

Table des matières

PARTIE A : ELABORATION, MICROSTRUCTURES ET PROPRIETES DES METAUX ET ALLIAGES DE BASE

Chapitre I : DIAGRAMMES DE PHASES	1
1- Quelques rappels.....	1
2- Diagrammes fer carbone.....	3
3- Influence des éléments d'addition.....	8
3.1. Rôles spécifiques des éléments d'addition.....	8
3.2. Quelques exemples d'alliages fer-élément d'addition.....	10
3.3. Exemples de diagrammes fer-carbone-élément d'addition.....	11
4- Exercices.....	13
Chapitre II : SIDERURGIE	15
1- Historique.....	15
2- La sidérurgie française.....	22
2.1. Elaboration de la fonte.....	23
2.2. Elaboration de l'acier.....	28
2.3. Affinage et coulée de l'acier.....	32
2.4. Mise en forme et parachèvement.....	35
2.5. Cas de l'élaboration des aciers spéciaux.....	39
3- Exercices.....	40
Chapitre III : ELABORATION DES METAUX NON FERREUX	41
1- Métallurgie extractive : objectifs et procédés.....	41
2- Elaboration de l'aluminium.....	43
2.1. Historique.....	43
2.2. Domaines d'utilisation.....	43
2.3. Minerais et traitements.....	43
3- Elaboration du cuivre.....	45
3.1. Historique.....	45
3.2. Domaines d'utilisation.....	45
3.3. Minerais et traitements.....	46
4- Elaboration du zinc.....	47
4.1. Historique.....	47
4.2. Domaines d'utilisation.....	47
4.3. Minerais et traitements.....	47
5- Elaboration du nickel.....	49
5.1. Historique.....	49
5.2. Domaines d'utilisation.....	49
5.3. Minerais et traitements.....	49
6- Elaboration du magnésium.....	51
6.1. Historique.....	51
6.2. Domaines d'utilisation.....	51
6.3. Minerais et traitements.....	51
7- Elaboration de l'étain.....	53
7.1. Historique.....	53
7.2. Domaines d'utilisation.....	53
7.3. Minerais et traitements.....	53
8- Elaboration du titane.....	54
8.1. Historique.....	54
8.2. Domaines d'utilisation.....	54
8.3. Minerais et traitements.....	54
9- Elaboration du plomb.....	56
9.1. Historique.....	56

9.2. Domaines d'utilisation	56
9.3. Minerais et traitements.....	56
10- Exercices	58
Chapitre IV : MICROSTRUCT. ET PROPRIETES DES ACIERS NON ALLIES	59
1- Microstructures à l'état recuit.....	59
1.1. Evolution des microstructures avec la teneur en carbone	60
1.2. Microstructures industrielles.....	67
2- Modification des microstructures par recuit.....	73
3- Propriétés mécaniques des aciers	77
3.1. Rappels.....	77
3.2. Effet de la teneur en carbone.....	79
3.3. Durcissement des aciers	80
3.4. Température de transition de la résilience.....	82
4- Exercices	83
Chapitre V : MICROSTRUCTURES ET PROPRIETES DES FONTES.....	85
1- Fontes blanches	85
2- Fontes grises lamellaires.....	87
2.1. Rôle particulier du silicium.....	87
2.2. Conditions de graphitisation	88
2.3. Microstructures des fontes grises	90
2.4. Formes de graphite dans les fontes grises	91
2.5. Cas des anciennes fontes phosphoreuses	93
2.6. Fontes truitées	94
3- Fontes malléables à graphite sphéroïdal.....	97
4- Fontes malléables à cœur blanc	99
5- Fontes malléables à cœur noir.....	99
6- Fontes alliées.....	100
7- Propriétés mécaniques des fontes	101
8- Exercices	103
Chapitre VI : MICROSTRUCT. ET PROP. DES ALLIAGES NON FERREUX... 105	105
1- Propriétés de base des métaux non ferreux	105
2- Diagrammes de phases	107
3- Principaux alliages non ferreux	107
3.1. Aluminium et alliages.....	107
3.2. Cuivre et alliages.....	115
3.3. Zinc et alliages	119
3.4. Nickel et alliages.....	119
3.5. Magnésium et alliages.....	120
3.6. Titane et alliages	122
4- Exercices	124

PARTIE B : TRAITEMENTS THERMIQUES
--

Chapitre VII : TRAITEMENTS THERMIQUES DES ACIERS	125
1- Introduction et approche expérimentale.....	125
1.1. Décomposition anisotherme de l'austénite	127
1.2. Transformation isotherme de l'austénite.....	130
1.3. Conditions d'austénitisation.....	130
2- Transformation martensitique des aciers	131
2.1. Transformation martensitique	131
2.2. Transformation martensitique des aciers.....	134
2.3. Austénite résiduelle.....	137
3- Bainites.....	138

4- Diagrammes TRC et TTT	140
4.1. Diagrammes TRC	140
4.2. Diagrammes TTT	141
4.3. Traitements isothermes industriels.....	143
5- Trempabilité des aciers.....	144
5.1. Caractérisation de la trempabilité.....	144
5.2. Effets des éléments d'addition	148
6- Revenu des aciers	150
6.1. Décomposition de la martensite.....	151
6.2. Evolution des propriétés mécaniques lors du revenu	153
6.3. Durcissement secondaire au revenu	154
6.4. Conditions du revenu et problèmes de fragilité.....	156
7- Exercices	157
Chapitre VIII : TRAITEMENTS THERMIQUES DES FONTES.....	159
1- Introduction.....	159
2- Recuits des fontes.....	159
2.1. Contrôle de la microstructure.....	159
2.2. Relaxation des contraintes et adoucissement	160
3- Trempe martensitique	160
4- Fontes bainitiques	161
Chapitre IX : DURCISS. ET TRAIT. THERM. DES ALLIAG. NON FERREUX	163
1- Durcissement des métaux et alliages	163
2- Traitements thermiques des principaux alliages.....	166
2.1. Alliages d'aluminium.....	166
2.2. Durcissement des alliages de cuivre	169
2.3. Durcissement des alliages de zinc.....	172
2.4. Durcissement des alliages de nickel.....	172
2.5. Durcissement des alliages de magnésium	174
2.6. Durcissement des alliages de titane.....	174
Chapitre X : TECHNOLOGIE DES TRAITEMENTS THERMIQUES.....	179
1- Fours de traitements thermiques.....	179
1.1. Constitution des fours	179
1.2. Procédés de chauffage des fours	180
1.3. Chargement des fours	181
1.4. Fours batch.....	182
1.5. Fours sous vide et atmosphères basse pression.....	182
2- Atmosphères de traitement	184
2.1. Oxydation-réduction et carburation-décarburation	184
2.2. Rôles de l'oxygène, de hydrogène et de la vapeur d'eau.....	185
2.3. Atmosphère contenant CO et CO ₂	186
2.4. Mesure des paramètres d'une atmosphère de traitement thermique.....	188
2.5. Procédés de réalisation d'atmosphères contrôlées	189
3- Fluides de trempe.....	192
3.1. Drasticité et sévérité des fluides et milieux de trempe.....	192
3.2. Fluides de trempe	196
3.3. Cas particulier des traitements thermiques en lits fluidisés.....	198
4- Traitements thermiques en bains de sels	199
5- Défauts et anomalies des pièces traitées.....	200
5.1. Conditions de chauffage des pièces	200
5.2. Manque de dureté.....	201
5.3. Tapures et déformations.....	201
5.4. Austénite résiduelle.....	203
6- Prévion de la réponse des aciers aux T.T.	204
7- Exercices	206

**PARTIE C : FAMILLES D'ALLIAGES ET METALLURGIE DE LA MISE EN
FORME**

Chapitre XI : NOMENCLATURE	207
1- Désignation européenne des aciers	207
1.1. Classes d'aciers	208
1.2. Désignation symbolique.....	208
1.3. Désignation numérique	210
1.4. Symboles additionnels	210
2- Désignation européenne des fontes.....	211
3- Désignation de l'aluminium et de ses alliages.....	212
3.1. Désignation alphanumérique des alliages corroyés.....	212
3.2. Désignation alphanumérique des alliages de fonderie	213
3.3. Désignation symbolique.....	214
4- Désignation du cuivre et de ses alliages.....	214
5- Désignation du zinc et de ses alliages	215
5.1. Désignation symbolique.....	215
5.2. Désignation numérique	215
6- Désignation du nickel et de ses alliages	216
7- Désignation du magnésium et de ses alliages.....	216
8- Désignation du titane et de ses alliages.....	216
Chapitre XII : FAMILLES D'ACIERS	217
1- Aciers non alliés et aciers microalliés	217
2- Aciers spéciaux de construction mécanique	221
2.1. Rappel sur la classification	221
2.2. Familles d'aciers de construction	222
3- Aciers inoxydables	226
3.1. Tenue à la corrosion.....	226
3.2. Microstructures des aciers inoxydables.....	227
3.3. Familles d'aciers inoxydables.....	229
4- Aciers à outils	231
Chapitre XIII : FAMILLES D'ALLIAGES NON FERREUX.....	237
1- Aluminium et alliages d'aluminium	237
1.1. Alliages corroyés	237
1.2. Alliages de fonderie	238
2- Cuivre et alliages de cuivre	239
2.1. Cuivres.....	239
2.2. Alliages	239
3- Zinc et alliages de zinc	240
4- Nickel et alliages de nickel.....	240
5- Magnésium et alliages de magnésium	241
6- Titane et alliages de titane.....	241
Chapitre XIV : METALLURGIE DE LA MISE EN FORME.....	243
1- Emboutissage des métaux en feuille	244
1.1. Modes de déformation	244
1.2. Analyse des déformations	246
1.3. Essais d'emboutissage.....	247
1.4. Tôles pour emboutissage.....	248
2- Forgeage.....	250
2.1. Principes généraux	250
2.2. Traitements thermiques associés au forgeage.....	252

Chapitre XV : DOMAINES DE L'INGENIERIE DES SURFACES.....	253
1- Sollicitations des surfaces industrielles	253
2- Ingénierie des surfaces.....	254
Chapitre XVI : TREMPE SUPERFICIELLE.....	257
1- Trempe superficielle par chauffage au chalumeau	257
2- Trempe superficielle par chauffage inductif.....	259
2.1. Rappels des lois de l'électromagnétisme	259
2.2. Technologie du chauffage par induction	266
2.3. Aspects métallurgiques	270
3- Lasers de puissance.....	271
4- Exercices	274
Chapitre XVII : TRAITEMENTS THERMOCHIMIQUES DES ACIERS	275
1- Cémentation (par le carbone)	275
1.1. Procédés de cémentation	276
1.2. Traitements thermiques après cémentation	279
1.3. Aciers de cémentation et défauts possibles	280
2- Nitruration.....	281
2.1. Diagramme fer-azote.....	281
2.2. Structures de nitruration.....	283
2.3. Procédés de nitruration.....	283
2.4. Aciers de nitruration et défauts possibles.....	285
3- Traitements thermochimiques assistés plasma	286
3.1. Notions sur les plasmas.....	286
3.2. Mise en œuvre des traitements assistés plasma.....	287
3.3. Procédés de traitement	288
3.4. Domaines d'applications	289
4- Cémentations par les métaux	290
4.1. Cémentation par le zinc : shérardisation	290
4.2. Cémentation par l'aluminium : calorisation	290
4.3. Cémentation par le chrome : chromisation	290
4.4. Autres cémentations.....	291
5- Choix des traitements thermochimiques.....	291
6- Exercices	292
Chapitre XVIII : TRAITEMENTS ET REVETEMENTS DE SURFACE	293
1- Introduction.....	293
2- Conversion par alliation laser	294
3- Revêtements par immersion dans un métal fondu.....	294
3.1. Zingage ou Galvanisation	295
3.2. Aluminiage.....	296
3.3. Etamage	296
4- Dépôts de couches épaisses : projection thermique	296
4.1. Principes communs et classement des procédés	296
4.2. Projection thermique à partir de l'énergie chimique.....	298
4.3. Projection thermique à partir de l'énergie électrique.....	298
5- Traitements hors équilibre : glaçage laser.....	300
SOLUTIONS DES EXERCICES.....	301
POUR EN SAVOIR PLUS.....	309
INDEX.....	311