

Table des matières

Introduction	11
Chapitre 1. La corrosion de l'acier dans le béton armé	13
1.1. Introduction	13
1.2. Notions de théorie générale de la corrosion	15
1.2.1. Électrode réversible	15
1.2.2. Système de corrosion uniforme	21
1.2.3. Système de corrosion localisé (ou galvanique)	29
1.3. Spécificités de la corrosion de l'acier dans le béton	32
1.3.1. Passivation de l'acier dans le béton	32
1.3.2. Initiation de la corrosion	34
1.3.2.1. Contamination du béton par les chlorures	34
1.3.2.2. Carbonatation du béton	36
1.3.2.3. Problème physique 3D et modélisation	38
1.3.2.4. Mécanismes de contrôle de la cinétique de corrosion	40
1.3.2.5. Perte de masse – Loi de Faraday	47
1.3.2.6. Croissance des sites actifs	47
1.3.3. Évolution du processus de corrosion avec la durée de corrosion	50
1.3.4. Corrosion naturelle et corrosion accélérée sous champ électrique	51
Chapitre 2. Effets d'échelle et structuraux sur la corrosion des armatures du béton armé	53
2.1. Introduction	53
2.2. Influence des fissures sur le processus de corrosion	53

2.2.1. Fissures fonctionnelles et leur ouverture	54
2.2.2. Fissures fonctionnelles et endommagement de l'interface acier-béton	55
2.2.3. Fissures fonctionnelles et leur influence sur les transferts liquides, ioniques et gazeux	57
2.2.4. Fissures fonctionnelles et leur influence sur le mécanisme de corrosion	58
2.3. Approche réglementaire concernant l'influence de la fissuration fonctionnelle sur la corrosion des armatures du béton armé	60
2.4. Défauts et endommagement de l'interface acier-béton	62
2.5. Influence des défauts « structuraux » (de mise en place du béton) sur le processus de corrosion : résultats expérimentaux	65
2.6. Ferrailage des ouvrages à plusieurs lits d'armatures et processus de corrosion par macro-piles (corrosion localisée)	68
2.7. Conclusion	70

Chapitre 3. Quel paramètre pour quantifier l'intensité de la corrosion ? 73

3.1. Introduction.	73
3.2. Degré de corrosion local défini comme la perte de section sur une armature (corrosion localisée).	75
3.3. Degré de corrosion défini comme la perte moyenne de section sur une armature (corrosion généralisée)	79
3.4. Facteurs de piqûres (<i>pitting factor</i>) : pf_s , pf_g , pf_{lc}	80
3.4.1. Distribution de la corrosion localisée le long des armatures	82
3.4.2. Domaine de variation du facteur de piqûre (pf_s)	83
3.5. Conclusion : quantification de la corrosion	85

Chapitre 4. Diagnostic de corrosion *in situ* 87

4.1. Introduction.	87
4.2. Détermination du ferrailage.	88
4.3. Diagnostic de corrosion à partir des techniques électrochimiques.	88
4.3.1. Diagnostic de corrosion à partir d'une cartographie de potentiel des armatures.	88
4.3.2. Diagnostic de corrosion à partir d'une mesure de résistance de polarisation linéaire.	91
4.4. Quantification du taux de corrosion à partir du relevé des fissures créées par la corrosion des armatures	96
4.4.1. Taux de corrosion local amorçant les fissures induites par la corrosion	96

4.4.2. Relevé des ouvertures des fissures de corrosion	99
4.4.3. Corrélation entre les ouvertures des fissures de corrosion et la corrosion maximale locale (corrosion localisée).	102
4.4.4. Corrélation entre les ouvertures des fissures de corrosion et la corrosion généralisée.	104
4.4.5. Exemple de diagnostic de corrosion basé sur un examen visuel du parement de béton	106

Chapitre 5. Effets de la corrosion des armatures sur le comportement mécanique du béton armé 113

5.1. Introduction.	113
5.2. Effet de la corrosion sur le comportement mécanique de l'acier d'armatures.	113
5.2.1. Comportement mécanique de l'acier non corrodé	114
5.2.2. Comportement mécanique de l'acier corrodé	116
5.2.2.1. Effet de la corrosion sur la limite élastique	117
5.2.2.2. Effet de la corrosion sur la contrainte maximale	118
5.2.2.3. Effet de la corrosion sur la ductilité des aciers (élongation atteinte à la contrainte maximale).	119
5.3. Effet de la corrosion sur l'adhérence acier-béton.	123
5.3.1. Adhérence entre l'acier non corrodé et le béton	123
5.3.2. Adhérence entre l'acier corrodé et le béton.	123
5.4. Effet de la corrosion sur le comportement mécanique en flexion de poutres en béton armé	128
5.4.1. Effet de la corrosion sur le comportement à l'ÉLU : charge de plastification, capacité portante, flèche à rupture	129
5.4.1.1. Effet de la corrosion sur la charge de plastification.	131
5.4.1.2. Effet de la corrosion sur la charge ultime ou capacité portante	131
5.4.1.3. Effet de la corrosion sur la flèche maximale à rupture caractéristique de la ductilité et index de ductilité des éléments corrodés	133
5.4.2. Effet de la corrosion sur le comportement à l'ÉLS : modification des flèches en service et redistribution des efforts par plastification des aciers.	134
5.4.2.1. Effet de la corrosion sur les flèches en service	134
5.4.2.2. Effet de la corrosion sur la redistribution des efforts par plastification des aciers	136
5.5. Effet de la corrosion sur le comportement mécanique vis-à-vis de l'effort tranchant de poutres en béton armé	138

Chapitre 6. Prédiction de la capacité portante et du comportement en service des structures corrodées	141
6.1. Introduction.	141
6.2. Cadre de l'évaluation du comportement réel (résiduel) d'une structure corrodée	142
6.3. Étude phénoménologique du comportement d'une poutre en béton armé en flexion avant et après corrosion.	142
6.4. Évaluation de la capacité portante réelle (résiduelle) d'une structure corrodée	144
6.4.1. Comportement avant corrosion	144
6.4.1.1. Détermination du moment de fissuration et la flèche correspondante	145
6.4.1.2. Détermination du moment de plastification et la flèche correspondante	147
6.4.1.3. Détermination du moment ultime et la flèche correspondante	149
6.4.2. Comportement après corrosion	151
6.4.2.1. Détermination du moment de plastification et la flèche correspondante (poutre corrodée)	152
6.4.2.2. Détermination du moment ultime et la flèche correspondante	153
6.4.3. Application numérique pour la poutre Bs04 corrodée comparée à une poutre BsT témoin.	154
6.4.3.1. Comparaison du comportement réel et du modèle de la poutre BsT témoin.	155
6.4.3.2. Comparaison du comportement réel et du modèle de la poutre Bs04 corrodée	158
6.4.3.3. Conclusions sur le modèle de prédiction de la capacité portante et de la flèche à rupture	161
6.5. Évaluation du comportement en service (raideur en flexion et flèches) d'une structure corrodée	162
6.5.1. Raideur en flexion avant corrosion.	163
6.5.1.1. Inertie moyenne du macro-élément en phase de formation des fissures fonctionnelles.	164
6.5.1.2. Inertie moyenne du macro-élément en phase de stabilisation des fissures fonctionnelles.	166
6.5.1.3. Calcul de la flèche d'une poutre fissurée non corrodée	166
6.5.2. Raideur en flexion après corrosion.	167

6.5.3. Application numérique pour la poutre Bs04 corrodée comparée à une poutre BsT témoin	171
6.5.3.1. Comparaison des raideurs en flexion réelle et du modèle de la poutre BsT témoin	171
6.5.3.2. Comparaison des raideurs en flexion réelle et du modèle de la poutre Bs04 corrodée	173
6.6. Conclusion	177

Chapitre 7. Prédiction de la durée de vie des structures 179

7.1. Introduction	179
7.2. Initiation de la corrosion	180
7.3. Propagation de la corrosion	181
7.4. Prédiction de l'apparition des fissures de corrosion : durée t_c	185
7.5. Prédiction de l'accroissement des fissures de corrosion en relation avec la durée de corrosion	185
7.6. Prédiction de la durée de vie	188
7.6.1. États limites de service (ÉLS)	188
7.6.1.1. Critère ÉLS visuel	188
7.6.1.2. Critère ÉLS pour le risque de délamination	188
7.6.1.3. Critère ÉLS pour le risque de flèches excessives en service	189
7.6.1.4. Signification pratique des critères ÉLS	189
7.6.2. États limites ultimes (ÉLU)	191
7.6.2.1. Critère ÉLU de capacité portante	192
7.6.2.2. Critère ÉLU de capacité de grandes déformations plastiques (cas des zones sismiques)	192
7.6.2.3. Signification pratique des critères ÉLU	192
7.6.3. Prédiction de la durée de vie	193

Chapitre 8. Réparation et maintenance des structures en béton armé 195

8.1. Introduction	195
8.2. Prévention et protection cathodique	196
8.2.1. Principes généraux	196
8.2.2. Contexte normatif	198
8.2.3. Discussion	199
8.3. Réalcalinisation et déchloration	202

Annexe. Base expérimentale	205
Bibliographie	209
Index	223