

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
---------------------	----------

CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Contexte De L'étude	5
1.1 Le stockage des déchets radioactifs	5
1.1.1 Concept des multi- barrières	6
1.1.2 Choix des matériaux du conteneur et du surconteneur	7
1.2 Les analogues archéologiques	8
1.2.1 Notion sur les matériaux anciens	9
1.2.2 Milieu d'enfouissement	11
1.2.3 Comparaison des analogues archéologiques et des surconteneurs de déchets	11
2. La Corrosion Du Fer Dans Les Sols	12
2.1 La corrosion du fer en milieu aqueux	13
2.2 Approche thermodynamique	15
2.3 Formation et évolution des produits de corrosion du fer en milieu aqueux	19
2.4 Les sols	24
2.4.1 Caractérisation d'un sol	24
2.4.2 Corrosion particulière liée aux milieux aqueux : la corrosion bactérienne	27
3. La Corrosion À Très Long Terme Du Fer	28
3.1 Terminologie employée pour la description des phénomènes de corrosion sur les objets archéologiques ferreux	29
3.2 Etudes technologiques de la corrosion de l'acier dans les sols argileux	30
3.3 Les objets archéologiques ferreux et leur corrosion dans les sols	32
4. Synthèse De La Bibliographie	43

CHAPITRE 2 : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

1. Méthodologie	47
------------------------	-----------

1.1 Terminologie adoptée pour la description d'une coupe transversale	47
1.2 Protocole expérimental	49
1.2.1 Morphologie et caractérisation du système de corrosion	49
1.2.2 Estimation des vitesses	50
2. Prélèvement Et Préparation Des Échantillons	53
2.1 Prélèvement et découpe	53
2.2 Préparation des échantillons pour les analyses	54
3. Les Techniques Expérimentales	55
3.1 Analyses des sols	55
3.1.1 Mesures de pH	55
3.1.2 Mesure du potentiel du milieu	56
3.1.3 Analyses de prélèvements de sol	57
3.2 Observations et analyses	58
3.2.1 Microscopie optique	58
3.2.2 Microscope Electronique à Balayage et Spectroscopie en Dispersion d'Energie	59
3.2.3 Microsonde électronique	60
3.3 Analyses microstructurales	61
3.3.1 Microdiffraction sous rayonnement synchrotron (μ XRD)	62
a/ <u>Principe de la diffraction des rayons X</u>	62
b/ <u>Ligne de lumière D15 (DCI, LURE)</u>	63
c/ <u>Limites de la μXRD</u>	66
3.3.2 Microspectroscopie Raman (μ Raman)	67
a/ <u>Principe</u>	67
b/ <u>Appareillage utilisé</u>	68
c/ <u>Identification de phases des produits de corrosion</u>	70
d/ <u>Précautions d'utilisation de la spectroscopie Raman</u>	78
3.3.3 <u>Approches complémentaires des deux techniques d'analyses de la microstructure</u>	83

CHAPITRE 3 : RESULTATS

1. Présentation Des Sites Et Du Corpus	85
1.1 Présentation des sites	86
1.2 Corpus	88
2. Description Du Système De Corrosion	90
2.1 Le substrat métallique – Notion de comparabilité	90
2.1.1 Composition du substrat métallique	91
2.1.2 Structure	93
2.1.3 Synthèse sur le substrat métallique : notion de comparabilité	95
2.2 Morphologie, composition et structure des produits de corrosion	96
2.2.1 Corrosion localisée	96

a/ <u>Corrosion localisée liée à une hétérogénéité de structure</u>	97
b/ <u>Corrosion intergranulaire</u>	98
c/ <u>Autres formes de corrosion</u>	101
d/ <u>Synthèse</u>	101
2.2.2 Corrosion généralisée	102
a/ <u>Montreuil en Caux (Annexe 4 A 1 à 3)</u>	102
b/ <u>Las Tours, village castrale de Cabaret (Annexes 4 C 1. à 15.)</u>	106
c/ <u>Montbaron (Annexe 4 D. 1 à 6)</u>	110
d/ <u>Avrilly (Annexes 4 D 1 à 8)</u>	114
e/ <u>Glinet (Annexe 4 E 1 à 8)</u>	119
2.2.3 Synthèse	123
a/ <u>Corrosion localisée</u>	123
b/ <u>Corrosion généralisée</u>	123
3. Solubilité Des Produits De Corrosion Du Fer en milieu aqueux	125
3.1 Formalisme des calculs de solubilité des phases oxydées	125
3.2 Résultats	127
3.2.1 Solubilité de la goëthite	127
3.2.2 Solubilité de la magnétite	129
3.2.3 Solubilité de la sidérite	131
3.2.4 Solubilité de la lépidocrocite	133
3.2.5 Solubilité de l'hydroxyde ferreux	134
3.2.6 Solubilité de l'hydroxyde ferrique	135
3.2.7 Synthèse sur les calculs de solubilité	136
4. Estimation Des Vitesses De Corrosion	138
4.1 Approche analytique	138
4.1.1 Mesure de l'épaisseur des produits de corrosion (CPD et MT)	138
a/ <u>CPD</u>	138
b/ <u>MT</u>	140
4.1.2 Méthode d'estimation des vitesses de corrosion par calcul d'une épaisseur équivalente de métal	144
a/ <u>Méthode de calcul</u>	144
b/ <u>Erreurs de l'approche analytique de calcul des vitesses</u>	145
c/ <u>Vitesses</u>	147
4.2 Application des calculs de solubilité à des évaluations de perte de fer dans le milieu	149

CHAPITRE 4 : DISCUSSION

1. Vitesses Moyennes De Corrosion Des Analogues Archéologiques	153
1.1 Méthode analytique	153
1.2 Evaluation des bornes maximales des vitesses de corrosion	154
1.3 Synthèse	157
2. Mécanismes De La Corrosion Du Fer À Long Terme Dans Les Sols	159
2.1 Recensement des indices de mécanismes	159

