

Table des matières

Partie A : OUTILS POUR L'ETUDE DES SURFACES

Chapitre I : PHYSICOCHIMIE DES SURFACES	2
1 - Surfaces et interfaces	2
2 - Thermodynamique des surfaces et des interfaces	4
2.1. Rappels et compléments de thermodynamique classique	4
2.2. Modèle de Gibbs des surfaces	9
3 - Réactivité des surfaces	13
3.1. Mécanismes	13
3.2. Relaxation, reconstruction et ségrégation	14
3.3. Adsorption	15
4 - Structures des surfaces	17
4.1. Quelle surface pour quel matériau ?	17
4.2. Modèle TLK des matériaux cristallins	18
4.3. Surfaces industrielles	19
5 - Adhésion	20
5.1. Introduction	20
5.2. Forces et mécanismes d'adhésion	21
5.3. Adhésion thermodynamique	24
5.4. Adhésion physico-chimique	29
6 - Mouillabilité des surfaces	35
7 - Exercices	38
Chapitre II : TRIBOLOGIE	39
1 - Lois du frottement sec	40
1.1. Frottement macroscopique	40
1.2. Les modèles du XXème siècle	41
2 - Contacts lisses et adhésion	44
2.1. Contact élastique - modèle de Hertz	44
2.2. Modèle JKR	46
2.3. Modèle DMT	48
3 - Contacts rugueux	49
3.1. Topographie des surfaces	49
3.2. Contacts rugueux	56
3.3. Adhérence des contacts	58
4 - Dynamique des contacts	62
4.1. Ecart systématique avec les lois d'Amontons-Coulomb	62
4.2. Modélisation(s) et interprétation(s)	66
Chapitre III : ELECTROCHIMIE	69
1 - Oxydo-réduction et thermodynamique	69
1.1. De la chimie à l'électrochimie	70
1.2. Couplage de deux systèmes Red-Ox	71
1.3. Electrodes, électrolytes et potentiels d'électrodes	72
1.4. Double couche et interprétation physique du potentiel d'électrode	75
1.5. Représentation des équilibres dans le plan E - pH	76
2 - Cinétique électrochimique	78
2.1. Cinétique chimique	78
2.2. Application à l'électrochimie	79
2.3. De la vitesse globale à la densité de courant	81
2.4. Densité de courant d'échange	82
2.5. Equation générale de Butler-Volmer	82
2.6. Equation de Butler-Volmer en l'absence de diffusion	83
2.7. Cinétique de l'étape de transport	85
2.8. Autres étapes	87

3 - Cinétique liée aux couplages de systèmes red-ox	88
3.1. Piles et cellules d'électrolyse.....	88
3.2. Couplage de deux systèmes red-ox.....	90
3.3. Conductance d'un électrolyte	91
4 - Electrolyse et électrodéposition.....	93
4.1. Eléments constitutifs d'une cellule d'électrolyse	93
4.2. Tension d'électrolyse.....	94
4.3. Sélection des réactions d'oxydo-réduction	95
4.4. Application aux revêtements électrolytiques	96
4.5. Autres applications industrielles.....	100
5 - Exercices	102
Chapitre IV : CARACTERISATION DES SURFACES	103
1 - Méthodes de caractérisation	103
2 - Observation et imagerie.....	106
2.1. Microscope électronique environnemental à balayage	106
2.2. Microscopie à force atomique	109
3 - Mesure de la topographie.....	112
4 - Caractérisation structurale et physico-chimique	115
4.1. Application des rayons X à l'analyse des surfaces	115
4.2. Mesure de la tension superficielle	118
5 - Analyse mécanique des surfaces	120
5.1. Essai d'indentation instrumentée (nanoindentation).....	120
5.2. Adhérence de dépôts.....	123
Partie B : DETERIORATION DES SURFACES EN SERVICE	
Chapitre V : DETERIORATION PAR USURE	126
1 - Systèmes tribologiques.....	126
1.1. Introduction	126
1.2. Paramètres de conception et de service des systèmes tribologiques.....	127
1.3. Lois expérimentales d'usure.....	128
1.4. Quelques éléments sur le frottement lubrifié.....	128
2 - Modèle du troisième corps	129
2.1. Principe.....	129
2.2. Evolution et recirculation des débris	131
2.2.Sites et modes d'accommodation des vitesses.....	131
3 - Endommagement des surfaces.....	132
3.1. Détachement de particules par abrasion	133
3.2. Détachement de particules par adhésion.....	134
3.3. Détachement de particules par délamination	135
3.4. Transformations des particules en lits de débris	135
4 - Principaux modes d'usure.....	136
4.1. Usure par abrasion	136
4.2. Usure par adhésion	137
4.3. Usure par fatigue des surfaces	138
4.4. Usure en petits débattements	140
4.5. Autres formes d'usure	141
5 - Etude expérimentale de l'usure	142
Chapitre VI : DETERIORATION PAR CORROSION.....	143
1 - Introduction.....	143
1.1. Pourquoi s'intéresser à la corrosion ?	143
1.2. Modes de corrosion	144
1.3. Facteurs de la corrosion.....	145
1.4. Plan du chapitre	145
2 - Corrosion humide	146
2.1. Mécanismes de la corrosion électrochimique en milieu humide	146

2.2. Systèmes couplés à électrodes localisées.....	149
2.3. Couplage d'électrodes non localisées : corrosion généralisée	153
2.4. Etat actif et état passif.....	154
2.5. Corrosions localisées des électrodes mixtes	159
2.6. Petit inventaire des corrosions localisées.....	165
3 - Métrologie de la corrosion.....	175
3.1. Objectifs de la métrologie de la corrosion	175
3.2. Principes généraux des mesures électrochimiques	176
4 - Notions sur les autres formes de corrosion	186
4.1. Corrosion sèche ou corrosion à haute température	186
4.2. Notions sur la corrosion atmosphérique.....	191
Chapitre VII : DETERIORATION PHYS. ET PHYS. CHIM. NON METAL.	193
1 - Dégradation des polymères	193
1.1. Rappels sur les classes de polymères et sur les adjuvants	193
1.2. Vieillessement physique des matières plastiques	195
1.3. Vieillessement chimique des matières plastiques.....	196
1.4. Cas de la dégradation des composites.....	201
1.5. Recyclage des plastiques	202
2 - Dégradation des céramiques	204
2.1. Oxydation	205
2.2. Dégradation chimique.....	205
2.3. Céramiques et stabilisation des déchets nucléaires.....	208
Chapitre VIII : CRITERES TECHN. CHOIX TRAIT. DE SURFACE	211
1 - Prévention des différentes formes d'usure	211
1.1. Prévention de l'usure par frottement	211
1.2. Prévention de l'usure par corrosion	212
1.3. Association corrosion et frottement.....	214
2 - Principaux traitements et revêtements	214
2.1. Classement par types d'interactions avec le substrat.....	215
2.2. Classement par procédés	215
2.3. Classement en fonction des objectifs recherchés.....	215
Partie C : DEVELOPPEMENT DURABLE ET ECOCONCEPTION	
Chapitre IX : DEVELOPPEMENT DURABLE : PRINCIPES ET MISE EN OE. 220	220
1 - Principes du développement durable	220
1.1. Constats et réactions	220
1.2. Les pôles du développement durable.....	222
1.3. Indicateurs de durabilité	223
2 - Mise en œuvre du développement durable	226
2.1. Les acteurs	226
2.2. Les régulations.....	228
Chapitre X : ECOCONCEPTION.....	233
1 - Matériaux et développement.....	233
1.1. Matériaux et développement économique.	233
1.2. Matériaux et développement social	234
1.3. Matériaux et pollution	235
1.4. Matériaux et ressources naturelles.....	238
2 - Ecoconception.....	240
2.1. Enjeux.....	240
2.2. Définition et principes	240
2.3. Les outils	241
2.4. Directives et écoconception.....	243
2.5. Démarches d'écoconception.....	244

Partie D : MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ET ECOCONCEPTION DE TECHNOLOGIES PROPRES

Chapitre XI : PRESELECTION DE TRDS, ANALYSE DU CYCLE DE VIE.....	246
1 - Enjeux des traitements de surface du XXI^{ème} siècle.....	246
1.1. Enjeux des TRDS	246
1.2. Meilleures technologies disponibles et technologies propres	247
2 - Arbitrage des choix : écoconception et ACV	248
3 - Orientations pour une présélection de TRDS.....	252
Chapitre XII : CHROME ET CHROMAGE	253
1 - Le chrome et ses applications industrielles.....	253
1.1. Principales caractéristiques du chrome.....	253
1.2. Mise en œuvre dans les traitements de surface.....	253
1.3. Propriétés et emplois des dépôts électrolytiques de chrome.....	255
1.4. Restrictions d'emploi du Chrome VI.....	258
2 - Contraintes environnementales	259
2.1. Directives sectorielles.....	259
2.2. Solutions de remplacement du chrome VI.....	260
2.3. Cas du chrome métal	261
Chapitre XIII : TRAITEMENTS ET REVETEMENTS EPAIS	263
1 - Techniques en présence	263
1.1. Techniques laser	263
1.2. Projection thermique.....	264
2 - Techniques laser.....	265
2.1. Principes fondamentaux des lasers	265
2.2. Interactions faisceaux laser-matière.....	269
2.3. Familles de lasers de puissance	270
2.4. Techniques d'apport de matière.....	272
2.5. Rechargement laser.....	273
3 - Dépôts réalisés par projection plasma	277
3.1. Principe.....	277
3.2. Torches à plasma	277
3.3. Caractéristiques des dépôts.....	278
4 - Dépôts hybrides.....	280
Chapitre XIV : DEPOTS EN PHASE VAPEUR.....	281
1 - Techniques PVD.....	281
1.1. Evaporation thermique sous vide.....	282
1.2. Ablation laser.....	285
1.3. Pulvérisation cathodique (sputtering)	286
2 - Dépôts CVD	288
2.1. Principe et types de réactions	288
2.2. Couche limite.....	289
2.3. Paramètres thermodynamiques des dépôts CVD.....	290
2.4. Techniques CVD	291
Solutions des exercices.....	293
Notes et références.....	294