13. Modèles	80
3.14. Autres sels	83
3.15. Conclusion	83
3.16. Bibliographie	84

Chapitre 4. La poromécanique et la cristallisation confinée en milieu poreux	91
Patrick DANGLA	
4.1. Introduction	91
4.2. Potentiel chimique du cristal sous état de contraintes anisotropes	93
4.3. Pression de cristallisation et cinétiques de croissance	94
4.4. Thermodynamique de la cristallisation en milieu confiné	98
4.5. Équations d'état de la poroélasticité et degrés de saturation	101
4.6. Identification des propriétés poroélastiques	106
4.7. Courbe de rétention d'eau et répartition des cristaux de sels	107
4.7.1. Équilibre thermodynamique pour l'interface cristal-solution	108
4.7.2. Hors-équilibre thermodynamique pour l'interface cristal-solution	110
4.8. Conclusion	111
4.9. Bibliographie	112
Chapitre 5. Observations expérimentales sur la cristallisation des sels dans les géomatériaux	115
Hannelore DERLUYN	
5.1. Introduction	115
5.2. Imagerie par rayons X et neutrons	116
5.2.1. Interaction des rayons X et des neutrons avec la matière	116
5.2.2. Imagerie des géomatériaux et des processus dynamiques	120
5.3. Évaporation de l'eau saline et déformations induites par la cristallisation étudiées par radiographie neutronique à haute résolution	123
5.3.1. Procédure expérimentale et analyse d'image	123
5.3.2. Cristallisation de sel induite par le séchage dans un calcaire poreux	125
5.4. Dynamique de cristallisation du sel dans un échantillon de grès étudiée par microtomographie à rayons X en laboratoire 4D	135
5.4.1. Procédure expérimentale et analyse d'image	135
5.4.2. Cinétique de séchage-cristallisation	137
5.5. Conclusion	139
5.6. Remerciements	140
5.7. Bibliographie	141

Partie 2. Illustrations 145**Chapitre 6. Les précipitations minérales à grande échelle et leurs effets sur les infrastructures** 147

Anna RAMON-TARRAGONA et Eduardo E. ALONSO

6.1. Introduction	147
6.2. Effets nuisibles des expansions dans les roches et sols sulfatés	148
6.3. Phénomènes expansifs extrêmes dans le tunnel de Lilla	151
6.3.1. Géologie, conception et construction	151
6.3.2. Phénomènes expansifs et propriétés du sol	153
6.3.3. Renforcement et reconstruction du tunnel	156
6.4. Soulèvement du viaduc du pont de Candí	158
6.4.1. Comportement du viaduc et géologie	158
6.4.2. Investigation de terrain	159
6.4.3. Mesures correctives	164
6.4.4. Réaction d'un groupe de piles à l'expansion profonde	165
6.5. Mécanismes de gonflement dans les roches sulfatées	166
6.5.1. Interprétation actuelle	166
6.5.2. Pressions de cristallisation dans les roches anhydritiques	169
6.5.3. Scénarios d'expansion et de soulèvement dans les roches anhydritiques	170
6.6. Modélisation couplée thermo-hydro-mécanique et chimique de la précipitation des cristaux et de la déformation des roches contre les infrastructures	171
6.6.1. Formulation des modèles	171
6.7. Calcul de l'expansion : comparaison avec les observations sur le terrain	173
6.7.1. Analyse de sensibilité	175
6.8. Conclusion	176
6.9. Remerciements	177
6.10. Bibliographie	177

Chapitre 7. Les sels dans le patrimoine 181

Julie DESARNAUD

7.1. Introduction	181
7.2. Interaction sels-eau	182
7.2.1. La cristallisation	182
7.2.2. La dissolution	184
7.2.3. L'hygroscopicité et la déliquescence	185

7.2.4. L’interaction sels-eau-matériau	186
7.3. Les sels dans le patrimoine	188
7.3.1. Nature et origine des sels	188
7.3.2. Ascension et répartition des sels dans les maçonneries	191
7.3.3. Mécanismes d’altération	192
7.4. Le traitement des objets/monuments contaminés par les sels	196
7.4.1. Stabilisation des conditions environnementales	197
7.4.2. Extraction des sels	198
7.5. Conclusion	201
7.6. Remerciements	202
7.7. Bibliographie	202
Chapitre 8. La cristallisation de sels dans un environnement changeant	207
Beatriz MENÉNDEZ	
8.1. Introduction	207
8.2. Cristallisation/dissolution et changement de phase des sels en fonction des conditions environnementales	209
8.2.1. Comportement des sels simples	210
8.2.2. Comportement des sels complexes	213
8.2.3. Modélisation de la cristallisation de sels complexes	221
8.2.4. Limites des modèles	225
8.3. Changement des conditions environnementales	226
8.3.1. La pollution atmosphérique	227
8.3.2. Le climat	232
8.4. Estimation de la dégradation future des matériaux par les sels	235
8.4.1. Méthodes utilisées	235
8.4.2. Limitations des méthodes utilisées	238
8.5. Conclusion	242
8.6. Bibliographie	243
Liste des auteurs	249
Index	251