

Sommaire

Préface	III
----------------------	-----

Liste des auteurs	V
--------------------------------	---

Thème 1. Physico-chimie des surfaces	1
---	---

CHAPITRE 1 : Introduction à la physico-chimie des surfaces	3
---	---

1.1. Généralités	3
-------------------------------	---

1.2. Tension superficielle et mouillabilité	4
--	---

1.2.1. <i>Concepts</i>	4
------------------------------	---

1.2.2. <i>Applications</i>	8
----------------------------------	---

1.3. Adsorption	10
------------------------------	----

1.4. Surfaces chargées	14
-------------------------------------	----

1.4.1. <i>Concepts</i>	14
------------------------------	----

1.4.2. <i>Interactions entre surfaces chargées</i>	17
--	----

1.5. Caractérisation et modification des surfaces	20
--	----

1.6. Remerciements	21
---------------------------------	----

CHAPITRE 2 : Matériaux de construction : généralités et caractéristiques physico-chimiques	23
---	----

2.1. Généralités – ciments, mortiers et bétons	23
---	----

2.1.1. <i>Le ciment Portland</i>	24
--	----

2.1.2. <i>Les ciments aluminates de calcium</i>	27
---	----

2.1.3. <i>Les ciments modernes : combinaisons de matériaux minéraux</i> ..	28
--	----

2.2. Prise et durcissement – principes fondamentaux de la cristallisation	29
--	----

2.2.1. <i>Notions d'équilibre de solubilité, de sous- et de sur-saturation</i> ..	29
---	----

2.2.2. <i>Germmination</i>	32
----------------------------------	----

2.2.3. <i>Croissance cristalline</i>	35
--	----

2.2.4. <i>Application des principes de la cristallisation au ciment Portland</i>	36
--	----

2.2.5.	<i>Application des principes de la cristallisation aux ciments aluminates de calcium</i>	39
2.3.	La chimie de surface des ciments hydratés	41
2.3.1.	<i>Charges de surface et potentiel ζ.</i>	41
2.3.2.	<i>Conséquences pour les matériaux cimentaires.</i>	43
2.4.	Conclusion	44
CHAPITRE 3 :	Interactions microorganismes-bétons.	49
3.1.	Généralités	49
3.2.	Paramètres influençant la bioréceptivité des matériaux cimentaires	50
3.2.1.	<i>Relations entre ces paramètres et la bioréceptivité</i>	51
3.2.2.	<i>Énergie de surface</i>	52
3.2.3.	<i>Mesures d'angles de contact.</i>	54
3.3.	Mesures de l'évolution des propriétés de surfaces de pâtes cimentaires avec la technique de mesure d'angles dynamiques.	55
3.3.1.	<i>Mise en œuvre.</i>	55
3.3.2.	<i>Évolution des angles de contact en fonction du temps</i>	57
3.3.3.	<i>Évolution des angles de contact en fonction du diamètre</i>	58
3.4.	Conclusion	63

Thème 2. Les biofilms : des acteurs de la biodétérioration

CHAPITRE 4 :	La cellule bactérienne : unité fonctionnelle du biofilm	67
4.1.	Introduction	67
4.2.	Les microorganismes	69
4.3.	Diversité de microorganismes et de leurs habitats	69
4.4.	Structures et fonctions de la cellule bactérienne.	71
4.4.1.	<i>Le cytoplasme et son contenu, le nucléoïde.</i>	72
4.4.2.	<i>La membrane cytoplasmique</i>	73
4.4.3.	<i>Les enveloppes bactériennes</i>	74
4.4.4.	<i>Appendices, filaments et extensions cytoplasmiques.</i>	79
4.5.	Le métabolisme chez les bactéries	82
4.5.1.	<i>Respiration des chimioorganotrophes aérobies</i>	85
4.5.2.	<i>Chimioolithotrophes aérobies</i>	86
4.5.3.	<i>Les respirations anaérobies</i>	88
4.5.4.	<i>Les fermentations.</i>	92

4.5.5.	<i>Stratification et arrangements spatio-métaboliques, syntrophies</i>	93
4.5.6.	<i>Couplages de métabolismes biotiques et abiotiques</i>	96
CHAPITRE 5 :	Mode de vie en biofilm pour le peuple microscopique des surfaces	101
5.1.	Le biofilm, un mode de vie qui nous concerne	101
5.2.	Un chantier perpétuel	103
5.3.	Un ciment organique complexe pour maintenir l'édifice	106
5.4.	Des édifices presque indestructibles	109
5.4.1.	<i>La matrice extracellulaire comme bouclier protecteur</i>	110
5.4.2.	<i>Différenciation et adaptation physiologique</i>	111
5.4.3.	<i>Le biofilm comme moteur de la plasticité génétique des bactéries</i>	112
5.4.4.	<i>Le quorum-sensing, un véritable réseau social pour les microbes</i>	113
5.4.5.	<i>Biofilms pluri-microbiens : plus fort en consortium</i>	114
5.5.	Comment vivre avec les biofilms	114
CHAPITRE 6 :	Voyage dans l'espace intercellulaire des biofilms : nature, cohésion et fonctions des exopolymères	131
6.1.	Chimie des EPS de biofilms environnementaux	132
6.2.	Fonctionnalités associées aux EPS des biofilms	134
6.2.1.	<i>Interactions physico-chimiques entre EPS et cohésion du biofilm</i>	135
6.2.2.	<i>Accumulation d'éléments métalliques et organiques par les EPS</i>	142
6.2.3.	<i>Enzymes hydrolytiques associés aux EPS</i>	143
6.2.4.	<i>Protection du biofilm contre les agents désinfectants</i>	144
6.3.	Conclusion	145
CHAPITRE 7 :	Biofilms en milieu marin : exemple des vasières intertidales et des structures métalliques portuaires	153
7.1.	Vie en biofilm des bactéries marines	153
7.2.	Conséquences de l'établissement de biofilms sur l'activité humaine en milieu marin	154
7.3.	Communautés bactériennes de deux exemples de biofilms en milieu marin pouvant avoir des impacts différents	157
7.3.1.	<i>Le biofilm des vasières intertidales</i>	158
7.3.2.	<i>Le biofilm des structures métalliques portuaires</i>	159
7.3.3.	<i>Les interactions au sein des biofilms marins</i>	164
7.4.	Conclusion	165

CHAPITRE 8 : Les biofilms dans la gestion de la qualité microbienne des eaux destinées à la consommation humaine en cours de distribution	173
8.1. Introduction	173
8.2. De l'usine au robinet : un vaste réacteur chimique et biologique complexe à gérer	174
8.3. Les interfaces eau-matériaux dans les réseaux d'EDCH	176
8.4. Évolution des connaissances sur les causes des proliférations bactériennes dans les réseaux d'EDCH.	178
8.4.1. <i>Matières organiques biodégradables</i>	178
8.4.2. <i>Connaissances sur les biofilms</i>	181
8.5. Maîtriser les biofilms dans les réseaux d'EDCH	182
8.6. Conclusion	184
CHAPITRE 9 : Les biofilms dans les circuits de refroidissement industriels.	189
9.1. Introduction	189
9.2. Biofilm et circuits de refroidissement évaporatif : risque sanitaire	190
9.2.1. <i>Circuits de refroidissement évaporatif</i>	190
9.2.2. <i>Caractéristiques des biofilms dans les circuits</i>	192
9.2.3. <i>Détection et mesure du biofilm</i>	195
9.2.4. <i>« Risque légionelle » et rôle du biofilm</i>	197
9.2.5. <i>Facteurs majeurs de risques sanitaires</i>	198
9.2.6. <i>Stratégie de gestion du « risque légionelle »</i>	201
9.3. Biofilm dans un réseau de froid : le risque de corrosion	204
9.3.1. <i>Réseau d'eau de froid</i>	204
9.3.2. <i>Caractéristiques des biofilms dans les réseaux de froid</i>	205
9.3.3. <i>Danger lié à la corrosion induite par les microorganismes</i>	206
9.3.4. <i>Facteurs de risque majeurs</i>	207
9.3.5. <i>Stratégie de gestion du risque de corrosion</i>	209
9.4. Conclusion	211

Thème 3. Biocorrosion des matériaux métalliques 215

CHAPITRE 10 : Méthodes électrochimiques : application à la biocorrosion.	217
10.1. Introduction	217

10.2. Influence des EPS extraits de <i>Pseudomonas</i> NCIMB 2021 sur le comportement à la corrosion de l'alliage 70Cu-30Ni en eau de mer	218
10.2.1. <i>Conditions expérimentales.</i>	218
10.2.2. <i>Résultats : mesures électrochimiques</i>	221
10.2.3. <i>Mécanisme de corrosion</i>	223
10.2.4. <i>Modélisation des données d'impédance</i>	224
10.2.5. <i>Résultats : courant de corrosion.</i>	228
10.3. Influence des EPS extraits de <i>Desulfovibrio alaskensis</i> sur le comportement à la corrosion de l'acier doux St37-2 en eau de mer	229
10.3.1. <i>Conditions expérimentales.</i>	229
10.3.2. <i>Résultats</i>	230
10.4. Conclusion	232
CHAPITRE 11 : Les interactions fer-soufre dans les phénomènes de biocorrosion.	235
11.1. Introduction	235
11.2. Corrosion marine des aciers au carbone.	236
11.2.1. <i>Rôle de la couche de produits de corrosion</i>	237
11.2.2. <i>Description de la couche de produits de corrosion</i>	239
11.3. Corrosion des aciers en milieux argileux – couplages galvaniques	243
11.3.1. <i>Les hétérogénéités de la couche de produits de corrosion</i>	243
11.3.2. <i>Couplages galvaniques et hétérogénéité de la couche de produits de corrosion</i>	245
11.4. Conclusion	248

Thème 4. Biodétérioration des matériaux non métalliques 253

CHAPITRE 12 : Biodétérioration des matériaux cimentaires : interactions environnement – microorganismes – matériaux	255
12.1. Introduction	255
12.2. Interactions environnement – microorganismes	256
12.2.1. <i>Les algues et les cyanobactéries.</i>	257
12.2.2. <i>Les champignons.</i>	258
12.2.3. <i>Les bactéries</i>	258

12.3. Interactions environnement – matériaux cimentaires	260
12.3.1. <i>Vieillessement des matériaux cimentaires en fonction de l'environnement.</i>	260
12.3.2. <i>Biocolonisation des matériaux cimentaires.</i>	263
12.4. Interactions microorganismes – matériaux cimentaires : biodétérioration	266
12.4.1. <i>Biodétérioration esthétique.</i>	266
12.4.2. <i>Biodétérioration mécanique.</i>	267
12.4.3. <i>Biodétérioration chimique / mécanique.</i>	267
12.5. Démarche scientifique d'étude de la biodétérioration des matériaux cimentaires	270
12.5.1. <i>Essais de laboratoire pour la biodétérioration esthétique.</i>	272
12.5.2. <i>Essais de laboratoire pour la biodétérioration chimique / mécanique</i>	273
12.6. Conclusion	276
CHAPITRE 13 : Biodétérioration des bétons	283
13.1. Introduction	283
13.2. Spécificités des bétons vis-à-vis des microorganismes	283
13.2.1. <i>Spécificité chimiques.</i>	284
13.2.2. <i>Spécificités physiques</i>	285
13.2.3. <i>Problématique de l'étude de la biodétérioration réelle des bétons</i>	287
13.3. Processus générique de biodétérioration	288
13.4. Mesure de la biodétérioration du béton	292
13.4.1. <i>Propriétés physiques</i>	292
13.4.2. <i>Propriétés chimiques.</i>	293
13.5. Amélioration de la résistance du béton.	293
13.5.1. <i>Composition du béton.</i>	293
13.5.2. <i>Mise en œuvre.</i>	294
13.6. Différences entre une attaque chimique et une attaque biologique.	296
13.7. Conclusion	297
CHAPITRE 14 : Biodétérioration des matériaux cimentaires dans les ouvrages d'assainissement.	303
14.1. Introduction	303
14.2. Comment se concrétise la biodétérioration dans les ouvrages d'assainissement ?.	305
14.3. L'hydrogène sulfuré : vecteur principal du phénomène de biodétérioration dans les ouvrages d'assainissement	308
14.4. Impact de la biodétérioration sur les matériaux cimentaires	311

14.4.1.	<i>Influence de la composition chimique du matériau cimentaire sur leur durabilité dans les réseaux d'assainissement</i>	313
14.4.2.	<i>Les revêtements polymères comme protection des matériaux cimentaires dans les réseaux d'assainissement</i>	317
14.5.	Essais <i>in situ</i> pour l'étude du phénomène de biodétérioration dans les réseaux d'assainissement.	318
14.5.1.	<i>Exposition en Afrique du Sud, le Virginia Experimental Sewer.</i>	319
14.5.2.	<i>Exposition au Japon, université d'Hokkaido</i>	320
14.5.3.	<i>Exposition en France, Ifsttar</i>	320
14.6.	Conclusion	322
CHAPITRE 15 : Biodétérioration des œuvres d'art		327
15.1.	Introduction	327
15.2.	Microorganismes impliqués dans la biodétérioration des biens culturels	328
15.2.1.	<i>Les champignons inférieurs.</i>	328
15.2.2.	<i>Les champignons supérieurs</i>	330
15.2.3.	<i>Les bactéries non photosynthétiques</i>	334
15.2.4.	<i>Les microorganismes photosynthétiques</i>	334
15.3.	Méthodes de détection appliquée aux champignons.	337
15.4.	Altération des vitraux médiévaux suite à l'oxydation du manganèse.	338
15.5.	Méthodes de traitement par rayonnements UV-C	341
15.6.	Conclusion	343

Thème 5. Conception et modification des matériaux 347

CHAPITRE 16 : Choix des matériaux métalliques et biocorrosion.		349
16.1.	Introduction	349
16.2.	Le titane et ses alliages	351
16.3.	L'aluminium et ses alliages	352
16.4.	Les aciers non alliés	353
16.4.1.	<i>Le facteur de piqûration.</i>	354
16.4.2.	<i>Quantification de la corrosion généralisée en eaux naturelles.</i>	356
16.5.	Les aciers inoxydables	361
16.5.1.	<i>Milieux aérés</i>	362
16.5.2.	<i>Milieux désaérés</i>	364
16.5.3.	<i>Milieux mixtes (avec zones aérées et zones désaérées)</i>	365
16.6.	Remarques conclusives.	367

CHAPITRE 17 : Les surfaces antimicrobiennes : un atout dans la lutte contre le développement des biofilms	371
17.1. Introduction	371
17.2. Différents types de surfaces ou revêtements antimicrobiens	373
17.2.1. <i>Surfaces nanostructurées</i>	373
17.2.2. <i>Peptides antimicrobiens (AMPs)</i>	375
17.2.3. <i>Polymère à propriété d'anti-adhésion, le polyéthylène glycol. . . .</i>	377
17.2.4. <i>Revêtement renfermant des nanoparticules (Ag, Cu, TiO₂, ZnO, CuO)</i>	378
17.2.5. <i>Polymères biocides (polymères cationiques hydrophobes, N-halamines)</i>	380
17.3. Focus sur les revêtements N-halamines (régénérables)	381
17.4. Conclusion	390
CHAPITRE 18 : Substances microbiennes extracellulaires pour les matériaux cimentaires	395
18.1. Introduction : matériaux cimentaires et adjuvants	395
18.2. Substances microbiennes extracellulaires	396
18.3. Influence des SEC sur les performances mécaniques	397
18.3.1. <i>Propriétés rhéologiques</i>	397
18.3.2. <i>Résistance à la compression.</i>	399
18.4. Influence des SEC sur les caractéristiques physico-chimiques. . . .	401
18.4.1. <i>Résistance à la compression.</i>	401
18.4.2. <i>Mécanismes d'hydratation</i>	403
18.4.3. <i>Rugosité de pâtes de ciment</i>	405
18.5. Interaction entre substances extracellulaires et matériaux cimentaires : action curative	407
18.5.1. <i>Béton autocatrisant</i>	407
18.5.2. <i>Perméabilité des matériaux cimentaires</i>	408
18.6. Conclusion	408