

Réparation et renforcement des structures

7

par armatures passives additionnelles



Le présent guide s'adresse **aux entrepreneurs** qui ont à réaliser **la réparation ou le renforcement d'une structure en béton** nécessitant dans certaines des pièces de la structure, soit le remplacement d'armatures de béton armé existantes, soit l'ajout de nouvelles armatures. Ces armatures passives additionnelles peuvent être placées à l'intérieur ou à l'extérieur du béton. Si les opérations concernent les armatures internes, elles imposent la mise en œuvre d'un mortier ou d'un béton pour les ré-enrober, voire pour augmenter la section des pièces concernées et permettre ainsi un renforcement structural.

Les méthodes de réparation et/ou renforcement concernent :

- dans la section 4, la mise en œuvre :

- d'armatures de béton armé en acier ou en matériaux composites dans la pièce existante après enlèvement local du béton par réalisation d'une saignée, d'un forage...qui seront ensuite rebouchés ;
- d'armatures de béton armé en métal ou en matériaux composites autour de la pièce existante et liées à celle-ci puis ensuite enrobées par un ajout de béton coulé, projeté ou contrecollé.

Ces deux premières méthodes, mettant en œuvre les mêmes techniques, ont été regroupées.

- dans la section 5, la mise en œuvre :

- de plaques (bandes, lamelles) ou de tissus en matériaux composites collés à la surface du béton existant.

- dans la section 6, l'entretien et la réparation :

- de tôles et plats collés endommagés. Cette technique de réparation et de renforcement est tombée en désuétude. Cependant, un certain nombre de structures réparées ou renforcées par cette technique sont encore opérationnelles et doivent être maintenue en état de service.

Ce guide ne traite pas **des plats boulonnés et collés** car cette technique n'a jamais fait l'objet de publications fixant des règles de calcul et des recommandations de mise en œuvre.

Il concerne aussi les deux autres acteurs de l'opération que sont **le prescripteur** et **le contrôleur** (le maître d'œuvre ou son représentant).



Les trois intervenants,

SOMMAIRE

INTRODUCTION	13
MODE D'EMPLOI DU PRÉSENT GUIDE	17
1 - DÉFINITIONS - GÉNÉRALITÉS	19
1.1 - LA SITUATION DES DIFFÉRENTS DOCUMENTS TECHNIQUES ET ADMINISTRATIFS DISPONIBLES EN 2010.....	20
1.2 - LES DÉFINITIONS.....	21
1.2.1 - Les principales définitions de la norme homologuée NF EN 1504-1.....	21
1.2.2 - Les principales définitions de la norme harmonisée NF EN 1504-2.....	24
1.2.3 - Les principales définitions de la norme harmonisée NF EN 1504-3.....	24
1.2.4 - Les principales définitions de la norme harmonisée NF EN 1504-4.....	25
1.2.5 - Les principales définitions de la norme harmonisée NF EN 1504-5.....	25
1.2.6 - Les principales définitions de la norme harmonisée NF EN 1504-6.....	26
1.2.7 - Les principales définitions de la norme harmonisée NF EN 1504-7.....	26
1.2.8 - Les principales définitions de la norme homologuée NF EN 1504-8.....	27
1.2.9 - Les principales définitions de la norme homologuée NF EN 1504-9.....	27
1.2.10 - Les principales définitions de la norme homologuée NF EN 1504-10.....	28
1.2.11 - Les définitions relatives aux matériaux composites.....	29

2 - DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	31
3 - PRÉPARATION GÉNÉRALE DE L'OPÉRATION	35
3.1 - GÉNÉRALITÉS.....	36
3.2 - ÉTUDES PRÉLIMINAIRES – MÉTHODOLOGIE À SUIVRE.....	38
3.3 - MÉTHODES DE RÉPARATION ET/OU RENFORCEMENT TRAITÉES PAR LE PRÉSENT GUIDE (RAPPEL).....	42
4 - REMPLACEMENT OU AJOUT D'ARMATURES PASSIVES INTERNES AU BÉTON	43
4.1 - LES CAS D'UTILISATION.....	44
4.1.1 - Remplacement d'armatures de béton armé.....	44
4.1.2 - Ajout d'armatures de béton armé.....	44
4.2 - DESCRIPTION DE DIFFÉRENTES SOLUTIONS DE RÉPARATION PAR REMPLACEMENT OU RENFORCEMENT DES ARMATURES PASSIVES.....	46
4.2.1 - Généralités.....	46
4.2.2 - Réparation avec remplacement d'armatures.....	47
4.2.2.1 - Cas où une réparation avec remplacement des armatures passives est envisageable.....	47
4.2.2.2 - Choix des matériaux de remplacement.....	48
4.2.2.3 - Description sommaire d'une réparation avec remplacement d'armatures.....	48
4.2.3 - Cas d'un renforcement avec ajout d'armatures et de béton.....	50
4.2.3.1 - Cas où un renforcement avec ajout d'armatures est envisageable.....	50
4.2.3.2 - Critères de choix d'une solution de renforcement.....	50
4.2.3.3 - Exemple de renforcement d'une poutre par ajout de béton et d'armatures passives.....	51
4.2.3.4 - Exemple de renforcement d'un poteau par ajout de béton et d'armatures passives.....	52
4.2.3.5 - Exemples de renforcement d'une dalle, d'un mur... par ajout de béton et d'armatures passives métalliques ou en matériaux composites.....	52
4.2.3.6 - Exemple de renforcement par «béton contrecollé» d'une dalle de couverture, d'un plancher.....	57
4.2.4 - Mise en charge des pièces réparées ou renforcées.....	59
4.2.5 - Cas du scellement d'armatures dans une réservation ou un forage.....	59
4.2.5.1 - Documents de référence.....	60
4.2.5.2 - Synthèse tirée des différents textes.....	60
4.2.5.2.1 - La démarche de la norme NF EN 1504-6 et celle de l'ETAG 001.....	60
4.2.5.2.2 - Modes de rupture en traction et/ou cisaillement de l'ensemble constitué par une barre de béton armé ou une cheville métallique ancrée dans un bloc de béton (pour information).....	62

4.2.5.3 - Le fascicule de documentation FD P 18-823.....	63
4.2.5.3.1 - Objectifs du FD P 18-823.....	63
4.2.5.3.2 - Domaine d'emploi.....	64
4.2.5.4 - Dispositions constructives.....	67
4.2.5.4.1 - Diamètre du trou de scellement.....	67
4.2.5.4.2 - Épaisseur minimale du béton au niveau du scellement et espacement minimal entre deux barres scellées.....	68
4.2.5.5 - Rappel des règles de l'EC2 (longueurs d'ancrage et de recouvrement).....	68
4.2.5.5.1 - Longueur d'ancrage (article 8.4).....	68
4.2.5.5.2 - Longueur de recouvrement (article 8.7).....	70
4.2.5.5.3 - Armatures de couture (article 8.7.4).....	70
4.2.5.6 - Détermination des longueurs de scellement de référence des barres rapportées.....	71
4.2.5.6.1 - Longueur de scellement de référence dans le cas des produits de scellement à base de liants hydrauliques (H).....	72
4.2.5.6.2 - Longueur de scellement de référence dans le cas des produits de scellement à base de résines synthétiques (PC).....	73
4.2.5.7 - Détermination des longueurs de scellement et de recouvrement de calcul des barres rapportées.....	74
4.2.5.8 - Détermination des longueurs de scellement et de recouvrement minimales.....	74
4.2.5.9 - Cas des armatures rapportée de très faible longueur.....	75
4.2.5.10 - Compléments.....	78
4.3 - CHOIX DES PRODUITS ET MATÉRIAUX.....	79
4.3.1 - Généralités.....	79
4.3.2 - Choix des produits et matériaux nécessaire au remplacement ou à l'ajout d'armatures passives internes au béton.....	80
4.4 - CONDITIONNEMENT, TRANSPORT ET STOCKAGE DES PRODUITS.....	83
4.5 - MATÉRIELS À UTILISER.....	84
4.5.1 - Généralités.....	84
4.5.2 - Matériels de préparation du support béton et des armatures existantes.....	84
4.5.2.1 - Généralités – Exigences de résultats.....	84
4.5.2.2 - Matériels de préparation du support béton.....	85
4.5.2.3 - Matériels de préparation des armatures.....	85
4.5.3 - Matériels de préparation et de mise en œuvre des produits et matériaux.....	86
4.6 - RÉALISATION DES TRAVAUX.....	87
4.6.1 - Généralités.....	87
4.6.2 - Préparation de l'opération.....	88
4.6.3 - Préparation du support béton et des armatures.....	88
4.6.3.1 - Le relevé des défauts du support en béton et des armatures.....	89
4.6.3.2 - Préparation du support béton et des armatures.....	89
4.6.3.2.1 - Généralités.....	89
4.6.3.2.2 - Préparation du support béton.....	91
4.6.3.2.3 - Préparation des armatures.....	93

4.6.3.2.4 - Nettoyage des surfaces – Exigences de résultats.....	95
4.6.3.2.5 - États de surface particuliers liés à l'état du support et à la nature des produits de réparation.....	96
4.6.3.2.6 - États de surface particuliers liés à des techniques de réparation et/ou renforcement traitées dans les autres guides FABEM.....	97
4.6.4 - Mise en place des armatures à remplacer et/ou à ajouter.....	97
4.6.4.1 - Généralités.....	97
4.6.4.2 - Soudage des armatures de béton armé.....	99
4.6.4.3 - Manchonnage des armatures de béton armé.....	101
4.6.4.4 - Scellement d'armatures.....	102
4.6.4.5 - Préparation des armatures corrodées - Protection des armatures par un revêtement actif ou non.....	104
4.6.5 - Préparation des produits.....	106
4.6.5.1 - Généralités.....	106
4.6.5.2 - Préparation des produits prêts à l'emploi.....	107
4.6.5.3 - Préparation des produits fabriqués sur le chantier.....	107
4.6.5.4 - Préparation en centrale ou sur le chantier des autres produits (mortiers et bétons traditionnels, BAP...)	108
4.6.6 - Mise en place des produits (mortier ou béton).....	108
4.6.7 - Opérations postérieures à la mise en place du mortier ou du béton.....	110
4.7 - ESSAIS ET CONTRÔLES.....	112
4.7.1 - Généralités.....	112
4.7.2 - Épreuve d'étude.....	113
4.7.3 - Contrôles de réception des produits et matériaux.....	114
4.7.3.1 - Généralités.....	114
4.7.3.2 - Réception des produits prêts à l'emploi normalisés.....	114
4.7.3.2.1 - Généralités.....	114
4.7.3.2.2 - Essais d'identification et essais d'efficacité.....	116
4.7.3.3 - Réception des produits, matériaux et composants livrés sur le chantier.....	118
4.7.4 - Épreuve de convenance.....	118
4.7.4.1 - Généralités.....	118
4.7.4.2 - Épreuve de convenance de préparation du support béton et des armatures.....	119
4.7.4.3 - Épreuves de convenance de mise en œuvre des produits.....	121
4.7.5 - Contrôles d'exécution.....	122
4.7.5.1 - Généralités.....	122
4.7.5.2 - Contrôles d'exécution sur la préparation du support béton et des armatures.....	124
4.7.5.2.1 - Généralités.....	124
4.7.5.2.2 - Contrôle d'exécution relatif à la préparation de l'opération.....	125
4.7.5.2.3 - Contrôles d'exécution sur la préparation du support béton.....	126
4.7.5.2.3.1 - Généralités.....	126
4.7.5.2.3.2 - Contrôles d'exécution sur la préparation du support béton en vue d'une reprise de bétonnage.....	127
4.7.5.2.3.3 - Contrôles d'exécution sur la préparation du support dans le cas de la réalisation d'engravures.....	131
4.7.5.2.3.4 - Contrôles d'exécution sur la préparation du support dans le cas d'un collage béton frais sur béton durci.....	132

4.7.5.2.3.5 - Contrôles d'exécution sur la préparation du support dans le cas d'une injection de l'interface entre le produit de réparation ou de renforcement et le béton support.....	132
4.7.5.2.3.6 - Contrôles d'exécution sur la préparation du support dans le cas de scellement d'armatures de béton armé.....	132
4.7.5.2.4 - Contrôles d'exécution sur la préparation des armatures existantes.....	133
4.7.5.2.4.1 - Généralités.....	133
4.7.5.2.4.2 - Contrôles pendant et après dégagement des armatures et avant leur préparation.....	133
4.7.5.2.4.3 - Contrôles d'exécution sur les armatures existantes après leur préparation.....	135
4.7.5.3 - Contrôles lors de la préparation des opérations.....	136
4.7.5.4 - Contrôles lors de la préparation des produits.....	138
4.7.5.4.1 - Généralités.....	138
4.7.5.4.2 - Contrôle de la préparation des différents produits et systèmes de produits prêts à l'emploi.....	139
4.7.5.4.3 - Contrôle de la préparation des produits fabriqués sur le chantier.....	141
4.7.5.4.4 - Contrôle de la préparation des mortiers et bétons fabriqués en centrale.....	142
4.7.5.5 - Contrôles d'exécution sur la mise en œuvre des armatures de remplacement ou d'ajout.....	142
4.7.5.5.1 - Contrôles d'exécution sur la mise en œuvre traditionnelle d'armatures.....	142
4.7.5.5.2 - Contrôles d'exécution sur le soudage d'armatures.....	143
4.7.5.5.3 - Contrôles d'exécution sur la mise en œuvre de manchons.....	143
4.7.5.5.4 - Contrôles d'exécution sur la mise en œuvre d'armatures scellées.....	144
4.7.5.6 - Contrôles d'exécution sur la mise en œuvre de revêtements actifs ou non sur les armatures de béton armé.....	145
4.7.5.7 - Contrôles d'exécution lors de la mise en œuvre des produits (mortiers et bétons) et lors des opérations connexes.....	146
4.7.5.7.1 - Généralités.....	146
4.7.5.7.2 - Contrôles d'exécution relatifs à la préparation de l'opération de mise en œuvre des produits (mortier ou béton) et aux préparations des opérations connexes.....	148
4.7.5.7.3 - Contrôles d'exécution lors de la mise en œuvre, manuelle ou mécanisée, des produits (mortier ou béton).....	149
4.7.5.7.3.1 - Cas des applications manuelles.....	149
4.7.5.7.3.2 - Cas des applications mécanisées – la mise en place du mortier ou du béton dans des coffrages avec ou sans pression.....	151
4.7.5.7.3.3 - Cas des applications mécanisées – la mise en œuvre du mortier ou du béton par projection.....	153
4.7.5.7.4 - Contrôles d'exécution dans le cas d'un collage structural de bétons.....	154
4.7.5.7.5 - Contrôles d'exécution dans le cas d'une injection de l'interface entre le produit de réparation ou de renforcement et le béton support.....	156
4.7.5.8 - Contrôles d'exécution lors de la mise en charge de la zone réparée ou renforcée.....	156
4.7.5.9 - Contrôles d'exécution lors de la mise en place d'un produit de protection ou d'aspect sur le béton après réparation ou renforcement.....	157
4.8 - RÉCEPTION DES TRAVAUX DE RÉPARATION ET/OU RENFORCEMENT PAR ARMATURES PASSIVES INTERNES AU BÉTON.....	158

5 - AJOUT PAR COLLAGE D'ARMATURES PASSIVES À LA SURFACE DU BÉTON	160
5.1 - HISTORIQUE SUR LES TECHNIQUES DE RÉPARATION ET/OU RENFORCEMENT PAR ARMATURES PASSIVES COLLÉES À LA SURFACE DU BÉTON	161
5.1.1 - Documents de référence.....	161
5.1.2 - Cas des tôles collées.....	161
5.1.3 - Cas des matériaux composites collés.....	162
5.2 - FONCTIONNEMENT ET PRINCIPES DE DIMENSIONNEMENT DES RÉPARATIONS ET DES RENFORCEMENTS PAR DES MATÉRIAUX COMPOSITES COLLÉS	167
5.2.1 - Fonctionnement d'une structure réparée ou renforcée par des matériaux composites collés.....	167
5.2.2 - Bases et principes de dimensionnement d'une réparation ou d'un renforcement par des matériaux composites collés.....	169
5.2.2.1 - <i>Justification et dimensionnement vis-à-vis de l'état limite ultime (ELU) d'une section en flexion simple</i>	170
5.2.2.2 - <i>Justification et dimensionnement vis-à-vis de l'état limite de service (ELS) d'une section en flexion simple</i>	172
5.2.2.3 - <i>Autres justifications à effectuer</i>	175
5.2.2.4 - <i>Protection contre des températures excessives</i>	175
5.2.2.4.1 - <i>Cas de l'incendie</i>	176
5.2.2.4.2 - <i>Cas de la mise en place des chapes et des revêtements de chaussée (enrobés à chaud)</i>	176
5.3 - CAS D'UTILISATION DES ARMATURES PASSIVES EN MATÉRIAUX COMPOSITES COLLÉES À LA SURFACE DU BÉTON	179
5.3.1 - En renforcement.....	179
5.3.2 - En réparation.....	179
5.4 - DESCRIPTION DE DIFFÉRENTES SOLUTIONS DE RÉPARATION ET RENFORCEMENTS PAR ARMATURES PASSIVES EN MATÉRIAUX COMPOSITES COLLÉES À LA SURFACE DU BÉTON	180
5.4.1 - Renforcement par des matériaux composites collés d'un plancher (poutres et dalles) en béton armé vis-à-vis de la flexion.....	180
5.4.2 - Réparation par des matériaux composites collés d'un tablier de pont à poutres sous chaussée en béton armé vis-à-vis de la flexion et de l'effort tranchant.....	183
5.4.3 - Renforcement par des matériaux composites collés de poutres en béton précontraint.....	187
5.4.4 - Mise en sécurité par des matériaux composites collés de poutres en béton précontraint.....	189
5.4.5 - Renforcement par des matériaux composites collés de poteaux en béton armé.....	190
5.4.6 - Mise en sécurité par des matériaux composites collés des pylônes en béton armé d'un pont suspendu.....	190
5.4.7 - Accessoires des procédés.....	191

5.5 - LIMITES D'EMPLOI DES ARMATURES PASSIVES EN MATÉRIAUX COMPOSITES COLLÉES À LA SURFACE DU BÉTON	195
5.5.1 - Absence de pathologie des bétons et des armatures et d'une mauvaise cohésion de la surface du béton.....	195
5.5.2 - Absence de défauts de surface et de salissures du support en béton.....	196
5.5.3 - Compatibilité de la géométrie de la pièce à réparer ou à renforcer.....	199
5.5.4 - Prise en compte de l'environnement et des charges de fatigue sur la durabilité de la réparation ou du renforcement.....	202
5.5.4.1 - Incidences de la température.....	202
5.5.4.2 - Incidences du vieillissement des produits organiques.....	202
5.5.4.3 - Incidences des charges de fatigue.....	203
5.6 - CHOIX DES MATÉRIAUX ET PRODUITS	204
5.6.1 - Généralités.....	204
5.6.2 - Choix des matériaux et produits de réparation structurale ou non structurale.....	204
5.6.3 - Choix des armatures collées en matériaux composites.....	204
5.6.3.1 - Caractéristiques mécaniques des matériaux composites.....	205
5.6.3.2 - Facteurs de choix.....	207
5.6.3.3 - Méthodologie de comparaison des systèmes.....	207
5.7 - CONDITIONNEMENT, TRANSPORT ET STOCKAGE DES PRODUITS	211
5.8 - MATÉRIELS À UTILISER	212
5.8.1 - Généralités.....	212
5.8.2 - Matériels nécessaires aux réparations et/ou renforcements préliminaires.....	213
5.8.3 - Matériels de préparation du support béton.....	213
5.8.3.1 - Généralités – Exigences de résultats.....	213
5.8.3.2 - Matériels nécessaires.....	214
5.8.4 - Matériels de préparation des produits des systèmes d'armatures collées en matériaux composites.....	214
5.8.4.1 - Généralités.....	214
5.8.4.2 - Matériels et outils nécessaires à la préparation des armatures en matériaux composites.....	215
5.8.4.3 - Matériels et outils nécessaires à la préparation des adhésifs (résines).....	215
5.8.5 - Matériels de mise en œuvre des matériaux composites collés.....	216
5.8.5.1 - Matériels de préparation de revêtements de protection et de finition.....	217
5.9 - RÉALISATION DES TRAVAUX	218
5.9.1 - Généralités.....	218
5.9.2 - Préparation de l'opération.....	219
5.9.3 - Réparations et/ou renforcements préliminaires.....	220
5.9.4 - Préparation du support béton.....	220
5.9.4.1 - Le relevé des défauts du support béton.....	220
5.9.4.2 - Techniques de préparation du support béton.....	221

5.10.5.5 - Contrôles d'exécution lors de la mise en œuvre de matériaux composites collés.....	255
5.10.5.6 - Contrôles d'exécution lors de la mise en charge de la zone réparée ou renforcée.....	258
5.10.5.7 - Contrôles d'exécution lors de la mise en place d'un produit de protection ou d'aspect sur les matériaux composites collés à la surface du béton (p.m.).....	258
5.11 - RÉCEPTION DES TRAVAUX DE RÉPARATION ET/OU RENFORCEMENT PAR ARMATURES EN MATÉRIEAUX COMPOSITES COLLÉES À LA SURFACE DU BÉTON.....	259
6 - MAINTENANCE DES TÔLES MÉTALLIQUES COLLÉES À LA SURFACE DU BÉTON.....	261
6.1 - DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE.....	263
6.2 - DÉSORDRES POUVANT AFFECTER LES TÔLES COLLÉES.....	264
6.3 - TECHNIQUES D'ENTRETIEN ET DE RÉPARATIONS DES TÔLES COLLÉES.....	265
6.4 - MÉTHODOLOGIE DE POSE DES TÔLES COLLÉES.....	266
6.4.1 - Généralités.....	266
6.4.2 - Mise en œuvre des tôles collées.....	266
6.4.2.1 - Procédure.....	266
6.4.2.2 - Durée et pression de serrage des tôles.....	270
6.4.3 - Essais et contrôles des tôles collées.....	271
7 - HYGIÈNE ET SÉCURITÉ.....	273
7.1 - RAPPEL DES OBLIGATIONS.....	275
7.2 - CAS D'UN CHANTIER DE RÉPARATION ET/OU RENFORCEMENT PAR ARMATURES PASSIVES.....	277
8 - GESTION DES DÉCHETS DU CHANTIER.....	281
8.1 - RAPPEL DES OBLIGATIONS.....	282
8.2 - CAS D'UN CHANTIER DE RÉPARATION ET/OU RENFORCEMENT PAR ARMATURES PASSIVES.....	285
9 - FICHES SYNTHÉTIQUES DU PAQ.....	287
APPENDICE.....	294
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	295

ANNEXE	303
1 - LES NORMES	305
1.1 - GÉNÉRALITÉS	306
1.1.1 - Réglementation européenne des produits de construction	306
1.1.2 - L'Association Française de Normalisation	306
1.2 - NORMES ET DOCUMENTS CONNEXES RELATIFS À LA PROTECTION ET À LA RÉPARATION DES STRUCTURES EN BÉTON	308
1.2.1 - Incidences de la normalisation européenne	308
1.2.2 - Normes européennes de la série 1504-**	308
1.2.3 - Normes françaises	310
1.2.3.1 - Généralités	310
1.2.3.2 - Normes de la série P 95-10*	310
1.2.3.3 - Normes de la série P18-8** relatives aux produits de réparation pour béton	311
1.2.3.4 - Normes françaises relatives aux travaux de bâtiment (DTU)	313
1.2.3.5 - Textes français (fascicules de documentation, guides d'emploi et normes) relatifs aux réparations des bétons	313
1.2.3.5.1 - Fascicules de documentation et guides d'emploi	313
1.2.3.5.2 - Normes de produits et matériaux	314
1.2.3.5.3 - Normes d'identification ou d'essai	314
1.2.3.6 - Textes d'origine européenne (fascicules de documentation, guides d'emploi et normes) relatifs aux réparations des bétons	315
1.2.3.6.1 - Fascicules de documentation et guides d'emploi (pm)	315
1.2.3.6.2 - Normes de produits, matériaux, fabrication et d'exécution	315
1.2.3.6.3 - Normes d'identification et d'essai	316
1.2.4 - Agréments techniques européens	319
1.2.5 - Normes ISO de produits, de matériaux et d'essais	320
1.2.6 - Méthodes d'essai diverses	321
1.2.7 - Marque NF- produits spéciaux destinées aux constructions en béton hydraulique	321
2 - FASCICULES DU CCTG	323
3 - DIRECTIVES, GUIDES, RECOMMANDATIONS ET DOCUMENTS TECHNIQUES	325
4 - DOCUMENTS DIVERS	327

AVERTISSEMENT

Le présent document a été rédigé dans l'optique d'une opération de mise en œuvre d'une opération de réparation ou renforcement par armatures passives additionnelles lourde et complexe. Pour des chantiers de moindre importance, il peut être adapté, mais sans oublier les conséquences qui résulteraient d'une mauvaise exécution. Il est indispensable que soient respectées les exigences des normes et autres documents visés en référence et en annexe au présent guide (sous réserve qu'ils soient applicables à l'opération) ainsi que la démarche qualité développée dans le présent texte.

Le présent guide relatif à la réparation et au renforcement de structures en béton armé et en béton précontraint par armatures passives additionnelles traite de la mise en œuvre de la plus grande partie des méthodes de réparation ou de renforcement permettant d'assurer la fonction¹ principale suivante visée par les normes NF EN 1504-9 et NF EN 1504-10 sous le vocable «principe 4».

Le principe 4 (fonction) des deux normes européennes traite des méthodes de renforcement structural. Il s'agit des méthodes qui permettent, soit la restauration (dans le sens d'une réparation) de la portance d'un élément d'une structure si cette dernière présente des désordres, soit l'augmentation de la portance de cet élément, la structure pouvant ou non présenter des désordres.

> Ces méthodes sont les suivantes :

- méthode 4.1 : ajout ou remplacement de barres de renforcement incorporées ou externes;
- méthode 4.2 : ajout d'armatures ancrées dans des trous pré-creusés ou forés ;
- méthode 4.3 : collage d'une plaque de renforcement ;
- méthode 4.4 : ajout de mortier ou de béton avec ou sans interposition de colle.

NOTE : les deux autres méthodes 4.5 et 4.6 liées au principe 4 et qui traitent du remplissage des fissures, vides ou interstices ne sont pas visées dans le présent guide. Il convient de se reporter aux guides FABEM 2 et 3.

¹ Les normes de la série NF EN 1504-** utilisent, à la place du terme **fonction**, le terme «**principe**» qui n'est pas très explicite.

> Certains des autres principes (fonctions) des deux normes européennes sont aussi appliqués en compléments de la fonction principale susvisée. Il s'agit :

- du principe 2 : la restauration du béton. Cette fonction concerne les méthodes qui permettent de redonner à un élément d'une structure **sa forme** (géométrie) **et sa fonction**, voire à le remplacer entièrement. En effet, en cas de remplacement d'armatures, le béton nécessaire à leur ré-enrobage est visé par **les méthodes 3.1** (application manuelle de mortier), **3.2** (nouveau béton ou mortier coffré) et **3.3** (projection de béton ou mortier). Cependant, si ce béton ajouté contribue à augmenter la force portante de l'élément de la structure, il se rattache à **la méthode 4.4** (ajout de mortier ou de béton) qui relève du **principe 4** relatif au renforcement structural ;

NOTE : le terme réparation : «*mesure destinée à rectifier les défauts dans une structure*» est parfaitement défini dans la norme **NF EN 1504-9**, alors que le terme **renforcement** n'est pas défini. Ce dernier apparaît cependant dans les tableaux 1 des deux normes dans le cadre du **principe 4 : renforcement structural**, qui vise les méthodes qui permettent **de restaurer** ou **de renforcer** la capacité portante structurale d'un élément d'une structure.

Cette définition du renforcement est en contradiction avec les **habitudes françaises** où le terme **renforcement** est réservé à **l'augmentation de la capacité portante structurale, la restauration de la capacité portante structurale étant rattachée au terme réparation**. Le présent guide a été rédigé conformément à ces usages.

- du principe 7 : la restauration ou la préservation de la passivité des armatures. La **restauration** concerne les armatures touchées par la corrosion et la **préservation des armatures concerne celles** non encore affectées par la corrosion. En effet, certains bétons de ré-enrobage pourraient apporter des alcalins, ce qui relèverait de **la méthode 7.4** (ré-alcalinisation du béton par diffusion) et le béton d'ajout augmente la couverture des armatures, ce qui relève de **la méthode 7.1** (augmentation de la couche avec du mortier ou du béton supplémentaire) tout en apportant des alcalins. Lorsqu'il s'agit du remplacement d'armatures corrodées, le béton de ré-enrobage relève de **la méthode 7.2** (remplacement du béton pollué ou carbonaté).

ATTENTION : aucune norme de la **série 1504** ne traite des exigences auxquelles doivent satisfaire les produits ou systèmes de produits relevant de la **méthode 7.4** visée ci-devant (apport d'alcalins). Dans l'état actuel des connaissances, il y a donc lieu de considérer que la préservation ou la restauration de la passivité des armatures ne peut être obtenue que par les méthodes 7.1, 7.2, 7.3 et 7.5 et sous réserve de respecter à la lettre leurs limites d'emploi et leurs procédures de mise en œuvre (se reporter au **guide FABEM 1**).

> **REMARQUE** : des méthodes répondant à d'autres principes (fonctions) peuvent se trouver aussi appliquées en complément. À titre d'exemples :

- la réalisation d'une protection à la surface des pièces réparées pour éviter ou limiter la pénétration de différents agents agressifs (humidité, gaz carbonique...) est une opération qui peut se rattacher à plusieurs principes : **le principe 1** (protection contre toute pénétration), **le principe 2** (contrôle du taux d'humidité), **le principe 8** (augmentation de la résistivité) et **le principe 9** (le contrôle cathodique) ;
- le collage de plaques ou de tissus composites à la surface du béton peut parfois être assimilable à la pose d'un produit de protection à la surface du béton (si le confinement est total et s'il n'y a pas risque de rétention d'eau) et à l'application de revêtements actifs ou passifs sur les armatures en présence de corrosion de celles-ci. En effet, ces deux opérations se rattachent aussi au traitement de la corrosion des armatures mais, ici, par application **des principes 8** (augmentation de la résistivité), **9** (contrôle cathodique) et **11** (contrôle des zones anodiques).

Dans la suite du présent guide, seule la fonction principale susvisée et les méthodes 4.1 à 4.4 seront développées. Pour les autres fonctions, il faut se reporter au guide FABEM 1, voire à d'autres guides du STRRES.

> **Les méthodes, ainsi que les principaux produits et systèmes de produits de réparation et de renforcement qui sont visés ou développés dans le présent guide font l'objet de divers documents auxquels il faut se référer. Il s'agit :**

- des deux normes européennes déjà citées (**NF EN 1504-9** et **NF EN 1504-10**) :
 - **NF EN 1504-9** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 9 : Principes généraux d'utilisation des produits et systèmes,
 - **NF EN 1504-10** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 10 : application sur site des produits et systèmes et contrôle de la qualité des travaux;
- de la norme européenne consacrée aux contrôles en usine :
 - **NF EN 1504-8** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 8 : contrôle qualité et évaluation de la conformité ;
- de la norme européenne consacrée aux définitions :
 - **NF EN 1504-1** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 1 : Définitions ;

- des six normes produits et systèmes de produits suivantes appartenant aussi à la série 1504-** :
 - **NF EN 1504-2** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 2 : systèmes de protection de surface pour le béton,
 - **NF EN 1504-3** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 3 : réparation structurale et non structurale,
 - **NF EN 1504-4** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 4 : collage structural,
 - **NF EN 1504-5** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 5 : produits et systèmes d'injection du béton,
 - **NF EN 1504-6** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 6 : ancrage de barres d'acier d'armatures,
 - **NF EN 1504-7** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 7 : protection contre la corrosion des armatures ;
- des normes européennes suivantes relatives au béton projeté :
 - **NF EN 14487-1** : Béton projeté – Partie 2 : définition, spécification et conformité,
 - **NF EN 14487-2** : Béton projeté – Partie 1 : exécution ;
- de la norme et du fascicule de documentation français suivants :
 - **NF P 95-102** : Réparation et renforcement des ouvrages en béton et maçonnerie – Béton projeté,
 - **FD P 18-823** : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits de scellement à base de liants hydrauliques ou de résines synthétiques – Recommandations pour le dimensionnement des scellements de barres d'armature dans le béton ;
- des quatre guides du **STRRES** suivants :
 - **guide FABEM 1** : Reprise des bétons dégradés,
 - **guide FABEM 3** : Traitement des fissures par injection,
 - **guide FABEM 4** : Protection des bétons,
 - **guide FABEM 5** : Béton projeté.

1. PREMIER CAS

La méthode de réparation et/ou renforcement à mettre en œuvre a été fixée à la suite d'une étude (recherche des causes des désordres et mise au point d'un projet) et cette méthode est détaillée dans le présent guide. Il reste à choisir les produits et le matériel de mise en œuvre, à appliquer les produits et à contrôler l'ensemble de l'opération. Il suffit donc de suivre les indications à toutes les étapes de l'opération qui figurent dans la partie du présent guide consacrées à la méthode retenue, sachant que, si nécessaire, le présent guide renvoie aux autres guides du **STRRES**.

2. DEUXIÈME CAS

La structure présente des désordres dont les causes restent floues et, bien entendu, la technique à mettre en œuvre n'a pas été fixée. Dans un tel cas, il faut se reporter **au paragraphe 3.2 du guide FABEM 1** qui décrit pour les structures en béton :

- les différents désordres et leurs causes,
- la méthodologie à suivre lors de la réalisation d'une expertise dans le but d'aboutir à un diagnostic et un pronostic,
- la consistance d'un projet de réparation ou de renforcement,
- les différentes techniques de réparation ou de renforcement à mettre en œuvre en fonction des désordres constatés et de leurs causes (cette partie du guide renvoie à un des **guides du STRRES** qui traite de la technique à mettre en œuvre).

Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles

1

Définitions - Généralités

1.1

La situation des différents documents techniques et administratifs disponibles en 2010

1.2

Les définitions

[| << Retour au sommaire |](#)

| Béton Maçonnerie | Réparation et renforcement des structures **par armatures passives additionnelles** |

UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / NOVEMBRE 2011

19

> La normalisation française

Les fonctions auxquelles doivent satisfaire les produits et systèmes de réparation des bétons ont été identifiées dans les normes relatives aux produits spéciaux destinés aux réparations élaborées dans les années 80-90 (normes de la série P 18-8** dont certaines servent de support à la Marque NF : produits spéciaux pour constructions en béton hydraulique, qui est régie par le règlement NF 030). Les textes français étaient pionniers en Europe mais pas forcément adaptés aux pratiques des autres pays. Cette classification française a donc du être, en grande partie, remise en cause dans la forme plutôt que dans le fond par la parution de normes européennes sur les méthodes ainsi que sur les produits et systèmes de produits pour la protection et la réparation de structures en béton.

Certaines des normes de produits ou d'essais de la série P 18-8** restent cependant valables faute de normes européennes équivalentes et la Marque NF est toujours en vigueur après un toilettage de son règlement pour tenir compte des nouvelles normes européennes.

> La normalisation européenne

Depuis le début des années 2000, le rythme de parution des normes européennes s'est accru et leur substitution aux normes nationales se termine.

Ces normes européennes font appel à de nouvelles classifications des produits et systèmes. Cette exigence de nouvelles fonctions a été rendue possible par les progrès importants réalisés ces trente dernières années dans la connaissance des causes et des mécanismes conduisant à la dégradation des structures en béton armé ou non (dégradation du matériau béton et corrosion des armatures).

Pour pouvoir passer des classifications nationales aux classifications européennes et surtout pour pouvoir utiliser ces nouvelles normes européennes, des textes passerelles ont été élaborés.

> Ces textes ont été rendus également nécessaires pour les deux raisons supplémentaires suivantes :

- toutes les normes européennes ne sont pas encore parues, certaines sont actuellement en cours de révision et tous les textes de référence français n'ont pas encore été mis à jour ;
- les normes européennes introduisent pour certaines fonctions des exigences de performances comportant plusieurs niveaux mais, malheureusement, sans donner les critères de choix des niveaux. Ces niveaux sont, si nécessaire, explicités dans le présent guide.

NOTA : l'annexe n°1 du guide FABEM 1, qui traite de tous les documents de référence, donne la liste de toutes les normes françaises supprimées et indique celles qui sont conservées ou amendées.

Les principales définitions normalisées des termes utilisés dans le présent guide se trouvent regroupées dans les normes de la série **1504-***.

1.2.1 LES PRINCIPALES DÉFINITIONS DE LA NORME HOMOLOGUÉE NF EN 1504-1

> 1. Termes généraux

- **performance** : aptitude d'un produit ou système à réaliser une réparation ou une protection efficace et durable sans effets préjudiciables pour la structure d'origine, les autres structures, les opérateurs du site, les utilisateurs, des tierces parties et pour l'environnement ;
- **essai de performance** : essai réalisé pour vérifier la valeur d'une caractéristique requise du produit ou du système en termes de performance spécifiée pendant l'application ou l'utilisation ;
- **produit** : constituant formulé pour la réparation ou la protection des structures en béton ;
- **système** : ensemble de deux ou plusieurs produits utilisés conjointement ou consécutivement, pour effectuer des réparations ou pour protéger les structures en béton ;
- **technologie** : application d'un produit ou système à l'aide de matériels ou de techniques spécifiques.

> 2. Principales catégories de produits et de systèmes

- **produits et systèmes d'ancrage** : produits et systèmes qui :
 - maintiennent l'armature dans le béton pour lui conférer un comportement structural approprié,
 - remplissent les cavités pour assurer une continuité entre les éléments en acier et en béton ;
- **produits et systèmes de réparation non structuraux** : produits et systèmes qui, appliqués sur une surface de béton, restituent l'aspect géométrique ou esthétique de la structure ;
- **produits et systèmes de protection d'armature** : produits et systèmes appliqués à une armature non protégée afin d'assurer sa protection contre la corrosion ;
- **produits et systèmes de collage** : produits et systèmes appliqués au béton pour établir une liaison structurale durable avec les matériaux supplémentaires qui lui sont appliqués ;
- **produits et systèmes de réparation structuraux** : produits et systèmes appliqués à une structure en béton pour remplacer le béton défectueux et pour restituer à la structure son intégrité et sa durabilité.

> 3. Principaux types et constituants chimiques des produits et systèmes de protection et de réparation

- **additions** : matériaux inorganiques finement broyés pouvant être ajoutés aux produits de réparation pour en améliorer certaines propriétés ou pour leur conférer des propriétés particulières. Il existe deux types d'additions :
 - les additions pratiquement inertes (type I),
 - les additions pouzzolaniques ou hydrauliques latentes (type II) ;
- **ajouts pour liants hydrauliques** : produits qui sont ajoutés à un liant hydraulique afin de lui conférer des caractéristiques spécifiques et qui n'entrent pas dans la catégorie des adjuvants et des additions ;
- **ajouts pour polymères réactifs** : produits autres que les adjuvants et les additions qui confèrent au produit de réparation des propriétés spécifiques ;

NOTE : Les ajouts couramment utilisés sont, par exemple, les plastifiants, les assouplissants, les accélérateurs, les retardateurs, les matériaux permettant d'adapter la rhéologie, les pigments, les fillers.

- **adjuvant** : matériau en quantité inférieure à 5 % en masse de la teneur en ciment du béton, ajouté pendant la **procédure** de malaxage du béton pour modifier les propriétés du mélange lorsque le béton est frais ou durci ;
- **liant hydraulique (H)** : matériau inorganique qui réagit à l'eau et qui subit une réaction d'hydratation pour produire un matériau solide ;

NOTE : Il existe des ciments conformes aux normes **NF EN 197-1** et **NF EN 413-1** et des chaux de construction conformes à la norme **NF EN 459-1** ou combinées avec certains ciments².

- **mortier ou béton hydraulique (CC)** : mortier ou béton à base de liant hydraulique mélangé à des granulats calibrés, qui peut inclure des adjuvants et des additions et dont, après mélange, la prise se fait par réaction d'hydratation ;
- **mortier ou béton de ciment hydraulique polymère (PCC)** : mortier ou béton hydraulique modifié par l'incorporation de polymères ajoutés en quantité suffisante pour lui conférer des propriétés spécifiques ;

² Attention, la norme NF EN 197-1 ne vise pas les ciments pour travaux à la mer (NF P 15-317) ni ceux pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates (NF P 15-319) ni ceux pour travaux en pays tropicaux...

NOTE : les polymères généralement utilisés sont :

- les acryliques, les méthacrylates ou les résines acryliques modifiées sous forme de poudres redispersables ou de dispersions aqueuses,
- les mono-, co- ou ter-polymères de vinyle sous forme de poudres redispersables ou de dispersions aqueuses,
- les copolymères styrène-butadiène, généralement sous forme de dispersions aqueuses, les latex de caoutchouc naturel,
- les résines époxydes.

■ **mortier et béton polymères (PC) :** mélange de liant polymérisable et de granulats calibrés dont la prise se fait par réaction de polymérisation ;

■ **liant polymère réactif (P) :** liant constitué en général de deux composants, une base réactive et un durcisseur ou un catalyseur qui polymérisent à température ambiante. Des ajouts peuvent également être incorporés.

NOTE 1 : dans certains systèmes, la vapeur d'eau à température ambiante peut agir comme durcisseur.

NOTE 2 : les liants couramment utilisés sont, par exemple, les résines époxydes, les polyesters insaturés, les acryliques réticulables, les polyuréthanes monocomposant ou bicomposants.

NOTE 3 : les sigles utilisés dans le présent guide font souvent référence au **guide technique de 1996 du LCPC-Sétra** relatif au choix et à l'application des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton et peuvent différer de ceux qui ont été adoptés par la norme européenne. Les correspondances entre les sigles, les abréviations et les noms sont données par le tableau ci-après.

Guide 1996	Norme européenne	Produits (mortiers ou bétons à base de ...)
LH	CC	Liant hydraulique (H)
EP	Non utilisé	Résine époxy
LHM	PCC	Liant hydraulique (H) modifié par des polymères (P)
LR	PC	Polymère (P) ou «résine»
PMMA	Non utilisé	Polyméthacrylate de méthyle
PUR	Non utilisé	Résines polyuréthanes

Tableau n° 1 : liste comparative des principaux sigles utilisés pour les produits de réparation à base de liants hydrauliques et organiques en France et en Europe

1.2.2

LES PRINCIPALES DÉFINITIONS DE LA NORME HARMONISÉE NF EN 1504-2

- **imprégnation hydrophobe** : traitement du béton destiné à produire une surface hydrofuge. La surface intérieure des pores est revêtue mais les pores ne sont pas remplis. Aucun film ne se forme à la surface du béton et l'aspect de ce dernier n'est que peu ou pas modifié ;
- **imprégnation** : traitement du béton destiné à réduire la porosité de surface et à renforcer la surface, les pores et capillaires étant partiellement ou complètement remplis ;
- **revêtement** : traitement destiné à produire une couche protectrice continue à la surface du béton ;
- **épaisseur de couche** :
 - l'épaisseur moyenne du feuil sec est définie dans la norme **NF EN ISO 2808**,
 - l'épaisseur minimale du feuil sec (d_{\min}) doit être considérée comme étant le fractile inférieur 5% de la distribution normale des valeurs de mesure de l'épaisseur,
 - l'épaisseur minimale absolue du feuil sec susceptible d'être obtenue lors de l'application est d'au moins $0,7d_{\min}$.

1.2.3

LES PRINCIPALES DÉFINITIONS DE LA NORME HARMONISÉE NF EN 1504-3

- **produit d'accrochage** : constituant d'un système de réparation utilisé pour améliorer l'adhérence d'un mortier ou d'un béton de réparation sur un support en béton de manière à créer une liaison permanente insensible, en service, à l'humidité et aux bases fortes ;
- **temps de raidissement** : temps au-delà duquel l'ouvrabilité d'un béton ou d'un mortier de réparation à base de liants hydrauliques ou à base de liants hydrauliques modifiés est perdue ;
- **retrait/expansion empêchés** : capacité d'un produit ou d'un système de réparation à supporter les contraintes dues à une variation de volume lorsqu'il a été appliqué sur un support en béton ayant subi une réparation ;
- **absorption capillaire** : capacité d'un produit ou système de réparation à absorber de l'eau en l'absence de pression hydrostatique ;
- **compatibilité thermique** : capacité d'un produit ou système de réparation à supporter des cycles thermiques lorsqu'il a été appliqué sur un support en béton ayant subi une réparation.

1.2.4 LES PRINCIPALES DÉFINITIONS DE LA NORME HARMONISÉE NF EN 1504-4

- **produits et systèmes de collage structural** : produits et systèmes appliqués au béton pour établir une liaison structurale durable avec les matériaux supplémentaires qui lui sont appliqués ;
- **mortier et béton polymères (PC)** : mélange de liant polymérisable et de granulats calibrés dont la prise se fait par réaction de polymérisation ;
- **temps ouvert** : intervalle de temps maximum entre la fin du mélange du produit de collage et la fermeture du joint qui permet de satisfaire l'exigence relative à la résistance d'adhérence, telle que spécifiée dans le présent document ;
- **durée de vie en pot des produits de collage structural** : temps mis par le produit de collage mélangé pour atteindre une température spécifique dans le récipient de mélange ;

NOTE : cette durée de vie en pot est déterminée lors d'un essai d'identification réalisé dans les conditions normales de laboratoire.

- **durée pratique d'utilisation des produits de collage structural** : période pendant laquelle le produit de collage mélangé reste applicable dans les quantités de produit mélangé utilisées et à la limite des conditions pour lesquelles le produit est prévu.

1.2.5 LES PRINCIPALES DÉFINITIONS DE LA NORME HARMONISÉE NF EN 1504-5

- **produits d'injection** : les produits d'injection tels qu'ils sont définis dans la norme NF EN1504-1 peuvent être répartis en trois classes selon l'utilisation prévue :
 - produits d'injection (F) pour le remplissage transmettant les efforts des fissures, vides et interstices dans le béton (produits utilisés pour certaines réparations structurales),
 - produits d'injection (D) pour le remplissage ductile des fissures, vides et interstices dans le béton,
 - produits d'injection (S) pour le remplissage expansif des fissures, vides et interstices dans le béton ;

- **délai maximal d'utilisation d'un produit d'injection** : temps que met le mélange pour :
 - parvenir à une augmentation de température de 15°C pour les produits d'injection à base de liant résineux réactif (ou à la température maximale si l'augmentation de température est inférieure à 15°C),
 - ou enregistrer une diminution de la stabilité de filtration, pour les produits d'injection à base de liant hydraulique ;

- **temps d'utilisation d'un produit d'injection** : temps pendant lequel le produit d'injection mélangé peut être mis en œuvre, dans les quantités utilisées et aux conditions limites auxquelles le produit est apte à remplir sa fonction. Le temps d'utilisation est évalué en déterminant le délai maximal d'utilisation et équivaut à 70% de ce délai maximal d'utilisation, en l'absence d'autres recommandations du fabricant ;

- **injectabilité** : aptitude d'un produit d'injection à pénétrer dans une fissure. La classe d'injectabilité correspond à la largeur minimale de la fissure, en mm, dans laquelle le produit est injectable. Les largeurs de fissure suivantes sont prises en compte : 0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm, 0,5 mm et 0,8 mm.

1.2.6

LES PRINCIPALES DÉFINITIONS DE LA NORME HARMONISÉE NF EN 1504-6

- **Produits d'ancrage** : produits à base de liants hydrauliques ou résines synthétiques ou encore leur mélange, placés à l'état fluide ou pâteux, pour sceller des barres d'armatures en acier dans les structures en béton.

1.2.7

LES PRINCIPALES DÉFINITIONS DE LA NORME HARMONISÉE NF EN 1504-7

- **revêtements actifs** : revêtements contenant des pigments électro-chimiquement actifs, susceptibles d'agir comme inhibiteurs ou pouvant assurer une protection cathodique localisée ;

NOTE : le ciment est considéré comme un pigment actif du fait de son alcalinité.

- **revêtements étanches** : revêtements qui isolent l'armature de l'eau interstitielle dans la matrice environnante à base de ciment.

1.2.8 LES PRINCIPALES DÉFINITIONS DE LA NORME HOMOLOGUÉE NF EN 1504-8

REMARQUE : cette norme vise le contrôle de la production en usine.

- **lot :** quantité de matériau fabriquée, soit en une seule opération, soit, dans le cas d'une production en continu, en quantité définies (en tonnes), dont la composition doit être démontrée comme uniforme par le producteur et qui ne doit pas représenter plus d'une journée de production ;
- **essai d'identification :** essai visant à vérifier une valeur déclarée concernant la composition ou une propriété du produit ou du système en termes de cohérence de la production ;

NOTE : cet essai a pour objet de garantir que le produit ou le système soumis à l'essai correspond au produit ou au système qui a été soumis à l'essai initial de type, dans la limite des tolérances admises.

- **essai de performance :** essai visant à vérifier une valeur attribuée à une propriété donnée du produit ou du système concernant ses performances spécifiées pendant l'application et l'utilisation ;

NOTE : cet essai a pour objet de garantir que le produit ou le système est conforme à ses caractéristiques de performance spécifiées.

- **valeur déclarée :** valeur déclarée et consignée par écrit par le fabricant à des fins d'identification ou d'exigences de performance.

1.2.9 LES PRINCIPALES DÉFINITIONS DE LA NORME HOMOLOGUÉE NF EN 1504-9

- **défaut :** état inacceptable qui peut être intrinsèque ou résulter d'une détérioration ou d'un dommage ;
- **durée de vie théorique :** période de service utile prévue de la structure en béton dans les conditions d'utilisation prévues ;

- **maintenance** : mesures récurrentes ou continues qui permettent d'effectuer des opérations de réparation et/ou de protection ;
- **passivité** : état dans lequel l'acier dans le béton ne se corrode pas spontanément du fait d'une pellicule de protection d'oxyde ;
- **protection** : mesure destinée à empêcher ou à réduire l'apparition de défauts dans la structure ;
- **réparation** : mesure destinée à rectifier les défauts dans la structure ;
- **durée de vie utile** : période pendant laquelle les performances prévues sont atteintes ;
- **substrat ou support** : surface sur laquelle un matériau de protection ou de réparation doit être appliqué.

1.2.10

LES PRINCIPALES DÉFINITIONS DE LA NORME HOMOLOGUÉE NF EN 1504-10

- **Personne habilitée** : propriétaire franc et, s'il ne s'agit pas de la même personne, la personne occupant légalement les locaux ;

REMARQUE : le terme de **maître d'ouvrage** d'un usage courant en France est utilisé dans le présent guide à la place de celui de *personne habilitée*.

- **adhérence** : force de liaison entre le produit ou le système appliqué et le support ;
- **point de rosée** : température à laquelle la vapeur d'eau se condense sur le support ;
- **mortiers ou bétons** : mortiers et bétons à base de liants hydrauliques ou de polymères et mortiers et bétons hydrauliques modifiés ;
- **trou préformé** : trou ou fente formé(e) ou découpé(e) dans le béton, dans lequel une armature ou une autre fixation doit être ancrée ;
- **enlèvement** : enlèvement des parties contaminées, détériorées et/ou de parties saines du support ;
- **rugosité** : degré d'irrégularité d'une surface ;
- **support** : surface sur laquelle un matériau de protection ou de réparation doit être appliqué ;
- **humide sur humide** : application d'un mortier ou d'un béton à base de ciment sur la surface d'un matériau similaire qui a pris mais n'a pas durci.

1.2.11 LES DÉFINITIONS RELATIVES AUX MATÉRIAUX COMPOSITES³

- **composite** : un matériau composite est un matériau en phase solide constitué de deux ou plusieurs matériaux non miscibles qui adhèrent fortement les uns aux autres. Les qualités des matériaux de base se complètent pour obtenir un nouveau matériau aux performances globales améliorées. Le matériau composite structural est normalement constitué **d'un renfort et d'une matrice**.
- **renfort** : le renfort est constitué de fibres, il assure l'essentiel des propriétés mécaniques.
- **matrice** : la matrice assure le rôle de liant, elle protège le renfort de l'environnement, le maintient dans sa position initiale et assure la transmission des efforts.

NOTE : le bois est un matériau composite naturel et le contreplaqué est un matériau composite industrielle. Le béton armé est aussi un matériau composite. Les matériaux composites structuraux visés par le présent guide ont une matrice organique qui est, le plus souvent, une résine époxy et un renfort qui est constitué de fibres de verre, de carbone... Des recherches sont en cours pour l'utilisation de nouvelles fibres, d'adhésifs minéraux...

■ différents types de matériaux composites :

- **monocouche** : le renfort est disposé essentiellement dans le sens longitudinal qui est la direction principale (plaques, lamelle, bandes...).
 - **stratifié** : le renfort est disposé dans deux directions qui peuvent être perpendiculaires ou non (tissus).
 - **sandwich** : se compose de deux plaques rigides collées de part et d'autre d'une âme de faible résistance.
-
- **pultrudé** : produit obtenu par pultrusion.
 - **pultrusion** : la pultrusion est un processus de fabrication de matériaux composites rectilignes ou courbes mais de section constante et hautement renforcés dans la direction principale. Ce terme résulte de l'assemblage du mot anglais «pull» (tirer) et du mot «extrusion». Le banc de fabrication comporte : un bac de résine dans lequel passe le renfort, qui est suivi d'une filière chargée de donner la forme au produit et dans laquelle se produit la réticulation (cure) de la résine, ensuite d'un système chargé de tracter le produit et enfin, d'un système de coupe à la longueur.
 - **fils de chaîne** : ensemble des fils parallèles disposés dans le sens longitudinal d'un tissu. Ces fils, tendus horizontalement ou verticalement dans un métier à tisser, servent de support aux fils de trame.

³ Ces définitions ont été tirées des sites suivants : Futura-Sciences, Techno-Sciences.net, Wikipédia et Stronwell.

- **fil de trame** : ensemble des fils parallèles disposés dans le sens transversal du tissu. Ces fils passent alternativement au-dessus et au-dessous des fils de chaîne suivant différents modes d'entrecroisement.
- **armure** : désigne le mode d'entrecroisement des fils de chaîne et de trame qui caractérise le tissu (par exemple, dans l'**armure toile**, la plus simple, les fils de trame passent alternativement au-dessus et en-dessous des fils de chaîne).

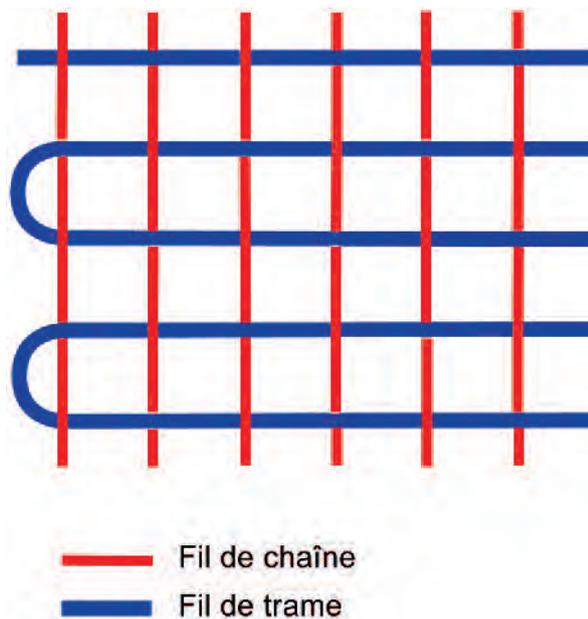


Figure n° 2 : schéma de principe d'une « armure toile »

Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles

2

Documents de référence

|| << Retour au sommaire ||

|| Béton Maçonnerie | Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles ||

UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / NOVEMBRE 2011

L'évolution continue des documents de référence et, en particulier, des normes rend très rapidement caduc tout document imprimé. La liste complète des documents de référence visés dans le présent guide a donc été reportée dans l'**annexe** avec, ce qui permet rapidement de repérer les modifications, **les dates de valeur de ces documents**. On notera cependant que les références normatives d'un certain nombre de textes existants (CCTG, DTU, normes, guides...) ne sont pas à jour.

*Il est fait référence, dans les différents chapitres du présent guide, à un certain nombre de textes actuellement en vigueur (normes françaises, DTU et fascicules du CCTG...). **Du fait de la parution de nouvelles normes européennes**, certains de ces textes devront être modifiés ou retirés ces prochaines années. Le présent guide prend cependant en compte, si nécessaire, certaines des modifications ainsi apportées. De plus, dans la mesure du possible, ce guide pointe les textes dont les références normatives ne sont pas à jour.*

*Ces modifications ou retraits concernent également **les guides de la famille FABEM** qui ont été mis en ligne depuis plusieurs années car les normes européennes de **la série 1504-**** relatives **aux produits** se substituent **presque entièrement**⁴ aux normes françaises correspondantes de **la série P 18-8****.*

> **Les mises à jour des documents de référence peuvent être recherchées sur les sites des organismes suivants :**

- l'Association Française de Génie Civil (AFGC) ;
- l'Association Française de Normalisation (AFNOR) ;
- l'Association pour la Qualité de la Précontrainte et des Équipements (ASQPE) ;
- l'Association pour la Qualité de la Projection des Mortiers et Bétons (ASQUAPRO) ;
- le Centre Français de l'Anticorrosion (CEFRACOR) ;
- le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) ;
- la Fédération Française du Bâtiment (FFB) ;
- la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP) ;
- l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de L'Aménagement et des Réseaux (**IFSTTAR**) qui résulte de la fusion du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) et de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS) depuis le 1^{er} janvier 2011 ;
- Légifrance ;

⁴ Il existe une norme européenne sur les produits de scellement (**NF EN 1504-6**) mais pas sur les produits de calage. Les deux normes françaises **P18-821** et **P18-822** (produits de calage et scellement) resteront donc, après révision, applicables jusqu'à la parution d'une norme européenne sur les produits de calage.

- le Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi (téléchargement des fascicules du CCTG) ;
- l'Office Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics (OPPBT) ;
- l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) ;
- le Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA ou Sétra) ;
- le Syndicat National des Entrepreneurs Spécialistes de Travaux de Réparation et Renforcement de Structures (STRRES) ;
- etc.

Les coordonnées de ces différents sites sont disponibles dans une annexe à l'**Introduction commune à tous les guides (Guide 0)**.

Rappel important : en général, les normes et les guides ne fixent ni le rôle de chacun des intervenants, ni les conditions de choix des produits et de leur mise en œuvre, ni la consistance exacte des épreuves d'étude, de convenance ou de contrôle (par exemple, types et nombre d'essais). Ils ne traitent pas non plus de ce qui relève des contrôles internes ou externes ou extérieurs à l'entreprise, etc. **Il appartient donc au marché de fixer les exigences correspondantes.**

Il est rappelé que, dans un **marché**, la contractualisation d'un texte tel qu'un guide, un **fascicule de CCTG**, un **DTU**, une **norme**, un **agrément technique**, un **avis technique**... doit le plus souvent être complétée par **des exigences additionnelles** adaptées aux dispositions du texte et aux conditions de réalisation des travaux de réparation ou de renforcement à effectuer.

> **Par exemple :**

- dans un guide, seules certaines parties relèvent de la contractualisation ;
- dans un **DTU**, la liste des travaux relatifs **au corps d'état** concerné par celui-ci est fixée. Le **DTU** attribue à **d'autres corps d'état** certains des travaux préparatoires. Enfin, il renvoie **aux documents particuliers du marché (DPM)** pour fixer des travaux à faire exécuter par le corps d'état mais qui ne figurent pas dans la liste susvisée (ce point est explicité dans la remarque ci-après à cause de son incidence sur la rédaction des pièces **de marché**) ;
- dans une norme, **plusieurs niveaux de performances** peuvent être proposés, un choix est donc à faire ;
- dans une norme, **les conditions climatiques** (température et hygrométrie) retenues pour les essais des produits peuvent ne pas correspondre à celles qui seront enregistrées sur le site de l'ouvrage lors de la mise en œuvre des produits ;

- dans une norme, **les conditions de mise en œuvre**, qui sont fixées, peuvent ne pas correspondre à celles du chantier... ;
- dans tous ces documents et, en particulier, dans les recommandations, dans un avis technique, il est important de vérifier que **le domaine d'application** s'applique bien au cas à traiter. Par exemple, la résistance au feu, la tenue à la fatigue (solicitations statiques ou dynamiques), le renforcement vis-à-vis des sollicitations sismiques... peuvent être incluses ou exclues...

REMARQUE IMPORTANTE : un marché de bâtiment⁵ est décomposé le plus souvent en plusieurs lots attribués à différents corps d'état. Au contraire, **un marché de génie civil** fait appel le plus souvent à une entreprise générale ou à un groupement d'entreprises. Les textes officiels concernant ces deux domaines ont donc été rédigés en conséquence. Il faut en tenir compte lors de la rédaction **d'un marché** de réparation. Dans la mesure du possible **le présent guide** attire l'attention sur les particularités de ces deux domaines.

L'extrait ci-après d'une partie (3 des 5 caractéristiques) du tableau n° 1 de la norme harmonisée **NF EN 1504-4** montre la nécessité de fixer dans **le marché** si le produit est destiné à être mis en œuvre : sur une surface verticale, en sous-face, sur une surface horizontale, dans des conditions de températures basses ou élevées, sur un substrat humide, sur un acier protégé contre la corrosion... En effet, les caractéristiques de performances des colles sont données, soit pour **toutes les utilisations prévues** dans la norme, soit seulement pour **certaines utilisations prévues**.

De plus, pour **les utilisations non prévues**, il appartient **au marché** de fixer les exigences de performances et les essais de contrôle correspondants.

Caractéristiques de performances	Principe de réparation n°4 : renforcement structural	
	Méthode de réparation 4.3 : renforcement par plaque collée	Méthode de réparation 4.4 : mortier ou béton collé
Aptitude à l'application :		
Sur des surfaces verticales et des sous-faces	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Par-dessus des surfaces horizontales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Par injection	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aptitudes à l'application et au durcissement dans des conditions ambiantes particulières suivantes :		
Température basse ou élevée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Substrat humide		■
Adhérence		
Plaque sur plaque	■	
Plaque sur béton	■	
Acier protégé contre la corrosion sur acier protégé contre la corrosion	<input type="checkbox"/>	
Acier protégé contre la corrosion sur béton	<input type="checkbox"/>	
Béton durci sur béton durci		■
Béton frais sur béton durci		■

Tableau n° 2 : partie extraite du tableau n°1 de la norme EN 1504-4

NOTA : ■ pour toutes les applications prévues et □ pour certaines utilisations prévues.

⁵ ATTENTION, le domaine du bâtiment impose la tenue au feu, voire la résistance au séisme.

Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles

3

Préparation générale de l'opération

3.1 Généralités

3.2 Études préliminaires - Méthodologie à suivre

3.3 Méthodes de réparation et/ou renforcement traitées par le présent guide (rappel)

|| << Retour au sommaire ||

|| Béton Maçonnerie | Réparation et renforcement des structures **par armatures passives additionnelles** |

UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / NOVEMBRE 2011

L'entrepreneur fait mettre en place les moyens d'accès et les équipements d'hygiène et de sécurité sur le lieu où la réparation et/ou le renforcement d'une structure est prévue, en respectant les dispositions du marché, la législation en vigueur et les consignes du chargé des ouvrages provisoires (COP) et du coordonnateur sécurité et protection de la santé (coordonnateur SPS).



Figure n° 3 : la préparation d'une opération de réparation par l'entrepreneur

> **L'entrepreneur doit prendre connaissance et disposer en permanence des documents de la liste suivante non limitative :**

- les normes en vigueur et les autres documents de référence qui sont cités dans le présent guide (se reporter en **annexe** aux tableaux des textes de référence). Les contrôles demandés doivent être adaptés, si nécessaire, à la technique de traitement retenue en l'absence de norme spécifique ;
- les articles **du marché** relatifs à l'exécution de la réparation ;
- la **procédure** relative à l'exécution de la réparation (dans le cadre du PAQ) ;
- le cadre du **document de suivi** de l'exécution de la réparation (dans le cadre du PAQ) ;
- la fiche technique (ou notice d'emploi) de chacun des produits constituant le système de réparation ;
- la fiche de données sécurité (FDS) de chaque produit dont la présence sur le chantier est imposée par la réglementation ;
- la fiche technique et le carnet d'entretien des différents matériels nécessaires (par exemple, outils de mélange des produits, moyens de pesée, outils de mise en œuvre des produits, etc.) ;
- etc.

> **L'entrepreneur doit organiser, exécuter et contrôler toutes les opérations suivantes :**

- celles relatives à l'assurance de la qualité (dans le cadre du PAQ) ;
- celles qui doivent précéder l'application des produits ou systèmes de réparation ;
- celles qui doivent suivre l'application des produits ou systèmes de réparation ;
- celles relatives aux interventions **du laboratoire** chargé de certaines épreuves et de certaines mesures ;
- l'aménée et la mise en place des moyens d'accès et des équipements d'hygiène et de sécurité ;
- l'approvisionnement des matériaux et produits nécessaires ;
- l'aménée et la mise en place des matériels nécessaires à l'opération ;
- la réalisation du relevé **contradictoire** avec **le maître d'œuvre** de l'état **de tout ou partie de la structure**, puisque la réparation et/ou le renforcement à effectuer ont un caractère structural. Dans un tel cas, le relevé des désordres doit être complété par les dispositions à prendre lors des travaux pour mettre en sécurité l'ouvrage (par exemple, le phasage des diverses opérations de démolition et de réparation, les étaitements provisoires...) ;
- la mise en œuvre des moyens de mesure destinés à contrôler l'efficacité du traitement de la dégradation mais aussi, si besoin est, les moyens de contrôle de la stabilité de l'ouvrage en cours de travaux ;
- etc.

Rappel : la remise **au maître d'œuvre** des procédures et des cadres des documents de suivi conditionne la levée d'un **POINT D'ARRÊT**.

Comme l'introduction commune à l'ensemble des guides du **STRRES** le rappelle, l'expérience montre que, dans un certain nombre d'opérations de réparation, lors des travaux, **des dérapages dans les quantités et les coûts se produisent**. Il arrive aussi que, rapidement ou quelques années après les travaux, soit **de nouveaux désordres apparaissent à proximité de la réparation, soit celle-ci ne tient pas**. Toutes ces déconvenues sont, le plus souvent, dues **à la faiblesse du diagnostic lors des études préliminaires**.

En effet, certains **maîtres d'ouvrage** croient qu'il suffit pour réparer un ouvrage de traiter **les désordres apparents** (par exemple, les épaufrures, les éclatements, les armatures endommagées...) et, qu'en conséquence, pour eux, **les études préliminaires** portent uniquement sur **le relevé des désordres visibles** et sur **le métré** qui s'y rapporte.

ATTENTION, la norme homologuée **NF EN 1504-9** impose que **l'évaluation de l'état réel d'une structure en béton soit effectuée avant de procéder aux opérations de protection et de réparation**. Dans son annexe A (informative), elle en donne les lignes directrices.

En cas de contentieux, l'absence ou l'insuffisance des études préalables pourrait être pris en compte dans les motifs de la décision d'un tribunal chargé de régler un contentieux.

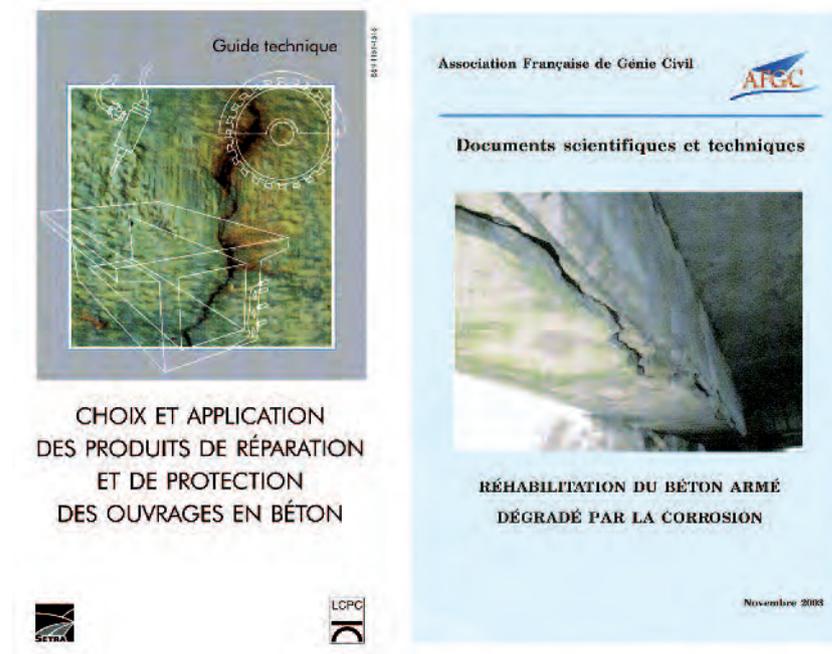


Photo n° 1 : le guide LCPC-Sétra de 1996 et le guide de l'AFGC de 2003 (crédit photo AFGC, LCPC et Sétra)

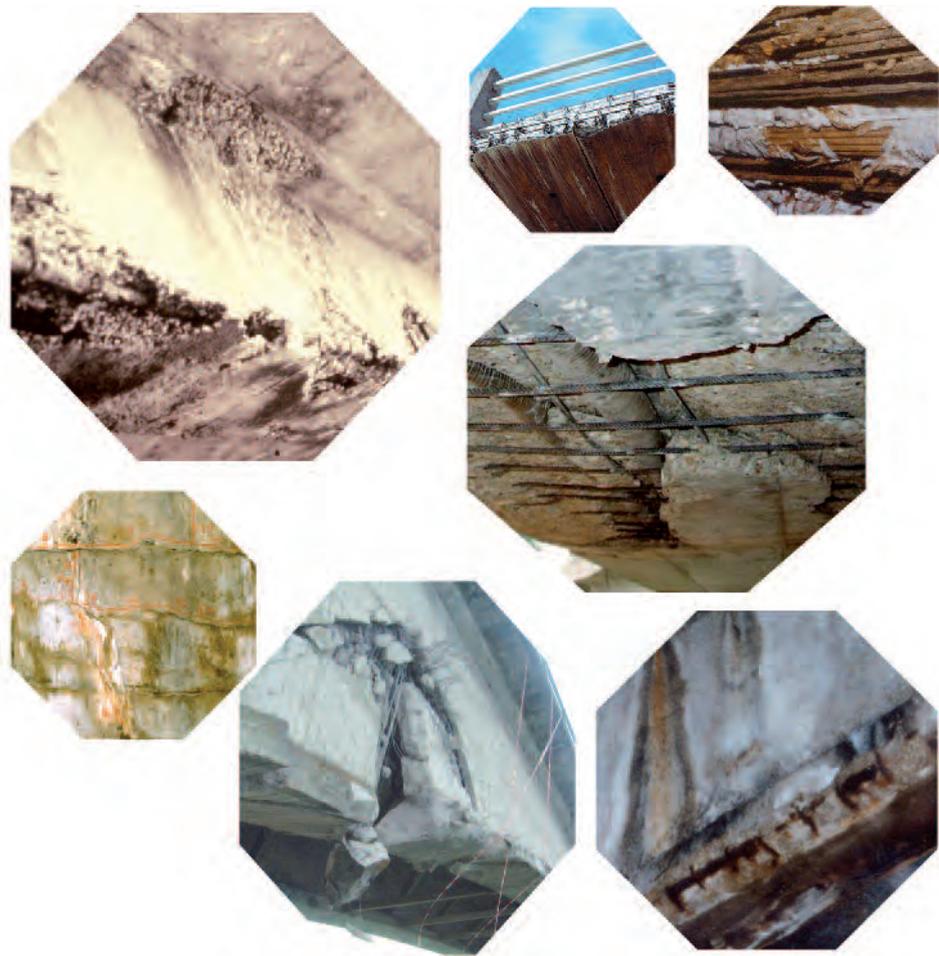


Photo n° 2 : différents désordres de structures en béton armé et précontraint (photomontage)

Pour éviter les coûteuses déconvenues, le présent guide rappelle qu'il existe **un processus à suivre pour aboutir à une action de réparation**. Ce processus passe par **six étapes incontournables** qui ont été développées dans **le guide technique de 1996** édité par le **LCPC** et dans **le guide de novembre 2003** édité par **l'AFGC**. Ce processus est également développé dans la norme européenne **NF EN 1504-9**.

Toute opération de réparation a pour origine la prise en compte **d'observations alarmantes sur l'aspect d'une partie de bâtiment ou d'ouvrage**. L'alerte peut être donnée, soit par un inspecteur s'il s'agit d'un ouvrage régulièrement surveillé, soit par un usager ou un tiers qui aperçoit une ou des fissures, des morceaux de béton qui se détachent ou encore par le gestionnaire qui intervient, par exemple, après un choc accidentel important ou un incendie.

> Ces premières observations, après la prise des premières mesures de sauvegarde qui s'imposent, demandent évidemment à être approfondies et il faut entrer alors dans le processus en six étapes auquel il convient d'ajouter, en 4^{ème} position et, si nécessaire, une nouvelle étape concernant la mise en sécurité de l'ouvrage en attendant les travaux ou pendant ceux-ci :

- 1. la détection de la dégradation ;
- 2. l'auscultation – le diagnostic – le pronostic ;
- 3. l'établissement du projet de réparation ;
- 4. la mise en sécurité de l'ouvrage ;
- 5. la mise en œuvre des produits ;
- 6. les contrôles et vérifications des résultats ;
- 7. la surveillance.

Il y a lieu de rappeler que la deuxième étape qui porte sur «l'auscultation - le diagnostic - le pronostic» est essentielle. Elle doit permettre d'identifier la maladie, d'en estimer l'étendue et d'en identifier les causes. La qualité de ce diagnostic revêt une grande importance pour le choix de la méthode de réparation, sa réussite ou son échec et notamment sa durabilité.

Se rappeler «que toute réparation sans un diagnostic préalable ou issue d'un diagnostic erroné est vouée à l'échec».

Ce processus est développé, dans les paragraphes 322 à 326 du guide FABEM 1 qui sert d'introduction commune à tous les guides de la famille FABEM et que le lecteur est invité à consulter. Ces cinq paragraphes traitent :

- 1. de la manifestation des désordres ;***
- 2. des causes de dégradation des matériaux (le béton et les armatures) et des structures ;***
- 3. des objectifs spécifiques de la réparation qui découlent des pathologies qui affectent les matériaux et/ou les structures ;***
- 4. de l'expertise préalable et du diagnostic, y compris la mise en jeu des responsabilités et garanties ;***
- 5. de la méthodologie d'élaboration d'un projet de réparation et du choix de la réparation en fonction des désordres rencontrés (souvent plusieurs causes agissent de concert).***

L'expérience montre que, malgré les soins apportés à la mise au point d'un projet de réparation, il est parfois nécessaire d'y apporter **certaines modifications lors des travaux** à cause des observations faites pendant ceux-ci (par exemple : la découverte de l'absence de certaines des armatures, la présence de nids de cailloux ou de vides...).

> **Les méthodes de réparation ou renforcement suivantes visées par les normes européennes NF EN 1504-9 et NF EN 1504-10 :**

- méthode 4.1 : ajout ou remplacement de barres de renforcement incorporées ou externes ;
- méthode 4.2 : ajout d'armatures ancrées dans des trous pré-creusés ou forés ;
- méthode 4.3 : collage d'une plaque de renforcement ;
- méthode 4.4 : ajout de mortier ou de béton avec ou sans interposition de colle ;

peuvent être regroupées en deux méthodes enveloppes qui sont traitées séparément ci-après :

1. le remplacement ou l'ajout d'armatures passives internes au béton sous forme de barres de béton armé ou de barres en matériaux composites ;
2. le collage d'armatures passives à la surface du béton sous forme de plaques ou de tissus en matériaux composites.

> **Dans chacune des deux méthodes enveloppes sont développés les points suivants :**

- les cas d'utilisation ;
- la description de la méthode ;
- le choix des produits ;
- le conditionnement, le transport et le stockage des produits ;
- le matériel à utiliser ;
- la réalisation des travaux ;
- les essais et contrôles ;
- la réception des travaux.

À ces deux méthodes s'ajoute la réparation des tôles et plats métalliques collés à la surface du béton d'une structure existante ayant été réparée ou renforcée au moyen de cette technique lorsque cette méthode était la seule opérationnelle, il y a de nombreuses années de cela.

Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles

4

Remplacement ou ajout d'armatures passives internes au béton

4.1 Les cas d'utilisation

4.2 Description de différentes solutions de réparation par remplacement ou renforcement des armatures passives

4.3 Choix des produits et matériaux

4.4 Conditionnement, transport et stockage des produits

4.5 Matériels à utiliser

4.6 Réalisation des travaux

4.7 Essais et contrôles

4.8 Réception des travaux de réparation et/ou renforcement par armatures passives internes au béton

La présente partie du guide traite du remplacement et de l'ajout d'armatures de béton armé, qui peuvent concerner aussi bien des structures en béton armé que précontraintes, mais aussi des parties en béton armé ou précontraintes de structures métalliques.

Retour au sommaire

4.1.1 REMPLACEMENT D'ARMATURES DE BÉTON ARMÉ

Une structure peut être affectée par des désordres plus ou moins importants **qui mettent en jeu sa capacité portante**. Ces désordres peuvent être, comme cela est indiqué dans le **guide FABEM 1**, d'origine physique (températures extrêmes, érosion...), chimique (eau agressive, attaques biochimiques...) ou mécanique (surcharge, choc, séisme...).

> **Si le défaut de capacité portante concerne les armatures de béton armé, sachant que le matériau béton peut aussi être endommagé, le remplacement de certaines de ces armatures est envisageable lorsque les actions, causes des désordres, ont entraîné :**

- une modification de leurs caractéristiques mécaniques (ce peut être la conséquence d'un incendie...) ;
- leur rupture (ce peut être la conséquence d'un choc...) ;
- une forte réduction de leur section (ce peut être la conséquence d'une corrosion, d'une érosion...)...

Lorsque les désordres sont trop importants, **la solution de démolition-reconstruction** peut s'imposer. Ce choix se fait lors **des études préliminaires** et à l'issue d'une étude technico-économique comparant cette solution à celle de réparation.

ATTENTION, pour que les matériaux mis en œuvre puissent participer à la reprise de la totalité des actions auxquelles est soumise la structure (charges permanentes et d'exploitation, actions climatiques...), il faut que les pièces concernées par les réparations soient mises en charge. Dans le cas contraire, les matériaux mis en œuvre ne pourront équilibrer que les actions non permanentes (**se reporter au paragraphe 3.2.6 du guide FABEM 1 qui traite de ce problème**).

4.1.2 AJOUT D'ARMATURES DE BÉTON ARMÉ

Par suite d'un changement d'affectation, de la mise en place d'équipements augmentant les charges permanentes, de passage de charges d'exploitation plus agressive... une structure existante peut voir **sa capacité portante devenir insuffisante**. Ce phénomène peut être aggravé par des désordres structuraux dus aux diverses pathologies qui peuvent affecter le béton ou les armatures.

Le défaut de capacité portante concerne, très souvent, à la fois les armatures de béton armé et la section de béton. Dans un tel cas, si **la solution de démolition-reconstruction** après étude n'a pas à être retenue, il peut être envisagé d'augmenter à la fois la section des armatures et celle du béton. Si se superposent des pathologies affectant les matériaux, les armatures touchées et les parties de béton endommagées sont à remplacer dans le cadre du renforcement.

ATTENTION, comme dans le cas du remplacement des armatures, pour que les matériaux ajoutés participent à la reprise de la totalité des actions, ils doivent être mis en charge.

Le présent paragraphe introductif donne, sans entrer dans les détails, les principaux choix à opérer lors de la mise au point d'une solution **de réparation par remplacement d'armatures passives** ou **de renforcement par ajout d'armatures passives** ainsi que de mortier ou béton. Il décrit également sommairement diverses solutions.

4.2.1 GÉNÉRALITÉS

Qu'il s'agisse **du remplacement ou de l'ajout d'armatures de béton armé**, le ferrailage mis en place doit résister aux sollicitations qui lui seront appliquées et il doit satisfaire aux dispositions constructives des règles de l'art. Il en est de même pour le béton mis en place pour redonner à la pièce concernée sa géométrie initiale ou une nouvelle géométrie.

Dans le cas d'un ouvrage ancien conçu et calculé avec des règles actuellement obsolètes, il appartient au marché de définir les règles de recalcul et les adaptations constructives autorisées.

ATTENTION, le recours aux règles de conception et de calcul actuellement en vigueur impose des adaptations mais, pour ce faire, il faut que, lors des études préalables (partie consacrée à l'expertise et au diagnostic), l'étude de la capacité portante et des dispositions constructives ait porté sur la totalité de la structure y compris ses fondations.

> **Pour pouvoir étudier les solutions de réparation ou renforcement, les études préliminaires doivent permettre de connaître, au minimum :**

- le coffrage et le ferrailage de la structure sous forme de plans conformes à l'exécution ou reconstitué ;
- les caractéristiques et l'état des armatures de béton armé (armatures à haute-adhérence ou lisse, diamètre et section, limite d'élasticité et contrainte de rupture, soudabilité, importance de la corrosion...) ;
- les caractéristiques et l'état du béton (composition, résistance, défauts, désordres...) ;
- les types d'actions subies par la structure (principalement statiques ou dynamiques) ;
- la capacité portante de la structure ;
- l'agressivité de l'environnement ;
- les exigences du maître d'ouvrage.

4.2.2 RÉPARATION AVEC REMPLACEMENT D'ARMATURES

4.2.2.1 Cas où une réparation avec remplacement des armatures passives est envisageable

Les deux photos qui suivent illustrent des cas où le remplacement des armatures est envisageable.



Photo n° 3 : conséquences d'un choc de bateau sur le tablier d'un pont en béton armé (crédit photo CETE de Lyon)



Photo n° 4 : état avancé de corrosion des armatures d'une passerelle piétons (crédit photo D. Poineau)

4.2.2.2 Choix des matériaux de remplacement

■ Les armatures

Lorsque les désordres sont limités à une partie de la structure (c'est souvent le cas d'un choc), les armatures de béton armé sont simplement remplacées par d'autres armatures de béton armé après certains travaux de préparation.

Lorsque les désordres sont liés à la corrosion et concernent des portions importantes de la structure et que l'environnement est très agressif (zone de marnage, sels de déneigement et gel...), il est envisageable de remplacer les armatures de béton armé endommagées par des armatures non-corrodables (inoxydables, en matériaux composites...).

■ Le mortier ou le béton :

Les caractéristiques du mortier ou du béton de ré-enrobage des armatures remplacées doivent être compatibles avec les caractéristiques du béton existant et l'agressivité de l'environnement de l'ouvrage.

4.2.2.3 Description sommaire d'une réparation avec remplacement d'armatures

La figure qui suit montre un exemple de ferrailage mis en place pour remplacer le ferrailage existant endommagé par un choc au niveau du talon d'une poutre en béton armé. Les mêmes principes et dispositions constructives s'appliquent aux autres cas nécessitant le remplacement d'armatures de béton armé (pertes des caractéristiques mécaniques, corrosion avec forte réduction de section...) et également pour le remplacement d'armatures dans une dalle, un poteau...

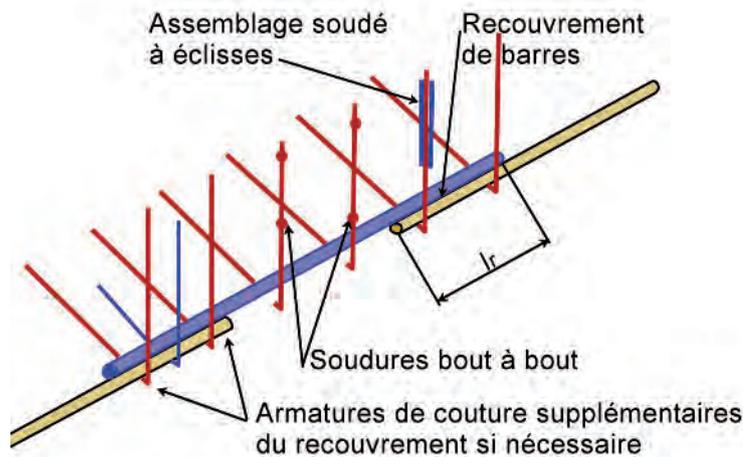


Figure n° 4 : principe de remplacement d'un ferrailage endommagé

La réparation consiste enlever le béton endommagé, voire pollué et à dégager les armatures longitudinales ou transversales existantes endommagées. Après préparation du support (le béton) et des armatures, le ferrailage de remplacement (armatures longitudinales et transversales) est mis en place en respectant les règles de l'art. Le raccordement des armatures longitudinales peut également se faire par soudures ou manchonnage.

Si nécessaire, **des armatures complémentaires de couture** sont à mettre en place par scellement dans des trous ou encoches (consulter le paragraphe 4.2.5 ci-dessous), par soudure, voire manchons (dispositifs de raboutage ou d'ancrage) sur les armatures existantes... Ces armatures complémentaires peuvent assurer la couture de barres en cours de recouvrement, la couture le long du périmètre de la reprise de bétonnage (amélioration de la reprise entre deux bétons d'âges très différents par des barres de faible diamètre [$\phi \leq 10$ mm])...

ATTENTION, toute soudure sur des armatures existantes nécessite, au préalable, une vérification de leur soudabilité.

Enfin, après diverses opérations préparatoires, et la mise en place, si besoin est, de coffrages, un mortier ou un béton est mis en place pour remplacer le béton endommagé, ré-enrober les armatures remplacées et reconstituer la géométrie initiale de la pièce concernée. Suivant le volume de la cavité à combler et sa position, le mortier ou le béton peut être mis en place manuellement ou mécaniquement. La réparation ayant un caractère structural, les produits prêts à l'emploi éventuellement utilisés doivent être certifiés. Cette opération doit être suivie d'une cure soignée pendant le durcissement du mortier ou du béton.

Après durcissement du mortier ou du béton et en respectant un certain délai (ce délai évite une attaque des produits par les alcalins), la mise en place **d'un produit ou d'un système de produits de protection** est souvent à prévoir, soit pour des raisons esthétiques, soit, et surtout, pour améliorer la durabilité de la réparation (se reporter au **guide FABEM 4**).

S'il est nécessaire que **les armatures et le béton de remplacement participent à la reprise des charges permanentes**, la mise en charge de la zone réparée s'impose par divers procédés décrit au paragraphe 4.2.4 au-dessous.

Bien entendu, lorsque les désordres sont très importants, **la solution de démolition-reconstruction** est à étudier.

4.2.3 CAS D'UN RENFORCEMENT AVEC AJOUT D'ARMATURES ET DE BÉTON

4.2.3.1 Cas où un renforcement avec ajout d'armatures est envisageable

Les quatre exemples qui suivent montrent, d'une part, des cas où l'ajout d'armatures est envisageable en fonction des insuffisances de capacité portante constatées et, d'autre part, que **les dispositions développées ci-devant pour le remplacement d'armatures de béton armé** sont aussi applicables aux renforcements par ajout d'armatures et de mortier ou de béton.

ATTENTION, lors de l'étude des solutions de renforcement, il faut envisager la solution d'ajout d'armatures passives internes au béton et celle d'armatures passives extérieures au béton et collées à celui-ci⁶. Le paragraphe qui suit montre une telle démarche.

4.2.3.2 Critères de choix d'une solution de renforcement

> Les points listés ci-dessous montrent que l'étude préliminaire doit bien prendre en compte toutes les données et envisager toutes les solutions avec leurs avantages et inconvénients avant de choisir la solution optimale :

- l'agressivité de l'environnement, qui peut imposer le recours à des armatures non-corrodables, une formulation de mortier ou de béton adaptée, l'application d'un produit ou d'un système de produits de protection en supplément... ;
- la qualité du béton existant, qui peut être pollué par divers agents agressifs. Dans un tel cas, l'élimination du béton pollué s'impose avec nécessité d'un étalement si l'étude montre que la stabilité de la structure ne peut être assurée durant cette opération ;
- les mauvaises caractéristiques mécaniques de la surface du béton existant ou sa mauvaise géométrie (grosses balèvres, défauts de planéité excessifs, décrochements très prononcés...), qui peuvent faire renoncer à un renforcement par armatures passives extérieures au béton à cause de l'importance et des difficultés que présente la préparation de surface ;
- l'impossibilité, à cause d'exigences du maître d'ouvrage, de modifier les niveaux de l'intrados et/ou de l'extrados de la structure (tablier de pont, plancher de bâtiment...), ce qui impose le renforcement par armatures passives extérieures collées ou l'ajout d'armatures dans des rainures pratiquées à la surface du béton, ou l'élargissement de l'âme des poutres de la structure porteuse... ;

⁶ Le renforcement par armatures passives extérieures au béton et collées à sa surface est traité dans le paragraphe 5 ci-dessous

- le trop faible enrobage des armatures existantes, qui ne permet pas de renforcer la structure par des armatures de béton armé scellées dans des encoches pratiquées à la surface du béton avec un enrobage suffisant pour leur protection et qui impose la mise en place d'armatures de faible diamètre en matériaux composites appelées «joncs» aux caractéristiques mécaniques très élevées ;
- l'état des armatures existantes, qui peuvent être endommagées par la corrosion, ce qui peut imposer leur remplacement en même temps que l'ajout de nouvelles armatures, quitte à adopter des armatures non-corrodables ;
- le risque avéré de chocs (gabarit limité et passage de nombreux camions), ce qui peut faire renoncer aux armatures passives extérieures collées si des protections ne peuvent être mises en place...

4.2.3.3 Exemple de renforcement d'une poutre par ajout de béton et d'armatures passives

La figure et la photo qui suivent montrent le ferrailage mis en place pour renforcer le ferrailage existant d'une poutre en béton armé présentant à la fois une insuffisance de force portante vis-à-vis de la flexion et de l'effort tranchant.

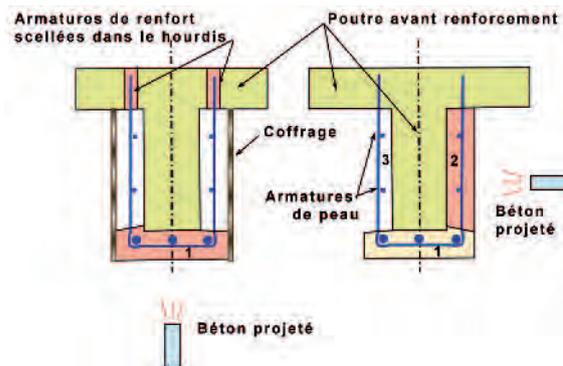


Figure n° 5 : exemple de renforcement avec ajout de béton et d'armatures

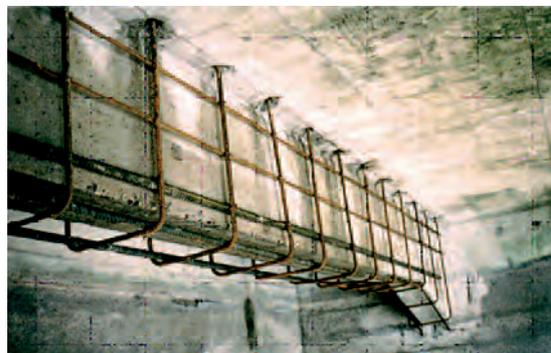


Photo n° 5 : renforcement d'une poutre par ajout de béton et d'armatures (crédit photo Freyssinet)

4.2.3.4 Exemple de renforcement d'un poteau par ajout de béton et d'armatures passives

La figure ci-après montre le renforcement du ferrailage d'un poteau.

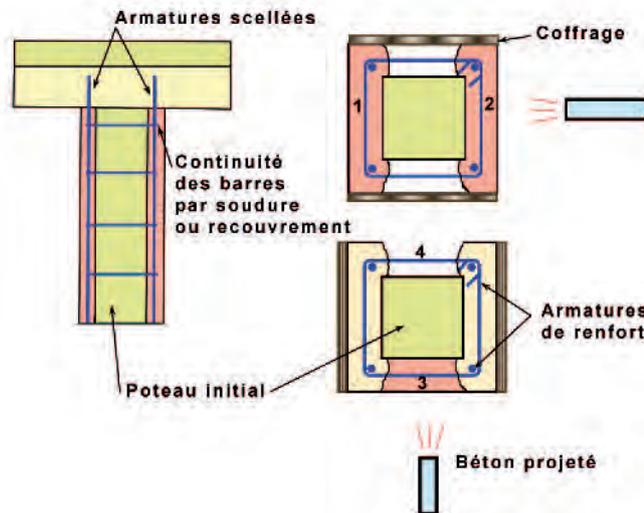


Figure n° 6 : exemple de renforcement d'un poteau par ajout de béton et d'armatures

4.2.3.5 Exemples de renforcement d'une dalle, d'un mur... par ajout de béton et d'armatures passives métalliques ou en matériaux composites

1. Si l'épaisseur de la pièce (par exemple, une dalle) n'a pas besoin d'être augmentée :

Les armatures de renfort sont mises en place dans des encoches réalisées dans le béton de la pièce concernée comme le montre la figure ci-après. Ensuite, après diverses opérations préalables :

- si les armatures sont métalliques, un coulis, un mortier ou un micro-béton est mis en place pour combler l'encoche et enrober les armatures ;
- si les armatures sont en matériaux composites, c'est l'adhésif qui assure le remplissage des encoches et l'enrobage des joncs. La figure ci-après montre le principe d'un tel renforcement.

Cette méthode de réparation peut aussi se substituer à une réparation par matériaux composites collés à la surface de la pièce à réparer ou à renforcer lorsque le béton de surface ne présente pas les qualités nécessaires en résistance et/ou en planéité pour permettre un collage durable.

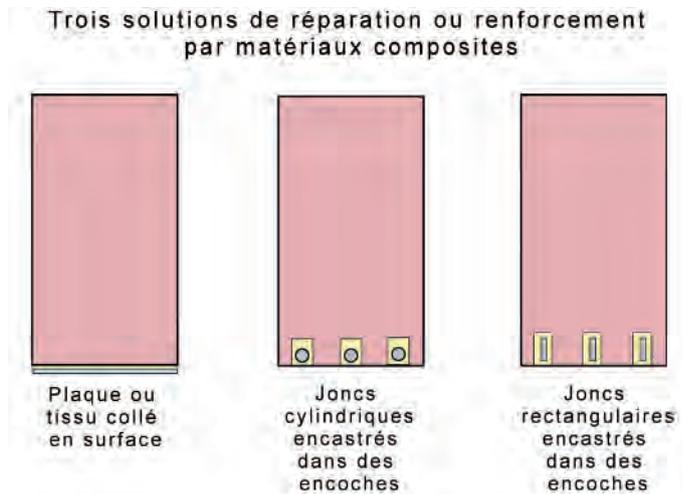


Figure n° 7 : trois solutions possibles de réparation et/ou renforcement par matériaux composites

La difficulté principale d'une telle opération est la réalisation des encoches sans endommager les armatures existantes car l'épaisseur de leur béton de couverture (leur enrobage) n'est pas forcément constante. Un repérage de la position des armatures existantes s'impose au moyen d'un pachomètre ou d'un radar géophysique (géoradar). **Ce repérage** doit être complété par quelques **fenêtres de contrôle**.

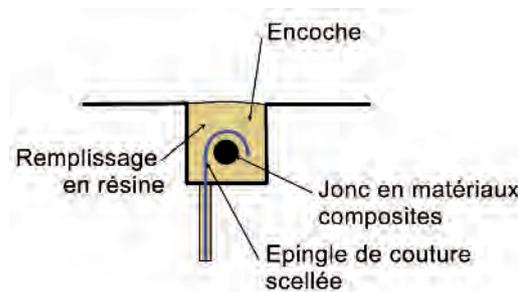


Figure n° 8 : exemple de renforcement par armature scellée dans une encoche

Lorsque la profondeur des encoches est limitée par la couverture de béton des armatures existantes, ce qui ne permet pas d'assurer un enrobage correct des armatures de béton armé ajoutées, il est envisageable d'utiliser des armatures en matériaux composites à hautes performances mécaniques. Actuellement, il s'agit, essentiellement, d'armatures lisses de section circulaire ou rectangulaire appelées «**joncs**» qui nécessitent des encoches de faibles dimensions **à la condition expresse que les caractéristiques de la peau du béton soient correctes** (bonne résistance, absence de délaminations...). Le **CSTB** a délivré des avis techniques sur **la conception et la mise en œuvre de tels joncs** dans la cadre des avis techniques relatifs aux matériaux composites collés (plaques et tissus)⁷.

⁷ Consulter le site du CSTB car les avis techniques évoluent constamment.

Des **épingles** sont, si le projet l'impose, à mettre en place pour servir d'**armatures de coutures** aux «joncs». Ces épingles font partie des accessoires de certains des systèmes actuellement sur le marché.

Hors les avis techniques du **CSTB**, il n'y pas actuellement d'autres **recommandations françaises sur le dimensionnement et la mise en œuvre des armatures de béton armé lisses ou crantées en matériaux composites**. Des fiches techniques et des renseignements sont cependant disponibles chez les fabricants ou dans les revues techniques, des contributions à des congrès ou des colloques. Certains pays, comme l'Italie et les USA, utilisent assez couramment ces produits pour des réparations.

> **Il existe deux sortes d'armatures de béton armé en matériaux composites :**

- des armatures lisses ;
- des armatures crantées.

Le coût actuel des armatures crantées les rend non compétitives. L'utilisation de joncs revêtus d'une couche de résine sablée permet d'améliorer l'adhérence des joncs lisses. À ce jour, aucune règle reconnue ne fixe la contrainte d'adhérence à prendre en compte dans les calculs de longueur d'ancrage...

Les résultats de la thèse de M. Firas AL-MAHMOUD sur l'ancrage de joncs en matériaux composites dans des encoches, qui s'est déroulée au LMDC. INSA-UP de Toulouse, confirment les conclusions d'autres essais sur le même sujet : l'ancrage peut être correctement assuré lorsque la largeur de l'encoche est comprise entre 1,5 et 2,5 fois le diamètre du jonc, avec un optimum de 2.

> **La bibliographie de la thèse permet d'accéder à divers documents. Par exemple :**

- ACI 440.1R-06: Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars (February 10, 2006);
- Guide for the Design and Construction of Concrete Structure Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars (draft 25/05/2007 de l'Italian National Research Council (CNR-DT 203/2006).

ATTENTION : ces deux guides se rapportent au calcul et aux dispositions constructives d'ouvrages neufs armés de barres composites. Ils ne visent pas les méthodes de réparation.

> **Par exemple :**

- **joncs de section circulaire** : un jonc de 6 mm de diamètre peut être encastré dans une encoche pouvant varier entre 10 mm x 10 mm et 15 mm x 15 mm, avec un optimum de 12 mm x 12 mm, qui est ensuite comblée par un adhésif préconisé par le fabricant ;
- **joncs de section rectangulaire** : un jonc de 3 mm x 10 mm ou 3 mm x 15 mm peut être encastré dans une encoche ne dépassant pas 6 mm de largeur à condition d'être disposé dans le sens vertical. L'encoche peut donc être facilement réalisée avec une disqueuse, d'où l'intérêt de ce type de jonc de faible encombrement.

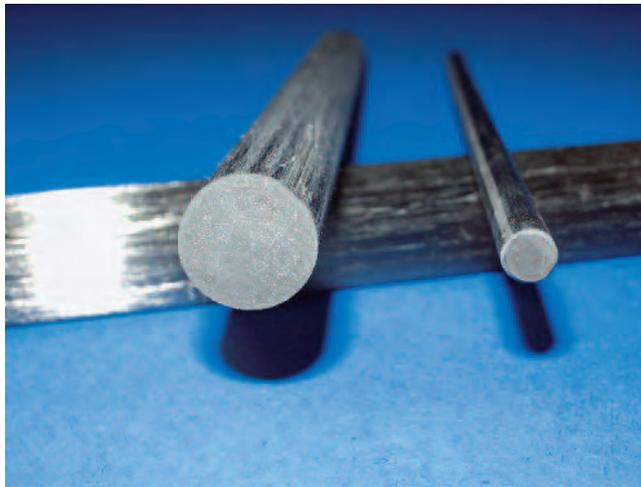


Photo n° 6 : exemple de joncs en matériaux composites (crédit photo Freyssinet)

AVERTISSEMENT : les systèmes constitués par des armatures composites et leur adhésif ou leur mortier d'enrobage à base de produits organiques peuvent perdre leurs caractéristiques sous l'action de températures trop élevées. Ce risque est évident en cas d'incendie mais peut aussi concerner des renforts disposés à l'extrados d'un pont lors de la mise en place d'une chape d'étanchéité (asphalte coulé) ou des enrobés des couches de chaussée... car les armatures (joncs) sont disposées dans des encoches de faible profondeur. Se reporter au paragraphe 5.2.2.4 ci-dessous qui détaille les précautions à prendre.

2. Si l'épaisseur de la pièce (par exemple, une dalle) doit ou peut être augmentée :

Après une préparation du béton support, les armatures de renforcement sont mises en place parallèlement à l'une des faces de la pièce et à l'extérieur de celle-ci. Des armatures scellées dans le béton assurent la couture de la reprise de bétonnage. Ensuite le ferrailage de renfort est enrobé par un béton coulé en place ou projeté. La photo ci-après montre le principe du

renforcement de la **face inférieure** d'une dalle, sachant qu'il est aussi possible de renforcer la dalle en plaçant des armatures à la **partie supérieure** de celle-ci.



Photo n° 7 : renforcement en sous-face d'une dalle avec connecteurs scellés (crédit photo Freyssinet)

ATTENTION, les règles du béton armé imposent que **les armatures porteuses ajoutées soient ancrées totalement ou en partie au-delà des bords de la dalle dans les flancs des poutres et des entretoises supports de la dalle, suivant que les charges d'exploitation ont un caractère dynamique ou non.**

> Avantages et inconvénients de la solution de renforcement par le dessus :

Outre la facilité d'exécution, le renforcement de l'épaisseur d'une dalle par le dessus permet **d'augmenter le bras de levier des armatures et, par voie de conséquence, le moment résistant qu'elles peuvent équilibrer.** L'augmentation du moment résistant compense, normalement, largement le supplément de poids propre dû à la couche de béton additionnelle. Il est donc possible d'admettre sur la dalle **des charges d'exploitation plus élevées.**

Il est à noter que cette technique augmente aussi le bras de levier des armatures des poutres et entretoises porteuses de la dalle et donc également leur force portante.

ATTENTION, dans le cas où la dalle est soumise à **des sollicitations dynamiques**, afin d'éviter une rupture dans le plan de reprise de bétonnage sous l'action des cisaillements qui s'y développent, normalement, les règles de calcul du béton armé imposent **de mettre en place des armatures de couture appelées aussi connecteurs**. Il faut donc forer dans la dalle un nombre très important de trous pour y sceller ces connecteurs, ce qui rend la solution très onéreuse et, de plus, transforme la dalle en un véritable «gruyère» préjudiciable à sa résistance, en particulier, lorsque la résistance du béton de la dalle n'est pas très élevée...

Cette solution classique de renforcement d'une dalle n'est donc pas envisageable dans tous les cas. La technique du «**béton contrecollé**», décrite ci-après, est une solution variée qui réduit fortement le nombre des armatures de couture.

4.2.3.6 Exemple de renforcement par «béton contrecollé» d'une dalle de couverture, d'un plancher...

Le **béton contrecollé** a été mis au point par L'HERMITE pour renforcer la capacité portante des planchers du CNIT dans le quartier de la Défense près de Paris. Après divers travaux préparatoires, l'extrados des planchers a été enduit d'une colle époxyde sur laquelle a été coulée une surépaisseur de béton. Il peut être admis que **le collage** permet de considérer que **la dalle ainsi renforcée a été coulé en une seule phase**. Le collage permettrait donc théoriquement de supprimer les armatures de couture. Dans la pratique, il est cependant préférable de mettre en place **deux types d'armatures de couture** scellées dans le béton existant, **appelées connecteurs, et qui sont indispensables** :

- des connecteurs (quelques connecteurs au m²) répartis sur toute la surface et qui sont chargés d'éviter, **en cas d'un défaut de collage local**, une déchirure du plan de la reprise de bétonnage ;
- des connecteurs à la périphérie de la dalle pour équilibrer les cisaillements développés par **le retrait différentiel** entre les deux bétons d'âges très différents (la méthode de calcul de ces armatures est voisine de celle utilisée pour le dimensionnement des connecteurs des ponts mixtes acier-béton nécessaires pour reprendre les efforts développés par retrait à l'interface entre le béton et l'ossature métallique).

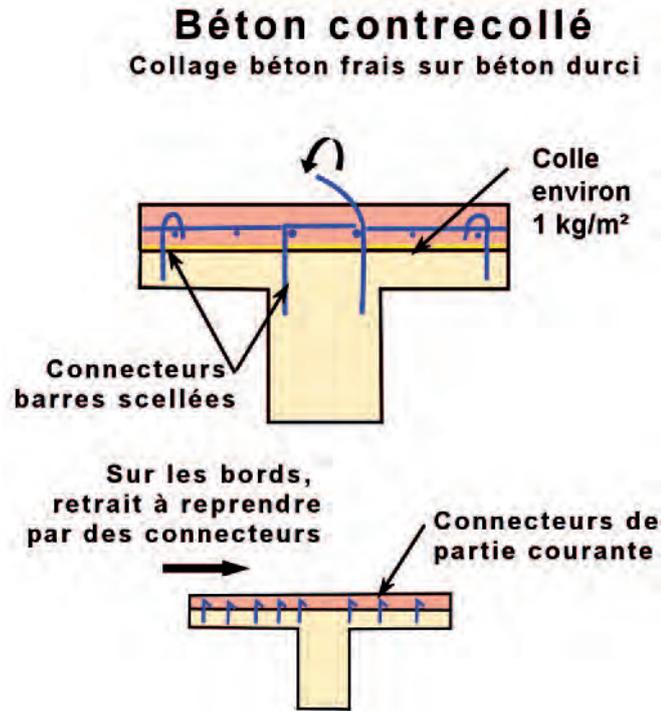


Figure n° 9 : principe du béton contrecollé

Les produits et systèmes de produits de collage béton frais sur béton durci doivent satisfaire aux exigences de la norme **NF EN 1504-4**. Normalement l'adhésif, à raison d'environ 1 kg/m², est mis en place en une seule couche.

> **Cette technique présente deux difficultés de réalisation :**

- la mise en place de la colle car, compte tenu de la présence du ferrailage de renfort, il est difficile d'obtenir une couche de colle d'épaisseur constante sur le béton sans encoller les armatures, ce qui peut nuire à leur adhérence dans le béton ajouté ;
- la durée limite d'emploi de la colle dépend de sa polymérisation plus ou moins rapide en fonction de la température sur le chantier et de celle du béton support. Or, le béton frais doit être mis en place avant que la colle ne polymérise ; cela conduit à travailler par plots successifs de faible surface et à suivre de près l'évolution des conditions thermiques qui règnent sur le chantier. Il faut donc avoir recours à des adhésifs à longue durée d'utilisation de l'ordre de 4 à 5 heures.

4.2.4 MISE EN CHARGE DES PIÈCES RÉPARÉES OU RENFORCÉES

Il est souvent nécessaire que les armatures et le béton de remplacement ou de renfort participent à la reprise des charges permanentes en sus des charges d'exploitation et des autres actions variables. Dans un tel cas, la mise en charge de la zone réparée s'impose par une mise sur cintre partielle ou totale de la structure à réparer avant travaux ou l'application à celle-ci de forces, par exemple au moyen de vérins, dénivellation d'appui... La figure ci-après montre le principe de la mise en charge d'un poteau renforcé. (se reporter au paragraphe 3.2.6 du **guide FABEM 1** qui détaille les diverses solutions de mise en charge).

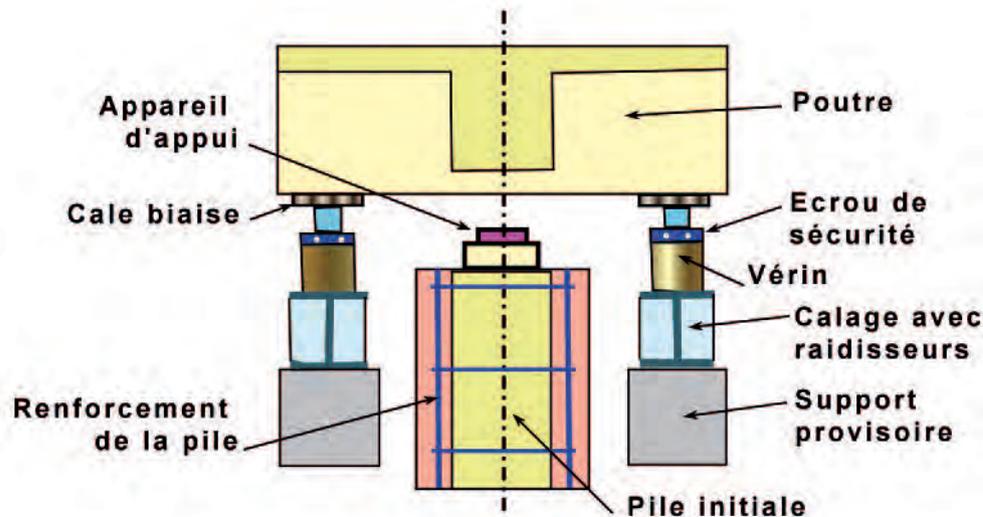


Figure n° 10 : schéma d'un dispositif de mise en charge d'un poteau après renforcement

4.2.5 CAS DU SCÈLEMENT D'ARMATURES DANS UNE RÉSERVATION OU UN FORAGE

Lors d'une réparation et ou renforcement, il peut être nécessaire d'ajouter des armatures de béton armé (armatures longitudinales, transversales, de couture, épingles de manutention...). Ces armatures sont introduites dans des forages, voire des réservations réalisés dans le béton de la structure et sont ensuite scellées avec un produit de scellement.

4.2.5.1 Documents de référence

- les règles de calcul des constructions en béton (actuellement l'**Eurocode 2 [EC 2]**) ; cependant, pour des constructions existantes, il est possible d'utiliser des règles anciennes comme le **BAEL** ;
- la norme **NF EN 1504-6** : produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en bétons – Partie 6 : ancrage de barres d'acier d'armature ;

NOTE : le **marquage CE** des produits de scellement est opérationnel. Ces produits peuvent, en sus, relever de la **Marque NF** : produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique (règlement de la Marque : **NF 030**), voire de marques reconnues équivalentes.

- le guide GATE 001 (**ETAG 001**)⁹ (guide d'agrément technique européen relatif aux chevilles métalliques pour béton). En effet, ce guide, dans sa partie 5, vise les chevilles scellées et, dans sa partie 5-1-2, les scellements d'armatures rapportées sous forme de barres de béton armé ;
- le fascicule de documentation **FD P 18-823**⁹ : recommandation pour la conception et le dimensionnement des scellements de barres d'armature dans le béton armé (**ATTENTION**, ce guide est basée sur l'Eurocode 2, mais les principes de calcul sont transposables aux règles de BA ou BP plus anciennes).

ATTENTION : les textes susvisés ne traitent pas des scellements dans les BHP. Il convient donc, en l'absence de résultats d'essais validés, de procéder à des essais dans le cadre d'une épreuve d'étude.

4.2.5.2 Synthèse tirée des différents textes

4.2.5.2.1 La démarche de la norme NF EN 1504-6 et celle de l'ETAG 001

> Il existe deux démarches pour aborder la conception et le calcul du scellement de barres de béton armé rapportées :

1. celle de la norme **NF EN 1504-6**, qui fixe les exigences en matière de performances des produits et systèmes d'ancrage pour obtenir le **marquage CE** (conformité à la **méthode 4.2 du principe 4** : renforcement structural visée par les normes **NF EN 1504-9** et **NF EN 1504-10**). Les essais d'arrachement sont effectués sur un **béton témoin C (0,40)**, qui correspond sensiblement à un béton de classe C45/55, mais le cas d'un **béton support de faible résistance** n'est pas pris en compte. Cette norme **ne traite, ni de la conception, ni du calcul des scellements et ancrages pour lesquels il renvoie à l'EC2** ;

⁹ ETAG : European Technical Approval Guideline ou, en français, GATE : Guide d'Agrément Technique Européen. Le terme ETAG sera conservé pour la suite du présent guide.

⁹ Fascicule à l'enquête début 2011 et qui remplace le fascicule existant **FD P 18-823 de 2004**, sur le même sujet, devenu obsolète à cause de la suppression d'une grande partie des normes de la **série P 18-8****

NOTE : les essais d'arrachement sont effectués conformément à la norme **NF EN 1881** (extraction d'une barre de 16 mm de diamètre scellée sur une longueur de 150 mm dans un trou de 20 mm de diamètre, le déplacement devant rester inférieur à 0,6 mm sous une force de 75 kN) sur **des supports secs et humides visés par la norme NF EN 1766**. De plus, pour les produits de scellement à base de résines (PC) **des essais de fluage en traction** sont effectués conformément à la norme **NF EN 1544**. Il est rappelé l'importance de consulter la norme pour en connaître **les limites d'emploi**. Par exemple, ne sont pas traitées pour les produits hydrauliques de scellement conformes à la norme **NF EN 1504-6** :

- la résistance à l'eau de mer et aux eaux sulfatées ;
- la tenue au gel-dégel qui peut imposer les essais de la norme NF P 18-424.

2. celle de l'ETAG 001 qui traite :

- d'une part, **des chevilles à scellement** (longueur d'ancrage : $8d \leq h_{ef} \leq 12d$ où «d» représente le diamètre de la cheville, en général, une tige filetée). Il s'agit de **scellements de courte longueur**, comme toutes les autres chevilles métalliques visées par le guide **ETAG 001** ;
- d'autre part, les armatures de béton armé rapportées (de classe 500 MPa et avec un coefficient de projection de la surface des verrous «k» compris entre 0,05 et 0,10). La longueur d'ancrage doit être calculée avec **la contrainte d'adhérence de l'EC 2** « f_{bd} » à la condition que **la contrainte d'adhérence** mesurée lors des essais atteigne **une valeur requise** « f_{brn}^{req} » pour laquelle **la classe de résistance du béton support** joue. Ces essais sont effectués avec des longueurs de scellement réduites de $7 d_s$ ou $10 d_s$ (d_s étant le diamètre de la barre).

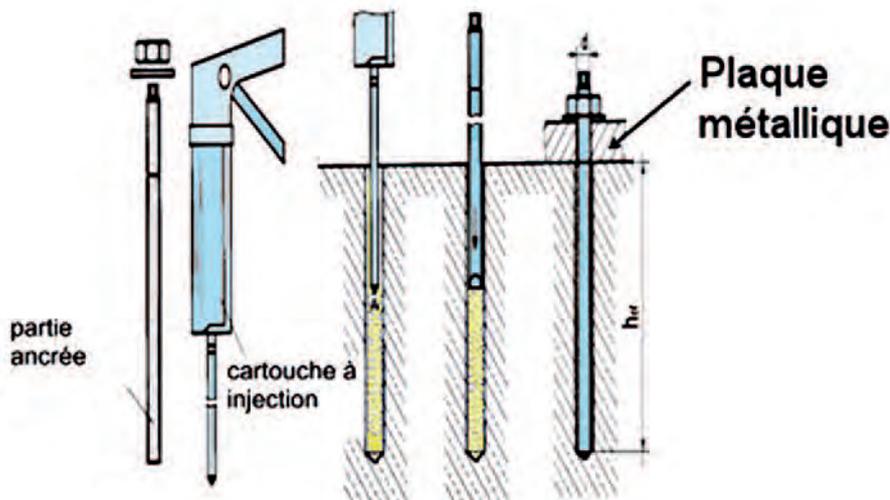


Figure n° 11 : schéma d'une cheville à scellement de type à injection (extrait de l'ETAG 001)

NOTE : les différents essais exigés dans l'**ETAG 001**, plus développés que ceux de la norme **NF EN 15004-6**, concernent :

- cas des bétons supports C50/60 :
 - contrainte d'adhérence,
 - fonctionnement sous conditions de gel/dégel ;

- cas des bétons supports C20/25 :
 - contrainte d'adhérence,
 - sécurité de mise en œuvre dans un béton sec et humide,
 - fonctionnement sous des charges de longue durée,
 - effet de directions de mise en œuvre,
 - installation à la profondeur d'ancrage maximale,
 - injection correcte,
 - fonctionnement sous conditions de gel/dégel (voir le texte),
 - vérification de la durabilité du mortier (produits PC),
 - résistance à la corrosion des armatures (sauf si environnement est non agressif) ou les armatures non-corrodables.

4.2.5.2.2 Modes de rupture en traction et/ou cisaillement de l'ensemble constitué par une barre de béton armé ou une cheville métallique ancrée dans un bloc de béton (pour information)

Pour comprendre quels sont les calculs à effectuer pour dimensionner le scellement d'une barre ou d'une cheville, la façon dont les efforts se transmettent, il faut connaître les différents modes de rupture.

> Selon la résistance du bloc de béton, les performances du mortier de scellement, la longueur du scellement, le diamètre de la barre ou de la cheville et le type de sollicitation appliquée (traction, cisaillement...), les différents modes de rupture suivants peuvent se manifester :

- cas de barres rapportées ou de chevilles à scellement soumises à un effort de traction :
 - rupture de la barre,
 - glissement de la barre par rapport au mortier de scellement conduisant à son extraction,
 - glissement du mortier de scellement par rapport au béton conduisant à l'extraction de la barre entourée de son mortier de scellement (concerne normalement les scellements dans des bétons de **faible résistance**),
 - rupture du béton support en forme de cône (ne concerne, normalement, que les scellements de **faible longueur**).

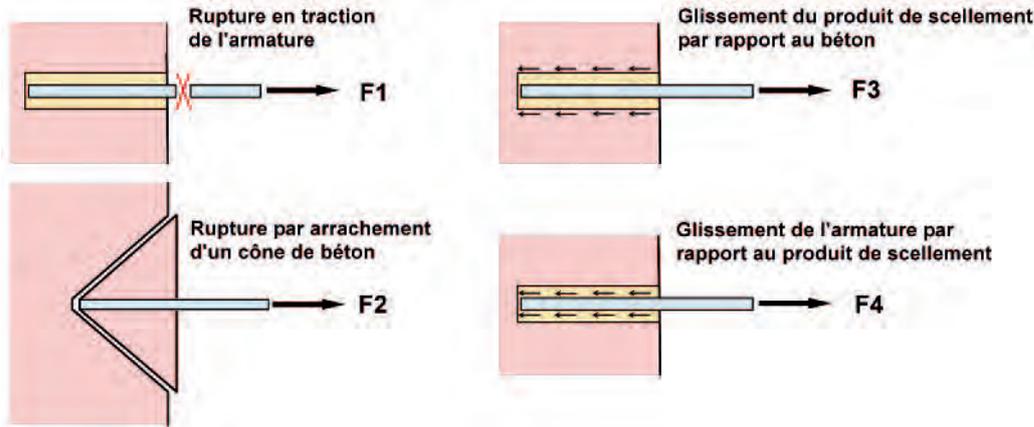


Figure n° 12 : modes de rupture

■ cas de chevilles à scellement soumises à un effort de cisaillement, ou combiné de traction et cisaillement (les essais sont effectués sur des chevilles non confinées et sur des chevilles confinées c'est-à-dire avec la présence d'une platine métallique sur laquelle s'appuie la tête de la cheville). Les différents modes de rupture décrits dans le **guide ETAG 001** sont les suivants :

- rupture du béton par effet de levier (concerne les chevilles courtes et rigides),
- rupture du béton du bord de la pièce (concerne les chevilles implantées trop près d'un bord libre),
- fendage du béton, soit lors de la mise en place de la cheville, soit lors de sa mise en charge (ce type de rupture survient si cheville est placée trop près d'un bord libre ou si le béton est fissuré).

4.2.5.3 Le fascicule de documentation FD P 18-823

NOTE : afin d'éviter des confusions avec l'Eurocode2, qui traite du calcul de la **longueur d'ancrage**, le fascicule de documentation n'utilise que le terme **longueur de scellement**.

4.2.5.3.1 Objectifs du FD P 18-823

La norme **NF EN 1504-6**, relative aux produits de scellement, utilise pour qualifier les produits un béton support performant (sensiblement de classe C45/55) et ne fournit aucune donnée sur le dimensionnement des longueurs de scellement. Le fascicule **FD P 18-823** traite du dimensionnement de la longueur de scellement **d'une barre d'armature de béton armé à haute-adhérence de classe Fe E 500 dans des bétons dont les classes de résistance sont comprises entre C20/25 à C50/60.**

Deux types de dimensionnement sont exposés, d'une part, lorsque les produits de scellement sont à base de liants hydrauliques et, d'autre part, lorsqu'il s'agit de produits de scellement à base de résines synthétiques. Ces deux types de produits ont des propriétés différentes (en particulier en matière de fluage) et les caractéristiques géométriques des trous pour scellement sont différentes.

4.2.5.3.2 Domaine d'emploi

ATTENTION : il est impératif de respecter scrupuleusement le **domaine d'emploi** de ce fascicule et des normes de référence. Il en est de même en cas de recours à un procédé bénéficiant d'un **ATE** conforme à l'**ETAG 001**.

Rappel : Le fascicule vise la reprise des charges statiques ou quasi-statiques. Il ne traite donc pas des chocs (par exemple, accrochage de systèmes antichute), des sollicitations dynamiques importantes, des effets sismiques... puisque les essais exigés par la norme **NF EN 1504-6** ne sont pas représentatifs de telles actions.

De même, il ne s'applique pas dans le cas où le trou dans le béton support est mouillé ou rempli d'eau...

NOTE : cela ne veut pas dire que de tels scellements sont à proscrire. Dans de tels cas, des essais spécifiques d'efficacité sont à prévoir et il faut respecter les dispositions constructives des textes en vigueur.

> Le fascicule ne vise que les **scellements directs dans le béton** (se reporter aux deux figures ci-après extraites du fascicule de documentation) à condition cependant que soient respectées les règles de l'**EC2** suivantes :

- les épaisseurs de recouvrement de béton, qui peuvent être augmentées suivant le procédé de forage des trous ;
- l'espacement entre les barres, qui peut aussi être majoré ;
- le renforcement transversal (présence d'armatures de couture) ;
- le transfert des efforts entre les éléments de la structure reliés par ces scellements ;
- etc.

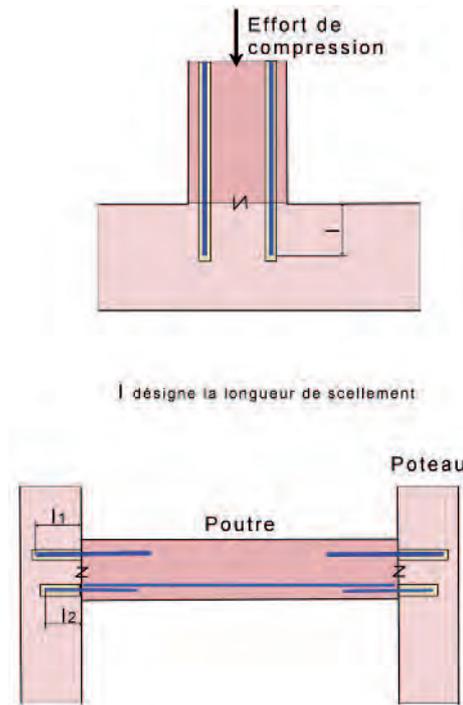


Figure n° 13 : exemple de scellement de barres
(les autres armatures et, en particulier, celles de couture ne sont pas représentées)

Les recouvrements de barres doivent obligatoirement être conformes aux dispositions de l'Eurocode 2 (EC 2) avec une longueur de scellement telle que la **longueur de recouvrement de calcul (l_0)** soit satisfaite tout en respectant la **longueur de recouvrement minimale** (se reporter à la figure ci-après et à la suite du texte pour la longueur minimale) et la présence d'armatures de couture.

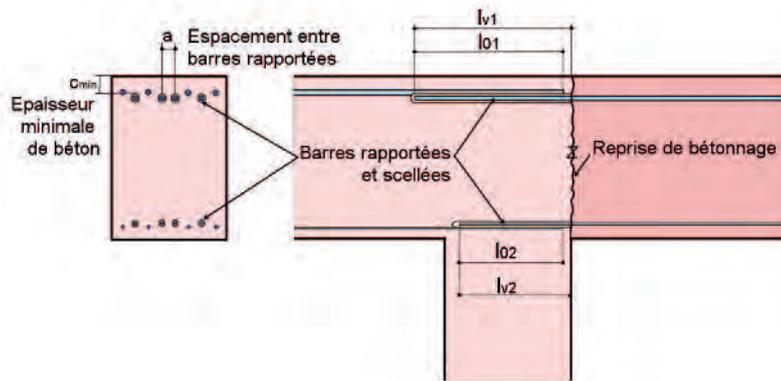


Figure n° 14 : exemple de recouvrement de barres (les armatures de couture ne sont pas représentées)

> Avec les notations de l'EC 2 et l'ETAG 001 :

- l_D la longueur de recouvrement des barres ;
- l_v la longueur de scellement de l'armature (profondeur du trou foré) qui peut être la profondeur nécessaire pour obtenir la longueur de recouvrement « l_D ».

ATTENTION, dans le cas de barres scellées tendues, il est indispensable que le ferrailage existant de la pièce de béton puisse participer à la reprise des efforts, c'est-à-dire sans risquer de voir se développer une rupture par arrachement d'un cône de béton. Un tel défaut a été une des causes du dramatique accident d'un des pylônes du télésiège de Luz-Ardiden le 1^{er} mars 1987.

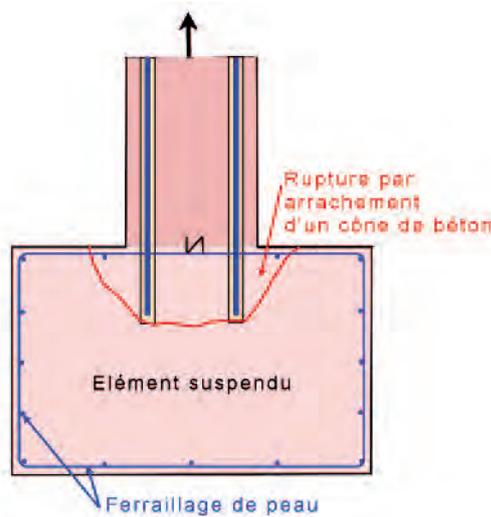


Figure n° 15 : schéma explicitant une erreur à ne pas commettre (absence d'armatures suspendues pouvant remonter le poids du béton de l'élément suspendu)

■ Cas de la manutention de pièces de béton non armée, de blocs de maçonnerie... :

Le risque d'arrachement peut être évité en forant les trous sur quasiment toute la hauteur de la pièce et en ne scellant les barres de suspension qu'en fond de trou. Bien entendu, un calcul justificatif doit être effectué avec les coefficients de **sécurité spécifiques** aux opérations de levage.

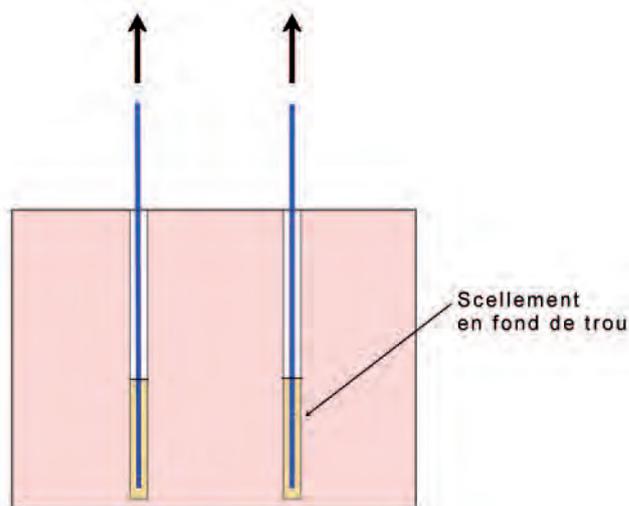


Figure n° 16 : dispositif de suspension d'une pièce en béton non armé, en pierre...

Rappel issu de l'article 92.4 du fascicule 65 du CCTG : les épingles de manutention sont à réaliser avec des aciers présentant des garanties de ductilité suffisante, ce qui est le cas des aciers de nuance FeE 235 et le diamètre intérieur de la boucle doit être $\geq 4\phi$ (ϕ représentant le diamètre de la barre). D'autres exigences figurent dans cet article.

4.2.5.4 Dispositions constructives

4.2.5.4.1 Diamètre du trou de scellement

> D'après le FD P 18-823, l'espace annulaire entre la barre et le trou doit au moins être égal à 2,5 fois le diamètre du plus gros grain du produit ou système de scellement. D'où les règles fixant le diamètre ϕ_2 du trou de scellement pour un diamètre de barre ϕ_1 (ou « d_s ») :

- Cas des produits et systèmes à base de liants hydrauliques :
 $\phi_1 + 14 \text{ mm} \leq \phi_2 \leq \phi_1 + 35 \text{ mm}$
- Cas des produits et systèmes à base de résines synthétiques :
 $\phi_1 + 2 \text{ mm} \leq \phi_2 \leq \phi_1 + 10 \text{ mm}$

4.2.5.4.2 Épaisseur minimale du béton au niveau du scellement et espacement minimal entre deux barres scellées

> D'après le FD P 18-823, les valeurs suivantes sont à respecter pour éviter de provoquer un éclatement du béton lors de la réalisation du forage du trou de scellement :

- Cas des forages avec une perceuse à percussion : $c_{\min} = 30 + 0,06 l_v \geq 2d_s$ (mm)
- Cas des forages avec une perceuse pneumatique : $c_{\min} = 50 + 0,06 l_v \geq 2d_s$ (mm)
- Espacement minimal entre deux barres scellées : $a = 4d_s \geq 40$ mm

Avec : d_s le diamètre de la barre.

**4.2.5.5 Rappel des règles de l'EC2
(longueurs d'ancrage et de recouvrement)**

NOTE : il s'agit d'un simple rappel des formules qui permettent, en particulier, de déterminer les longueurs de recouvrement des armatures de béton armé à haute-adhérence. Le cas des **armatures lisses** n'est pas traité par l'EC 2.

4.2.5.5.1 Longueur d'ancrage (article 8.4)

- la longueur d'ancrage droite est désignée par l_{bd} ;
- des armatures de coutures (armatures transversales) sont nécessaires vis-à-vis des risques de fendage du béton.

NOTE : l'article 8.5 traite de l'ancrage des armatures transversales comme celles de reprise de l'effort tranchant et autres.

> La contrainte ultime d'adhérence vaut :

$$f_{bd} = 2,25\eta_1\eta_2f_{ctd} \quad (1)$$

- f_{ctd} est la résistance de calcul en traction du béton,
- $\eta_1 = 1$ si les conditions d'adhérence sont bonnes,
- $\eta_1 = 0,7$ si elles sont mauvaises (partie supérieure des poutres et dalles de hauteur totale $h \geq 25$ cm et éléments coulés avec des coffrages glissants),
- $\eta_2 = 1$ si $\phi_1 \leq 32$ mm et $\eta_2 = (132-\phi_1)/100$ si $\phi_1 > 32$ mm.

Extension au cas des ronds lisses non traité par le fascicule et l'Eurocode 2 :

Si on se réfère aux règles **BAEL**, la contrainte d'adhérence vaut :

$$\tau_{su} = 0,6\psi_s^2 f_{bt} \text{ avec } \psi_s = 1 \text{ pour les ronds lisses et } 1,5 \text{ pour les armatures HA.}$$

Pour les armatures HA : $\psi_s^2 = 1,5^2 = 2,25$, il est possible d'en déduire que, normalement, la contrainte ultime d'adhérence pour des ronds lisses devrait valoir :

$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$$

Le guide d'emploi de l'Eurocode2 du Sétra recommande, dans un tel cas, d'appliquer le **BAEL** pour calculer τ_{su} et la longueur d'ancrage.

> La longueur d'ancrage de référence vaut :

$$l_{b,reqd} = \frac{\phi_1 \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_{bd}} \quad [2]$$

σ_{sd} est la contrainte de la barre dans la section à partir de laquelle on mesure l'ancrage (l'EC2 n'impose pas que l'ancrage soit total, c'est-à-dire calculé en supposant que l'armature travaille à sa contrainte limite).

ATTENTION : dans les pièces soumises à la flexion (simple ou composée), la contrainte de traction doit intégrer l'effort de traction supplémentaire généré par l'effort tranchant (article 6.2).

> Longueur d'ancrage de calcul :

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,reqd} \geq l_{b,min} \quad [3]$$

- $\alpha_1 = 1$ pour les barres droites tendues ou comprimées,
- α_2 , pour les barres tendues, est fonction du diamètre de la barre, de « c_d » (fonction espacement et enrobage des barres). Pour les barres comprimées $\alpha_2 = 1$,
- α_3 , pour les barres tendues, est fonction du confinement apporté par les armatures transversales non soudées (qui servent d'armatures de couture). Pour les armatures comprimées $\alpha_3 = 1$,

- α_4 , pour les armatures tendues, est fonction du confinement apporté par les armatures transversales soudées (cas des treillis soudés). Pour les armatures comprimées $\alpha_4 = 0,7$.
Ce coefficient ne joue pas dans le cas des armatures rapportées scellées ;
- α_5 , pour les armatures tendues, est fonction du confinement apporté par une compression transversale. Coefficient sans objet pour les armatures comprimées.

> **Longueur d'ancrage minimale $l_{b,min}$:**

- **Barres tendues :** $l_{b,min} \geq \max[0,3l_{b,rqd}, 10\phi_1, 100mm]$ [4]
- **Barres comprimées :** $l_{b,min} \geq \max[0,6l_{b,rqd}, 10\phi_1, 100mm]$ [5]

4.2.5.5.2 Longueur de recouvrement (article 8.7)

- la longueur de recouvrement est désignée par «lO» ;
- les recouvrements doivent normalement être décalés et ne pas être disposés dans des zones fortement sollicitées ;
- des espacements entre barres en recouvrement sont à respecter...

> **Longueur de recouvrement de calcul :**

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min} \quad [6]$$

- les valeurs de α_1 à α_5 sont données ci-devant pour les barres droites tendues ou comprimées,
- pour le calcul de α_3 un des coefficients de la formule est à modifier,
- la valeur de α_6 est fonction de l'espacement entre les recouvrements.

> **Longueur de recouvrement minimale $l_{0,min}$:**

- **Barres tendues ou comprimées :** $l_{0,min} \geq \max[0,3\alpha_6 l_{b,rqd}, 15\phi_1, 200mm]$ [7]

4.2.5.5.3 Armatures de couture (article 8.7.4)

- les armatures transversales existantes peuvent assurer la couture des armatures longitudinales si $\phi_1 < 20$ mm et la proportion des barres en recouvrement dans une section quelconque est $< 25\%$; si tel n'est pas le cas, il faut mettre en place une section d'armatures de couture égale à celle d'une des armatures en recouvrement (figure n°17) et respecter des dispositions constructives spécifiques qui sont différentes suivant que les armatures longitudinales sont tendues ou comprimées.

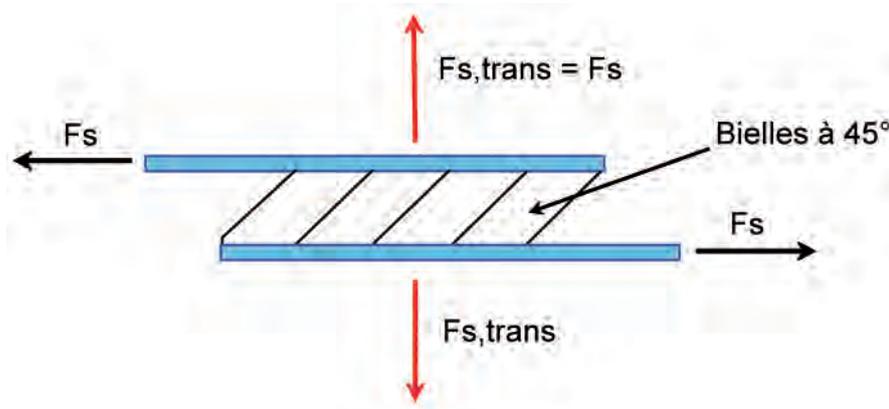


Figure n° 17 : nécessité des armatures de couture (l'effort à équilibrer est égal à l'effort dans les barres)

4.2.5.6 Détermination des longueurs de scellement de référence des barres rapportées

Les produits et systèmes de scellement relevant de la Norme **NF EN 1504-6** étant soumis à des essais sur des éprouvettes **en béton de résistance élevée (sensiblement de la classe C45/55)**, il faut, dans le calcul des longueurs de scellement, tenir compte de deux classes de bétons : bétons $< C40/50$ et bétons $\geq C50/60$, mais également du type de produit de scellement utilisé (H) ou (PC).

ATTENTION : avec les règles **BAEL** la longueur d'ancrage était, normalement, déterminée en supposant que l'armature était sollicitée à sa limite élastique (ancrage de l'armature pour l'effort ultime qu'elle pourrait subir et non pour l'effort qu'elle subit). Avec l'**EC 2**, la longueur d'ancrage se calcule pour l'**effort de traction que subit l'armature**.

NOTE : en réparation structurale, lorsque règnent des incertitudes sur les efforts qu'équilibrent des barres de béton armé et compte tenu des risques que peut faire courir à une construction, des ruptures de scellement ou de recouvrement, il est fortement conseillé de calculer les longueurs de scellement et de recouvrement en admettant que l'armature est tendue à sa limite élastique de calcul (f_{yd}).

4.2.5.6.1 Longueur de scellement de référence dans le cas des produits de scellement à base de liants hydrauliques (H)

> Cas des bétons supports des classes C20/25 à C40/50

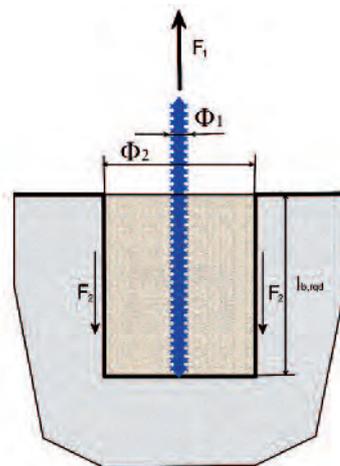


Figure n° 18 : schéma du scellement d'une armature de béton armé dans une réservation (les dimensions du trou ne sont pas à l'échelle sur ce croquis)

Dans le cas des bétons de faible résistance, le risque est celui de la rupture par **glissement du mortier de scellement par rapport au béton** conduisant à l'extraction de la barre entourée de son mortier de scellement. **L'effort de traction dans la barre (N_{Rd}) est celui auquel elle est soumise au début de son scellement**, cet effort doit être équilibré par les forces tangentielles F_2 développées sur la surface de contact entre le produit de scellement et le béton (surface du trou).

$$F_1 = N_{rd} \text{ à condition que la contrainte de traction reste inférieure à } \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = f_{yd}$$

$$F_2 = \pi \cdot \phi_2 \cdot l_{b,ref} \cdot f_{bd}$$

En égalant F_1 et F_2 on obtient la **longueur de scellement de référence** « $l_{b,ref}$ » :

$$l_{b,ref} = \frac{N_{rd}}{\pi \cdot \phi_2 \cdot f_{bd}} \quad (8)$$

Avec :

- N_{Rd} la force à reprendre, sachant que la contrainte dans l'armature doit rester inférieure à la contrainte limite de calcul (f_{yd}).
- f_{bd} la contrainte d'adhérence ultime de l'acier dans le béton donnée par l'expression (*).
- ϕ_1 le diamètre de la barre

- ϕ_2 le diamètre du trou
- $l_{b,ref}$ la longueur de scellement de référence

Avec la relation :
$$f_{bd} = \frac{2,25 \cdot \eta_1 \eta_2 f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} \quad (*)$$

Si les conditions d'adhérence sont bonnes, $\eta_1 = 1,0$. Si elles sont mauvaises¹⁰, $\eta_1 = 0,7$.

Si $\phi_1 \leq 32$ mm, $\eta_2 = 1,0$ et si $\phi_1 > 32$ mm, $\eta_2 = (132 - \phi_1)/100$.

■ Cas des bétons supports des classes \geq C50/60

Dans le cas des bétons de forte résistance, donc compacts, le calcul de la longueur de scellement peut se faire en considérant le **diamètre de la barre « ϕ_1 »** et non celui du trou comme pour les scellements avec des produits à base de résines synthétiques.

$$l_{b,ref} = \frac{N_{rd}}{\pi \cdot \phi_1 \cdot f_{bd}} \quad (9)$$

4.2.5.6.2 Longueur de scellement de référence dans le cas des produits de scellement à base de résines synthétiques (PC)

> La longueur de scellement de référence se calcule à partir de la formule suivante :

$$l_{b,ref} = \frac{N_{rd}}{\pi \cdot \phi_1 \cdot f_{bd}} \quad (10)$$

Avec :

- N_{rd} la force à reprendre, sachant que la contrainte dans l'armature doit rester inférieure à la contrainte limite de calcul (f_{yd}).
- ϕ_1 le diamètre de la barre
- f_{bd} la contrainte d'adhérence ultime de l'acier dans le béton donnée par l'expression ci-devant (*)
- $l_{b,ref}$ la longueur de scellement de référence.

ATTENTION, pour les produits à base de résines synthétiques, le **FD P 18-823** ne fait pas intervenir les deux classes de résistance de béton, comme pour les produits à base de liants hydrauliques : ceci a pour effet d'augmenter les longueurs de scellement de référence. Si besoin est, il est possible de se rabattre sur les systèmes de scellement relevant de **l'ATE 001**, voire de faire des essais lors d'une **épreuve d'étude**.

¹⁰ Se reporter à la figure 8.2 de l'article 8.4.2 de l'Eurocode 2 partie 1.

4.2.5.7 Détermination des longueurs de scellement et de recouvrement de calcul des barres rapportées

> Connaissant la longueur de scellement de référence « $l_{b,rqd}$ » calculée avec les formules (8 à 10) ci-devant, il est possible ensuite de calculer :

- la longueur d'ancrage de calcul « l_{bd} » au moyen de la formule (3) :

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

- la longueur de recouvrement de calcul « l_0 » au moyen de la formule (6) :

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

Ces longueurs de calcul doivent respecter les **longueurs minimales de scellement et de recouvrement** indiquées dans le paragraphe qui suit.

4.2.5.8 Détermination des longueurs de scellement et de recouvrement minimales

Ces **longueurs minimales** sont données par les articles 8.4 et 8.7 de l'EC 2 1-1. Cependant, le paragraphe 4 de la partie 5-1-2 du **guide d'agrément technique européen** relatif aux chevilles métalliques pour béton impose, pour les armatures rapportée et scellées dans des trous forés, de majorer ces longueurs par un **coefficient de 1,5**. Ce même coefficient est repris par le **FD P 18-823**. Il laisse cependant la possibilité de ne pas appliquer cette majoration si des essais spécifiques effectués dans des éprouvettes où le béton est fissuré ont été effectués.

> **longueur d'ancrage minimale $l_{b,min}$:**

- **Barres tendues :** $l_{b,min} \geq 1,5 \cdot \max(0,3l_{b,rqd}, 10\phi, 100mm)$ [11]

- **Barres comprimées :** $l_{b,min} \geq 1,5 \cdot \max(0,6l_{b,rqd}, 10\phi, 100mm)$ [12]

> **longueur de recouvrement minimale $l_{0,min}$:**

- **Barres tendues ou comprimées :** $l_{0,min} \geq 1,5 \cdot \max(0,3\alpha_6 l_{b,rqd}, 15\phi, 200mm)$ [13]

ATTENTION, il faut aussi s'assurer que les efforts transmis par les armatures ancrées sont bien repris, non seulement par le béton, mais aussi par les armatures existantes de la pièce concernée (**respect des longueurs de recouvrement et présence des armatures de couture**). Il faut également que les longueurs des différents forages soient modulées de façon à ne pas favoriser l'apparition d'un plan de rupture préférentiel. Ces vérifications indispensables peuvent conduire à augmenter **la longueur de scellement des armatures « l_v » (la profondeur des forages)**.

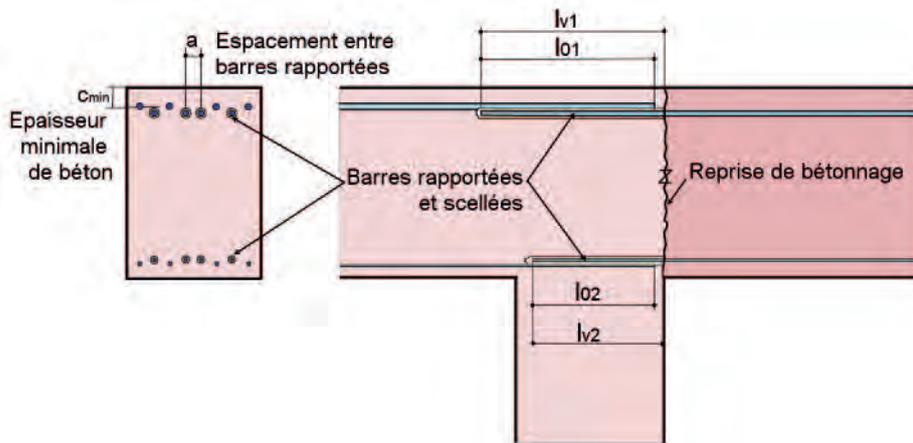


Figure n° 19 : exemple d'armatures rapportées (les armatures de couture ne sont pas représentées)

Avec :

- l_0 la longueur de recouvrement des barres ;
- l_v la longueur de scellement de l'armature (profondeur du trou foré), profondeur nécessaire pour obtenir la longueur de recouvrement « l_0 ».

4.2.5.9 Cas des armatures rapportée de très faible longueur

NOTE IMPORTANTE : ce point n'est pas traité dans le fascicule FD P 18-823. La démarche exposée ne doit pas être engagée sans avoir prité le conseil d'un spécialiste.

Il est parfois nécessaire de sceller des armatures rapportées de petit diamètre dans certaines pièces de béton de faible épaisseur (cas des connecteurs scellés dans une dalle de couverture lors de l'ajout d'un béton contrecollé...). Dans de tels cas, les profondeurs des forages sont limitées et les longueurs de scellement qui en résultent peuvent ne pas permettre de satisfaire totalement aux dispositions de l'EC 2 et du fascicule FD P 18-823 susvisés. La démarche proposée ci-après a pour but de fournir une esquisse de méthode de dimensionnement qui doit être **impérativement** validée par des essais.

Il est possible, dans de tels cas, avoir recours aux dispositions de l'**ETAG 001** puisque ce document vise les chevilles à scellement, en particulier celles constituées d'une tige filetée avec des longueurs de scellement courtes variant de **8 à 12d_s**.

Ces armatures étant scellées sur une faible longueur, il faut que le dimensionnement prenne en compte le risque de rupture par arrachement d'un cône de béton en sus des autres risques déjà évoqués précédemment.

> D'après l'ETAG 001, l'expérience actuelle sur le comportement des chevilles (pas des barres de béton armé) et dans le cas d'une rupture par arrachement d'un cône de béton en forme de pyramide à base carrée, montre :

- qu'il n'y a pas d'interaction entre deux chevilles isolées voisines si les distances suivantes sont respectées :
 - distance au bord de la pièce $C_1 > 1,5 \cdot h_{ef}$
 - distance entre chevilles $S_1 > 3 \cdot h_{ef}$.
- que les dimensions du cône de béton lors de la rupture valent :
 - $S_{cr,N} = 3 \cdot h_{ef}$
 - $tg\alpha = 1,5$ soit $\alpha = 62,6gr$ ou $56,3^\circ$

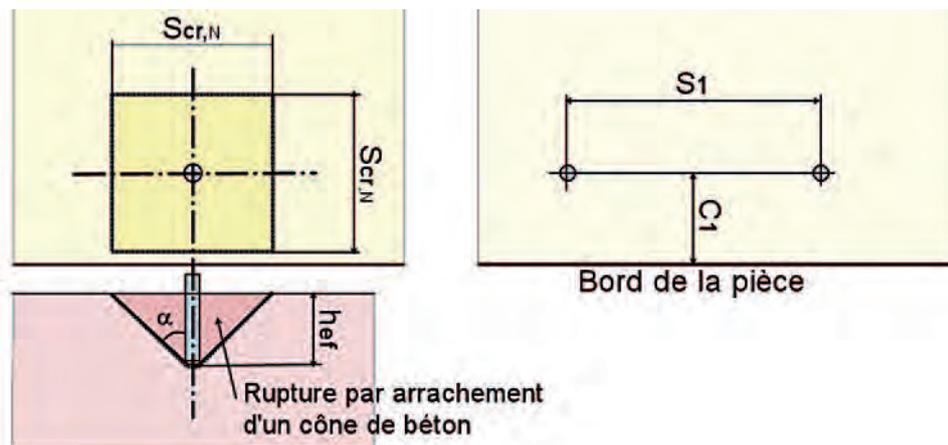


Figure n° 20 : modèle de rupture par arrachement d'un cône de béton issu de l'ETAG 001

> L'annexe B de l'ETAG 001 donne deux formules, tirées de l'expérience, donnant la charge de rupture moyenne dans du béton non fissuré et fissuré lors d'une rupture par arrachement d'un cône de béton :

■ cas du béton non fissuré : $N_{Ru,m} = 13,5 \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot f_{c,test}^{0,5}$

■ cas du béton fissuré : $N_{Ru,m} = 9,5 \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot f_{c,test}^{0,5}$

Pour faire les calculs, il faut connaître la **résistance du béton support**. On y parvient en prélevant, par carottage, des éprouvettes pour, d'une part, mesurer, par transparence, la vitesse du son dans le béton et, d'autre part, évaluer leur résistance à l'écrasement (le couple vitesse du son – résistance permet sur la partie d'ouvrage concernée, par auscultation dynamique, de repérer les zones d'iso-vitesse donc d'iso-résistance).

Cette annexe donne aussi la charge de rupture moyenne de l'acier : $N_{Ru,m} = A_s \cdot f_{u,test}$ ou f_{uk}

Il faut donc que la longueur de scellement soit telle que la charge de rupture par arrachement d'un cône de béton soit supérieure à la charge de rupture de l'acier (charge correspondant à un ancrage total). De plus, il faut aussi s'assurer de l'absence d'un risque de glissement-extraction (se reporter au paragraphe 4.2.5.6 ci-dessus).

> Bien entendu, ce calcul doit intégrer les coefficients de sécurité sur le béton et l'acier figurant dans l'annexe C de l'ETAG 001 :

■ Pour le béton : $\gamma_{Mc} = \gamma_c \cdot \gamma_2$

avec : $\gamma_c = 1,5$ (coefficient partiel de sécurité du béton) et $1 \leq \gamma_2 \leq 1,4$ (en fonction des résultats des essais de sécurité à la mise en œuvre).

■ Pour l'acier : $\gamma_{Ms} = \frac{1,2}{f_{yk} / f_{uk}} \geq 1,4$

La mise en œuvre de ces armatures rapportées de faible longueur nécessite de s'assurer sur le chantier, **par des essais d'arrachement**, du bien fondé du dimensionnement des scellements.

La **procédure** à suivre figure dans l'ETAG 001. Au cours des essais, la courbe charges-déplacements doit rester en croissance continue jusqu'à une charge-seuil et les déplacements rester dans les limites fixées.

L'appareillage à utiliser doit permettre de réaliser des essais dits : **non-confinés**, c'est-à-dire ne pas gêner la formation éventuelle des cônes de rupture. La figure ci-après donne le schéma d'un tel appareillage.

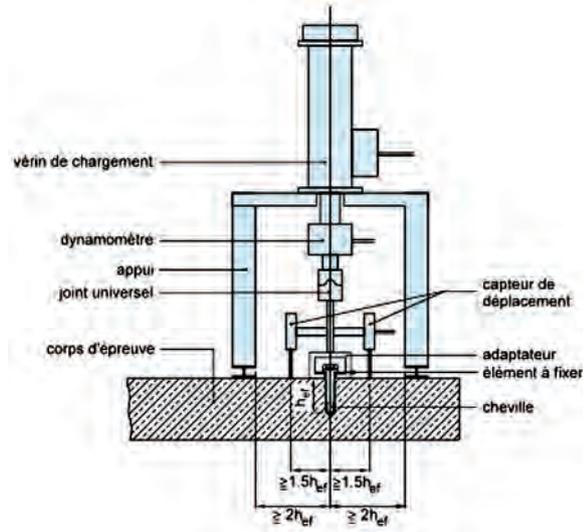


Figure n° 21 : schéma d'un appareillage d'essai (extrait de l'ETAG 001)

4.2.5.10 Compléments

Des avis techniques du CSTB peuvent compléter un ATE qui relève de l'ETAG 001. Par exemple, un avis du CSTB traite d'un système d'injection pour scellement par ancrage ou recouvrement d'armatures rapportées. Il s'agit d'un procédé constitué par des cartouches souples contenant une résine et un durcisseur complété par un embout mélangeur. Ce système permet de remplir complètement le forage dans lequel l'armature doit être scellée.

4.3.1 GÉNÉRALITÉS

> Il est rappelé (se reporter au paragraphe 3.3 du guide FABEM 1) que le choix des produits et matériaux est fonction :

■ de deux critères communs à tous les produits et matériaux :

- la spécificité du travail à exécuter (bâtiment, génie civil, réparation structurale ou non, exigences du maître d'ouvrage...),
- la protection de la santé, le respect des règles de sécurité, la protection de l'environnement ;

■ de critères spécifiques ; en effet, pour une fonction de réparation ou de renforcement exigée, plusieurs types de produits et de systèmes peuvent être utilisés (produits de scellement, de collage...).

Il appartient au marché de fixer la ou les familles de produits et systèmes utilisables, les caractéristiques et les niveaux de performance auxquelles doivent satisfaire ces produits et systèmes ainsi que les contraintes d'exécution de l'opération.

L'entrepreneur propose à l'acceptation du maître d'œuvre les produits ou systèmes capables de satisfaire les exigences du marché. Les produits et systèmes ne sont définitivement retenus qu'au vu des résultats satisfaisants de l'épreuve d'étude (si nécessaire) et de convenance. L'acceptation des produits admis à une marque de certification fait l'objet des règles spécifiques ci-après.

Sauf disposition contraire du marché, les produits bénéficiant du droit d'usage de la Marque NF (ou d'une marque équivalente) sont réputés conformes aux normes qui les concernent. Il n'est donc pas nécessaire de procéder à des essais d'identification, voire à des essais d'efficacité¹¹. Les autres contrôles de la liste ci-après restent applicables, y compris les prélèvements conservatoires.

Le même principe peut être applicable aux produits et systèmes bénéficiant du marquage CE et d'un système d'attestation de conformité du niveau 2+ au minimum.

Rappel : l'annexe ZA des normes harmonisées fixe le ou les niveau(x) des systèmes d'attestation de conformité entre 4 et 1+, le niveau le plus élevé.

Pour les produits relevant d'un niveau inférieur, le marché peut prévoir que des essais peuvent être effectués sur les produits ou systèmes lors de leur réception.

Bien entendu et quel que soit le marquage et le niveau de certification, en cas de doute sur la qualité des produits ou systèmes livrés, le maître d'œuvre fait effectuer les essais permettant de confirmer ou d'infirmer leur conformité¹².

¹¹ Dans le cas où les conditions climatiques de mise en œuvre des produits sur le chantier diffèrent nettement de celles de la norme, il est nécessaire de faire des essais spécifiques lors de l'épreuve d'étude.

¹² Rappel : dans un tel cas, les dispositions des clauses administratives générales et particulières du marché s'appliquent : si le produit ou système n'est pas conforme, il est stocké en attendant les résultats d'une contre-épreuve. Si la non-conformité est confirmée, il est évacué du chantier.

4.3.2

CHOIX DES PRODUITS ET MATÉRIAUX NÉCESSAIRE AU REMPLACEMENT OU À L'AJOUT D'ARMATURES PASSIVES INTERNES AU BÉTON

> **Le remplacement ou l'ajout d'armatures passives internes au béton fait appel aux produits et matériaux suivants :**

- des aciers pour béton armé (armatures de béton armé traditionnelles ou inoxydables) visés par les normes en vigueur ou des armatures en matériaux composites ;
- des mortiers ou des bétons de réparation ou de renforcement qui peuvent être mis en place manuellement ou coulés en place dans des coffrages (avec ou sans pression) ou projetés. Les produits et systèmes (prêts à l'emploi) de réparation structurale relèvent de la norme **NF EN 1504-3**. Les bétons traditionnels relèvent de la norme **NF EN 206-1, du fascicule 65 du CCTG...** ;
- des produits ou systèmes de produits de protection contre la corrosion des armatures¹⁹ (norme **NF EN 1504-7**) ;
- des produits ou systèmes de produits d'injection du béton (norme NF EN 1504-5) ;
- des produits ou systèmes de produits de collage de béton frais sur béton durci (norme **NF EN 1504-4**) ;
- des produits et systèmes de produits pour le scellement (ancrage) des armatures passives (norme **NF EN 1504-6** ou **ETAG 001**) ;
- des produits ou systèmes de produits de protection de surface pour le béton (norme **NF EN 1504-2**) ; ...

Il est nécessaire que les adhésifs utilisés lors de la mise en œuvre d'un **béton contrecollé** aient une **DPU** comprise entre 4 et 6 heures compte tenu des difficultés de mise en place de la colle au milieu du ferrailage, d'un bétonnage retardé...

*Tous les critères de choix ayant été développés dans le **paragraphe 3.3** du **guide FABEM 1** et comme **l'annexe 1** du même guide liste tous les documents de référence correspondants, il n'a pas été jugé utile de recopier dans le présent guide les critères de choix des produits et matériaux listés ci-devant, **sauf pour les matériaux composites**.*

*Il est simplement rappelé qu'il faut consulter les normes, les fiches des produits pour s'assurer que ces derniers ont bien les qualités pour satisfaire **aux conditions spécifiques d'utilisation sur le chantier**.*

*Cependant, comme depuis la parution du **guide FABEM 1**, des évolutions ont eu lieu, **l'annexe** au présent guide liste tous les documents de références avec leur date de valeur. La mise à jour correspond sensiblement à la date de mise en ligne du présent guide.*

¹⁹ L'arrêté du 16 février 2010 a rendu le marquage CE applicable aux produits de protection contre la corrosion des armatures et l'avis du 27 février 2010 a fixé la liste des organismes notifiés.

Les propriétés **des armatures en matériaux composites** telles que les «joncs» (barres lisses de faible diamètre) figurent dans les fiches techniques des fabricants (certains systèmes de réparation et/ou de renforcement à base de matériaux composites relèvent d'avis techniques). Les caractéristiques que doivent présenter ces produits sont définies par le **bureau d'études** chargé du projet de réparation et/ou renforcement, puis elles sont intégrées **au marché**. Les règles de calcul relèvent des mêmes hypothèses que celles relatives aux armatures passives en matériaux composites collées à la surface du béton.

Il est rappelé que **les règles de calcul des matériaux composites collés** figurent dans **les avis techniques du CSTB** et sont basés sur les principes définis dans **les recommandations provisoires de l'AFGC** parues en 2007 et 2011.

> **Il est rappelé l'importance d'avoir recours à des produits ou matériaux faisant l'objet de marques de qualité telle que les Marques NF. C'est le cas :**

- des produits de réparation et de protection du béton, qui font l'objet d'une **Marque NF : Produits spéciaux pour constructions en béton hydraulique** (règlement **NF 030**) ;
- des aciers pour béton armé et des armatures (prêtes à l'emploi), qui font l'objet d'une **Marque NF** par l'intermédiaire d'une certification de l'AFCAB.

NOTE : le règlement de la **Marque : Produits spéciaux pour constructions en béton hydraulique** couvre l'ensemble des produits de protection et réparation du béton. Cela ne signifie cependant pas que l'on peut trouver sur le marché un panel complet de tous les types de produits de réparations marqués NF. En effet, faut-il encore que les fabricants aient fait une démarche volontaire pour bénéficier de cette marque !

ATTENTION, il est rappelé que les produits de scellement à base de résines peuvent voir leurs propriétés modifiées à la baisse mais aussi à la hausse lorsque la température et l'humidité changent. La **température de transition vitreuse** d'un produit de scellement (**Tv [Tg en anglais]**) peut donc évoluer au cours de son vieillissement. Cependant, le changement d'état du produit (ramollissement) lorsque la température atteint Tv ne marque pas nécessairement la limite du cisaillement qu'il peut subir.

NOTE : la température de transition vitreuse d'un produit est cependant un indicateur très fiable de la qualité de celui-ci. Ainsi, en laboratoire, la mesure de Tv permet de s'assurer que les proportions préconisées du mélange (base et durcisseur) ont été bien respectées. Sur le chantier le contrôle de la polymérisation se fait par la mesure de la dureté Shore D.

> **Temps d'utilisation d'un produit après mélange :**

Sur le **chantier**, des paramètres tels que : le volume de produit après mélange, fonction du «kit» livré (récipients contenant les composants prédosés), les conditions thermiques et hygrométriques du site, l'humidité et la température du support..., jouent sur le **temps** pendant lequel un produit après mélange peut être mis en œuvre. Ce «**temps d'utilisation réel**» ne peut être évalué que dans le cadre d'une **ÉPREUVE de CONVENANCE** et à condition que les paramètres susvisés ne changent pas du tout au tout.

ATTENTION, dans les normes de la série **NF EN 1504-**** figurent divers termes très voisins pour qualifier **un temps d'utilisation après mélange : le délai maximal d'utilisation (DMU), la durée pratique d'utilisation (DPU), la durée de vie en pot**. Ces termes se rapportent en fait à un **essai de durée de vie en pot** (pot life) effectué en laboratoire sur un volume de produit après mélange imposé (différents pour les produits à base de liants hydrauliques et ceux à base de liants polymères) et pour une gamme de températures donnée (21°C, maximale et minimale). Dans cet essai, la **propriété mesurée** dépend du type de produit (produit à base de liants hydrauliques [H] ou produit à base de liants polymères [P]), de la nature du produit (époxy, polyuréthane...) et même de l'usage auquel il est destiné (scellement, collage, injection...). **Cet essai fait partie des différents paramètres à mesurer pour identifier le produit. Il n'a pas pour but de fixer le «temps d'utilisation réel» susvisé.**

NOTE : aux divers termes susvisés liés à l'identification s'ajoute le **temps d'utilisation** ; ce terme, qui n'apparaît que dans la norme **NF EN 1504-5** (produits d'injection), est fixé forfaitairement à 70% du délai maximal d'utilisation (DMU).

NOTE : les notices des fabricants fournissent souvent la **durée de vie en pot** des kits qu'ils élaborent pour plusieurs niveaux de température ambiante ainsi que les températures limites d'emploi (la minimale et la maximale).

Le lecteur est invité à consulter **les paragraphes 3.4 et 3.5 du guide FABEM 1** qui définissent les exigences imposées lors de ces opérations.

4.5.1 GÉNÉRALITÉS

Le présent paragraphe reprend intégralement le texte du paragraphe 3.6.1 du guide FABEM 1 (généralités).

Dans le cadre de la **procédure correspondant aux travaux à réaliser**, l'**entrepreneur** propose à l'acceptation du **maître d'œuvre** le matériel qu'il compte utiliser dans le respect des dispositions du **marché** et conformément aux stipulations des documents rendus contractuels (normes, fascicules du CCTG, guides techniques...) et des fiches techniques des fabricants¹⁴.

L'état et le bon fonctionnement du matériel doivent être contrôlés par l'**entrepreneur** qui s'assure également de la présence **des fiches techniques et des carnets d'entretien, voire des procès-verbaux de tarage** (manomètres, dispositifs de pesage...). Il présente ces documents **au maître d'œuvre** sur sa demande ou dans les conditions prévues par le **marché** ou les documents rendus contractuels.

> **Les différents matériels à utiliser concernent :**

- la préparation du support (le béton) et des armatures existantes ;
- la préparation des produits et systèmes de produits (mortiers, bétons, colles, produits de scellement...) ;
- la mise en œuvre des armatures et des produits et systèmes de produits (mortiers, bétons, colles, produits de scellement...).

Avant tout commencement d'une réparation, si nécessaire, une protection contre le **vent, le soleil ou la pluie** est à mettre en place. Ces exigences sont nécessaires lors de l'exécution de soudures entre des armatures de béton armé, lors de la mise en place des mortiers et bétons et pendant le durcissement de ces derniers.

4.5.2 MATÉRIELS DE PRÉPARATION DU SUPPORT BÉTON ET DES ARMATURES EXISTANTES

4.5.2.1 Généralités – Exigences de résultats

La **préparation du support (béton)** a pour but d'obtenir une surface apte à une reprise de bétonnage en conformité avec le **DTU 21** (article 5.3) ou le **fascicule 65 du CCTG**¹⁵ (article 84.3). Les exigences relatives aux caractéristiques de la surface sont fixées par le **marché**. En cas d'encollage de la reprise de bétonnage, peuvent s'ajouter des exigences complémentaires fonction du produit utilisé.

¹⁴ Le **marché** vise en tant que de besoin les fiches techniques de fabricants, les normes, les fascicules du CCTG, les guides techniques en totalité ou en partie... **Rappel**, ce n'est pas une simple liste, il faut faire des choix qui s'imposent à l'**entrepreneur**.

¹⁵ **ATTENTION**, le nouveau fascicule 65 de 2008 remplace le fascicule 65A visé dans les guides STRRES FABEM 1 à 5 rédigés avant sa parution.

La préparation des armatures existantes a pour but d'obtenir que le ferrailage de remplacement et/ou le ferrailage additionnel soient conformes aux règles de l'art.

En fin de travaux, s'il est prévu la mise en place d'un produit ou d'un système de produits de protection sur tout ou partie de la surface structure réparée ou renforcée, une nouvelle préparation de la surface du béton est à réaliser (se reporter au **guide FABEM 4**).

L'entrepreneur doit définir **les techniques** qu'il compte utiliser pour enlever le béton dégradé et dégager les armatures endommagées, pour préparer le support béton et les armatures conservées ainsi que le matériel nécessaire, les dispositifs de protection et les moyens de contrôle prévus, ainsi que les conditions de recyclage des produits utilisés (par exemple, en cas de sablage des armatures...). Les lieux de stockage ou d'évacuation des gravais doivent être précisés.

4.5.2.2 Matériels de préparation du support béton

Le lecteur est invité à se reporter, d'une part au paragraphe 4.2.1.2.2 du **guide FABEM 1** qui détaille les outils et matériels utilisables avec leur domaine d'utilisation, leurs avantages et inconvénients et les résultats à obtenir et, d'autre part au paragraphe 4.2 du **guide FABEM 4** si un **d'un produit ou d'un système de produits de protection** est mis en œuvre en fin de travaux.

4.5.2.3 Matériels de préparation des armatures

Le lecteur est invité à se reporter au paragraphe 4.2.1.2.3 du **guide FABEM 1** qui détaille la façon de dégager, décaper, redresser et protéger les armatures endommagées par la corrosion. Sachant que ces armatures sont à remplacer si leur section résistante est fortement réduite par la corrosion, si elles sont trop déformées, fortement tordues, endommagées...

Un matériel adapté au dépliage des armatures peut être utilisé lorsque des armatures lisses (de type Fe E 235), voire certaines armatures à haute-adhérence (toutes ne sont pas pliables-dépliables) sont pliées mais reconnues comme pouvant être dépliées (absence de fissures, criques...). Cependant, il est nécessaire que le matériel puisse être introduit dans le ferrailage existant. Une fois redressées, faut-il encore que les caractéristiques mécaniques et géométriques des barres soient acceptables !

Pour juger si des armatures déformées sont redressables et si, une fois redressées, leurs caractéristiques mécaniques et géométriques permettent leur réemploi, **il est conseillé de faire appel à un laboratoire spécialisé** (une liste des laboratoires associés à l'**AFCAB** est disponible sur le site de l'association). Dans le cas où cette expertise n'est pas envisageable, **il faut couper toutes les parties endommagées et mettre en place de nouvelles armatures pour reconstituer le ferrailage.**

4.5.3 MATÉRIELS DE PRÉPARATION ET DE MISE EN ŒUVRE DES PRODUITS ET MATÉRIAUX

Le lecteur est invité à se reporter au paragraphe 3.6.2 du **guide FABEM 1** qui liste les matériels à utiliser pour **la préparation des différents produits et matériaux** mais sans rentrer dans tous les détails. En effet, la préparation des produits et matériaux traditionnels fait l'objet de normes, du **DTU 21** et du **fascicule 65 du CCTG**, voire de stipulations complémentaires **du marché**. La préparation des produits prêts à l'emploi est précisée **dans les fiches techniques**.

Les produits et systèmes de produits destinés aux réparations structurales et/ou renforcements structuraux **imposent pour leur mise en œuvre**, selon qu'ils sont à base de liants hydrauliques modifiés ou non, à base de liants organiques et selon la quantité à mettre en place, **un certain type de matériel pour une application qui peut être manuelle ou mécanisée**.

Il est rappelé que **la fiche technique d'un produit ou système prêt à l'emploi** indique quels sont **les différents outils et matériels** nécessaires à sa mise en œuvre ainsi que les réglages nécessaires de ces matériels (par exemple, préparation : humidification ou gobetis d'accrochage..., application : truelle et taloche ou machine à projeter..., finition : taloche, pulvérisateur de produit de cure...).

La fiche peut indiquer également **certaines astuces d'exécution** et quelles sont **les précautions à prendre** afin d'éviter les accidents, les intoxications, les pollutions...

Les matériaux de construction classiques, tels que les armatures de béton armé, les bétons, sont mis en place traditionnellement en respectant les règles de mise en œuvre, soit du **DTU 21**, soit du **fascicule 65 du CCTG** et des stipulations complémentaires **du marché**. En conséquence, les matériels nécessaires à la mise en œuvre de tels matériaux ne font pas l'objet de développements spécifiques dans le présent document.

> Les différents matériels à utiliser sont tous décrits dans trois des sous-paragraphes du paragraphe 3.6.4 du guide FABEM 1 auquel le lecteur est invité à se reporter :

- matériels de mise en œuvre de produits et systèmes de réparation des bétons appliqués en fortes épaisseurs ;
- matériels de mise en œuvre de produits et systèmes de collage structural des bétons ;
- matériels de mise en œuvre d'armatures passives additionnelles internes au béton ;
- matériels de mise en œuvre de produits et systèmes de scellement des armatures de béton armé.

4.6.1 GÉNÉRALITÉS

Ce paragraphe est une adaptation du paragraphe 4.1 du **guide FABEM 1**.

> **La réparation et/ou le renforcement d'une structure par armatures passives additionnelles internes au béton présente un caractère structural ce qui impose le respect des exigences générales listées ci-dessous :**

- l'état de la structure sur les plans chimique, électrochimique et physique doit être connu, les causes des désordres doivent être identifiées, les méthodes de réparation ou de renforcement doivent être fixées ; enfin, les contraintes d'accès aux ouvrages, leurs étaitements provisoires éventuels et les contraintes de mise en œuvre des matériaux doivent être définies par l'étude préalable. En outre, **l'entrepreneur** doit mettre en place **les moyens nécessaires** pour assurer de façon efficace l'exécution des travaux ;
- **l'entrepreneur** doit prendre en compte **les contraintes** que lui impose **le marché** concernant les emprises de chantier et la protection contre toute nuisance, pollution ou contamination, tant des parties de l'ouvrage laissées en l'état, que des tiers et d'autres ouvrages. **Le marché** peut aussi, **si cela est compatible avec les travaux prévus**, imposer le maintien de l'ouvrage en exploitation pendant tout ou partie des travaux avec les conséquences qui en résultent, d'une part sur le plan de la sécurité des tiers et du personnel et, d'autre, part sur l'exécution des travaux (vibrations, déformations....) ;
- avant la mise en œuvre des produits et systèmes, **l'entrepreneur** doit préparer le support pour obtenir l'état requis (propreté, résistance, adhérence...) ;
- l'importance et le phasage des travaux d'enlèvement du béton et des armatures ainsi que leurs incidences sur **la stabilité de la structure** doivent être prises en compte et donc faire l'objet d'une étude et, si besoin est, de calculs. **Une procédure d'exécution**, à porter à la connaissance de tous les intervenants, doit être tirée de cette étude avec **la consigne impérative de saisir le chargé d'étude** si les travaux ne peuvent être exécutés suivant la procédure prévue (modification de l'ordre des démolitions, volume de démolition à augmenter, ferrailage en place différent de celui des plans dits d'exécution...), voire dans le cas où il serait impossible de respecter la procédure. En effet, **ces opérations, si elles concernent des surfaces et volumes importants, peuvent mettre en péril la stabilité de la structure** (matériel de démolition inadapté, réduction drastique des sections résistantes, absence d'étalement provisoire...) ;
- **en cas de renforcement, le béton et les armatures ajoutés doivent participer à la reprise des efforts appliqués à la structure**. Cette participation, suivant les exigences **du marché et des études** effectuées, concerne, soit uniquement la reprise des charges d'exploitation, soit à la fois la reprise des charges permanentes et des charges d'exploitation. Il peut en résulter la mise sur cintre de la structure, des opérations de vérinage... ;
- **les contraintes environnementales** qui règnent au moment des travaux doivent être prises en compte par **l'entrepreneur** afin d'obtenir les conditions requises (température, hygrométrie, vitesse du vent...) pour l'application des produits et systèmes. Si besoin est, **des protections temporaires sont à mettre en place**.

> La réparation et/ou le renforcement d'une structure par armatures passives additionnelles internes au béton comportent normalement les trois phases principales suivantes (chaque phase pouvant comporter plusieurs opérations unitaires) :

- la préparation de l'opération ;
- la préparation du support en béton et des armatures ;
- la conduite de l'opération.

4.6.2 PRÉPARATION DE L'OPÉRATION

> Le marché demande à l'entrepreneur de proposer à l'acceptation du maître d'œuvre la procédure et le cadre du document de suivi relatifs à la réalisation de l'opération qui comporte :

- la préparation du support en béton et des armatures ;
- la mise en place des armatures à remplacer et/ou à ajouter,
- la mise en œuvre du mortier ou du béton ainsi que les opérations connexes ;
- les contrôles à effectuer (contrôle interne)...

Ces documents donnent également les techniques, le personnel ainsi que les moyens et produits à mettre en œuvre.

Ces propositions seront ensuite validées par l'épreuve de convenance correspondante qui peut être précédée par une épreuve d'étude sur les produits (par exemple : lorsque les produits normalisés ne satisfont pas à l'utilisation prévue et qu'il faut les adapter).

L'ensemble des opérations liées aux trois phases est effectué conformément aux dispositions de la procédure correspondant aux travaux à exécuter, qui reprend les exigences du marché, des normes associées, de la fiche technique du produit et des règles de l'art (fascicules du CCTG, DTU...). Le document de suivi correspondant aux travaux à exécuter est complété au fur et à mesure du déroulement des travaux.

4.6.3 PRÉPARATION DU SUPPORT BÉTON ET DES ARMATURES

Ce paragraphe est une adaptation du paragraphe 4.2 du guide FABEM 1.

4.6.3.1 Le relevé des défauts du support en béton et des armatures

Le **marché** impose sur le chantier un **relevé contradictoire de l'état du support**, même si un **relevé des défauts** doit normalement déjà figurer dans **les pièces du marché**. Ce **relevé contradictoire de l'état du support** permet, en marquant et en métrant les défauts du béton, les fissures, l'état des armatures..., de **contrôler le relevé du marché** et de fixer définitivement, après **l'épreuve de convenance**, les techniques de préparation du support à mettre en œuvre.

Si le **diagnostic et l'expertise préalable** n'ont pu être effectués rigoureusement, le **marché** doit fixer la **consistance des investigations et études** à entreprendre avant tout travaux. Dans un tel cas, il est conseillé de mettre **le diagnostic en tranche ferme et les travaux en tranche conditionnelle**, compte tenu des incertitudes sur les méthodes à appliquer et les quantités à mettre en œuvre.

4.6.3.2 Préparation du support béton et des armatures

4.6.3.2.1 Généralités

Les travaux de réparation ou de renforcement d'un ouvrage en béton armé nécessitent des précautions pour ne pas mettre en jeu la sécurité de la structure. Ces précautions sont tout particulièrement à redoubler dans le cas d'un ouvrage en béton précontraint, car, lors du repiquage et de l'enlèvement du béton, la section résistante diminue mais la force de précontrainte reste constante.

Le **marché** peut imposer la mise en place d'un **établi** si les études préalables en ont montré la nécessité. Dans ce cas, il appartient à l'**entrepreneur** de proposer à l'acceptation du **maître d'œuvre** une solution d'établi et les justifications correspondantes en fonction de la technique de purge du béton endommagé et de dégagement des armatures retenue. L'établi doit permettre d'intervenir pour purger le béton et dégager les armatures

En l'absence de clause dans le **marché**, l'**entrepreneur** propose à l'acceptation du **maître d'œuvre** la technique de purge du béton endommagé et de dégagement des armatures et, si nécessaire, une solution d'établi et les justifications correspondantes.

Il est rappelé que le **marché** définit la **qualité** que doivent présenter le **support béton et les armatures**.

> **La préparation du support béton et des armatures comprend :**

- la préparation du support béton, comprenant trois opérations :
 - le nettoyage (élimination de la poussière, des matériaux décollés, des agents contaminants...),
 - le repiquage du béton lorsque la profondeur d'attaque ne dépasse pas 15 mm,
 - l'enlèvement du béton lorsque la profondeur d'attaque dépasse 15 mm.

Dans le cas où **les armatures sont corrodées**, l'importance de la préparation doit tenir compte de la profondeur de carbonatation et des profils de concentration des chlorures et autres contaminants (après réparation et diffusion des contaminants restants, ces produits doivent rester nettement en dessous des taux critiques, sauf dans le cas où un traitement électrochimique est mis en œuvre) ;

- la préparation des armatures en place dégagées ;
- le nettoyage des surfaces juste avant le bétonnage (après préparation du support et des armatures et le remplacement des armatures endommagées et/ou l'ajout d'armatures de renfort) ;
- les exigences particulières liées à la nature des produits de réparation ou de protection.

> **Le marché peut imposer mais aussi interdire certaines des méthodes de préparation du support béton et des armatures en fonction des avantages ou des risques qu'elles présentent :**

- **pour le personnel** : la projection d'abrasifs à sec, le décapage à l'eau à haute pression nécessitent de prévoir des équipements de protection individuelle agréés ;
- **pour l'environnement** : la projection d'abrasifs à sec impose de prévoir le recueil des déchets polluants ;
- **pour le béton et les armatures** : par exemple, les marteaux-piqueurs provoquent des déformations du ferrailage, une microfissuration du béton ; de plus, l'état de surface obtenu nécessite un traitement supplémentaire pour obtenir la rugosité et la propreté souhaitées...

REMARQUE : la norme harmonisée **NF EN 1504-10** traite dans sa partie normative et dans son annexe A informative **des techniques de préparation du support béton et des armatures et des exigences à satisfaire. La norme homologuée NF P 95-101** (Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - Reprise du béton dégradé superficiellement) donne dans son article 5.3 et dans **le tableau n°1** les différentes méthodes de préparation du support et des armatures. Cependant, **les exigences de résultat de ces deux normes ne sont quasiment pas chiffrées** sur la qualité **du support béton** à obtenir et, pour **les armatures**, les deux normes visent surtout **un contrôle visuel**.

La partie du présent guide sur les contrôles donne des indications sur la façon de procéder pour obtenir des surfaces de référence.

Des informations sur les techniques de préparation des supports (béton et armatures) sont disponibles dans le **guide FABEM 1** et le **guide FABEM 4**.

4.6.3.2 Préparation du support béton



Photo n° 8 : préparation du support béton et des armatures au pont de Limay (crédit photo D. Poineau)

> **La préparation du support béton doit permettre d'obtenir la qualité requise :**

1. Avant la réalisation des travaux de réparation et/ou renforcement : comme il s'agit ici d'une surface qui doit être apte à une reprise de bétonnage, il suffit d'appliquer les textes de références :

- le DTU 21 (article 5.3) ;
- le fascicule 65 du CCTG (article 84) ;
- les recommandations professionnelles de 2001 pour l'exécution des reprises de bétonnage mises au point par le CEBTP, la FFB et le Sétra (recommandations visées par le DTU 21 et le fascicule 65).

Le tracé de la reprise doit tenir compte de la direction des contraintes qui s'exercent sur lui. Ce plan doit être normal ou au plus incliné à 45° sur la direction des tractions dues à la flexion et le cisaillement.

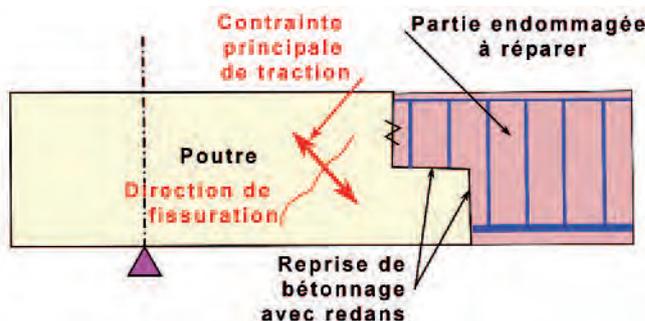


Figure n° 22 : Principe d'une reprise de bétonnage avec redans

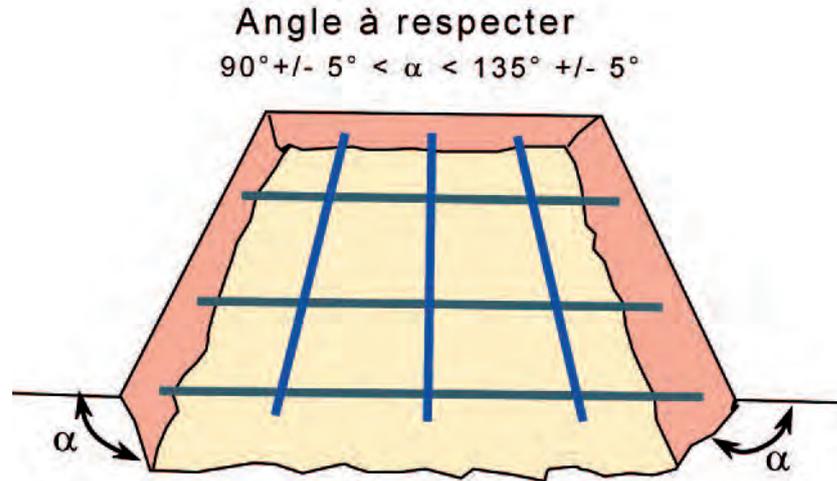


Figure n° 23 : dispositions à respecter pour le dégagement des armatures

Au minimum, la surface de reprise doit être propre et rugueuse avec des aspérités d'au moins 3 mm et il ne doit pas y avoir, sur celle-ci et sur les armatures, d'eau libre, de glace, de givre au moment du bétonnage. Lors de l'enlèvement du béton, il faut adapter l'intensité de l'action du matériel employé pour éviter de fragiliser le béton à proximité de la surface de reprise par des microfissures.

Pour améliorer la liaison entre l'ancien béton âgé et le nouveau, il est souhaitable de sceller dans le béton ancien de la surface de reprise des armatures de faible diamètre (≤ 10 mm). Il est aussi possible de prévoir l'emploi de résine (béton contrecollé) mais, cette technique est d'un emploi délicat.

2. Mais aussi, après la réalisation des travaux, par exemple, pour :

- satisfaire à des tolérances géométriques et/ou à des exigences d'aspect ;
- respecter les épaisseurs d'enrobage fixées par les textes en vigueur compte tenu des classes d'exposition en fonction des actions dues à l'environnement ;
- permettre l'exécution d'autres opérations comme un traitement de surface (revêtement de protection...).

NOTE : les valeurs limites d'enrobage des armatures de béton armé (mais aussi des armatures de précontrainte) sont fonction **des règles de mise en œuvre en vigueur à l'époque de la construction**. Il n'est donc pas toujours possible de les augmenter, mais il est toujours possible de prévoir l'application à la surface du béton d'un produit de protection ou d'un système de produits de protection adapté à l'agressivité de l'environnement.

> **Les tolérances géométriques et les exigences d'aspect du gros œuvre sont données par les textes de référence que sont le DTU 21 et le fascicule 65 du CCTG.**

- **dans le domaine du bâtiment, l'article 7 du DTU 21** fixe les tolérances des poteaux, des murs, des parements...
- **dans le domaine du génie civil, le fascicule 65 du CCTG** fixe les tolérances à respecter dans les chapitres suivants :
 - n°5 : les tolérances sur les parements, parois et surfaces non coffrées,
 - n°16 : les tolérances sur l'ouvrage fini.

Pour la texture et la teinte, **les documents particuliers du marché (DPM)** doivent faire référence au fascicule de documentation **FD P 18-503**.

Il est rappelé que, si d'autres travaux sont à réaliser après la réparation et/ou le renforcement, pour la préparation du support, il peut être fait appel au **guide FABEM 3** pour la réalisation d'injection de collage à la périphérie de la surface de reprise, au **guide FABEM 4** pour la mise en œuvre **d'un produit ou d'un système de produits de protection** de la surface du béton...

> **Cas où des encoches doivent être réalisées pour y sceller des armatures :**

La réalisation des encoches impose que le béton soit de bonne qualité et que les armatures existantes présentent un enrobage suffisant et surtout régulier sur toute la partie de la pièce concernée. Il est donc indispensable que les caractéristiques mécaniques de la peau du béton (sur quelques centimètres de profondeur) soient évaluées et que la position de ces armatures, mesurée au pachomètre, au radar..., soit effectuée et ceci pendant les études préalables et non au moment des travaux.

Au moment des travaux, le tracé des encoches est précédé d'un contrôle du positionnement des armatures existantes risquant d'être endommagées lors de la réalisation des encoches (position en X, Y, Z, y compris l'épaisseur du béton de couverture). Ensuite les encoches sont réalisées en suivant la procédure mise au point lors de **l'épreuve de convenance**.

4.6.3.2.3 Préparation des armatures

Lors de l'enlèvement du béton, il faut adapter l'intensité de l'action du matériel employé pour éviter d'endommager la partie des armatures, en cours de dégagement, qui doit être réutilisée. Pour éviter de tels désordres (déformations, entailles...), il faut utiliser au moins **deux techniques de préparation** : une première de dégrossissage relativement agressive et une autre de finition.



Photo n° 9 : agressivité du marteau-piqueur sur les armatures de béton armé de faible ou moyen diamètre
(crédit photo D. Poineau)

Rappel du paragraphe 4.5.2.3 ci-dessus : lorsque (cas d'un choc) des armatures sont tordues, pliées et à condition qu'il s'agisse d'armatures lisses (de type Fe E 235) ou de certaines armatures à haute-adhérence pouvant être pliées-dépliées et sous réserve que ces armatures ne présentant pas de fissures, de criques et que les rayons de ployages respectent les rayons limites, ces armatures peuvent être redressées. **Le matériel** doit être adapté à cet usage et pouvoir s'insérer dans le ferrailage existant. Un essai de convenance fixé par **le marché** valide ou non la méthode de dépliage.

Pour juger si des armatures déformées sont redressables et si, une fois redressées, leurs caractéristiques mécaniques et géométriques (tracé en baïonnette) permettent leur réemploi, **il est conseillé de faire appel à un laboratoire spécialisé** (une liste des laboratoires associés à l'AFCAB est disponible sur le site de l'association). Dans le cas où cette expertise n'est pas envisageable, **il faut couper toutes les parties endommagées et mettre en place de nouvelles armatures pour reconstituer le ferrailage.**

ATTENTION, normalement, l'utilisation d'un tube pour redresser une armature est formellement interdit. Cependant, des **essais de convenance** ont montré qu'un tube de section adaptée et biseauté peut être utilisé pour redresser des barres de petit diamètre < 12 mm. Cette pratique peut donc, éventuellement, être autorisée à condition de prévoir un **essai de convenance**.

Il est aussi **interdit** de réaliser des soudures sur les parties de barres pliées puis redressées.

Lorsque les armatures ne sont pas récupérables, les parties endommagées sont coupées avec des moyens mécaniques (disqueuse, coupe-boulon...) **la coupe au chalumeau étant interdite**. Les moignons sont dégagés sur une longueur suffisante pour assurer avec les armatures de remplacement ou ajoutées un recouvrement classique ou une soudure ou un manchonnage (se reporter aux exigences de l'article 72 du fascicule 65 du CCTG sur le façonnage des armatures de béton armé).

En cas de corrosion, les armatures doivent être complètement décapées («à blanc»). De plus, si c'est nécessaire, ou si **le marché** l'impose, les armatures ainsi dégagées doivent être traitées contre la corrosion. Le degré de décapage des armatures et la mise en œuvre de produits de protection contre la corrosion des armatures sont visés par le paragraphe 4.6.4.5 ci-dessous.

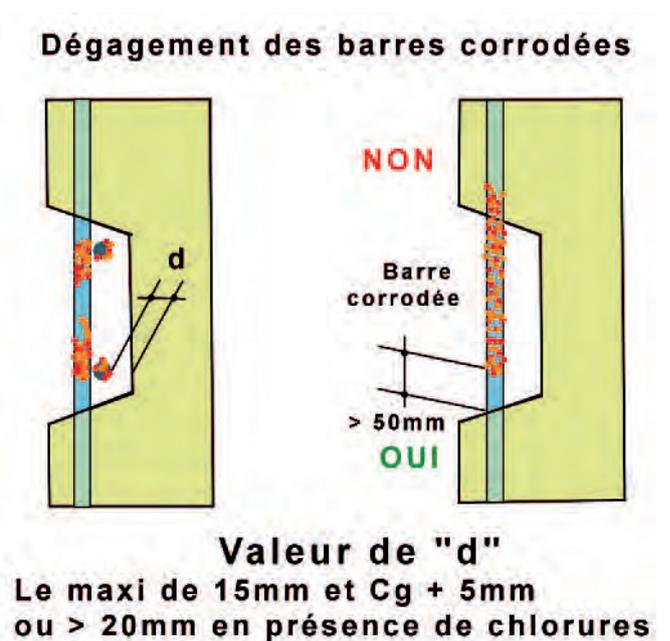


Figure n° 24 : principe de dégagement et de nettoyage des armatures corrodées

4.6.3.2.4 Nettoyage des surfaces - Exigences de résultats

Après la préparation du support béton et des armatures, il faut éliminer tous les résidus (poussières, souillures, morceaux de béton, parcelles d'anciens revêtements...). **Cette opération de nettoyage** des surfaces est réalisée immédiatement avant la mise en œuvre des mortiers et bétons ou de la couche d'accrochage. **L'entrepreneur** doit s'assurer de la compatibilité entre la méthode de nettoyage prévue et les produits de réparation à mettre en œuvre en cas de restauration ou d'ajout de béton (support sec ou humide).

> **Les méthodes de nettoyage utilisables peuvent être :**

- **à sec** : brossage, aspiration, soufflage à l'air déshuilé (un compresseur en bon état ne produit pas un air comprimé chargé d'huile) ;
- **humide** : lavage à l'eau, avec ou sans détergent.

Dans le cas du lavage à l'eau, les excédents d'eau doivent être éliminés, soit par soufflage à l'air déshuilé, soit par aspiration. De plus, avant l'application des produits, le support doit présenter un état de dessiccation ou d'humidification compatible avec les produits utilisés.

4.6.3.2.5 États de surface particuliers liés à l'état du support et à la nature des produits de réparation

Dans les cas qui suivent, avant la mise en place du mortier ou du béton de réparation et/ou renforcement, la surface de reprise doit subir une préparation complémentaire.

> **Produits à base de liants hydrauliques**

Dans le cas de surfaces très poreuses ou à faible pourcentage de liant, il est nécessaire d'appliquer au préalable une couche de barbotine à base de liant hydraulique. L'eau de gâchage utilisée pour la préparation de la barbotine peut aussi être additionnée de latex, ce qui améliore l'adhérence.

Dans le cas général, le support béton doit être saturé d'eau mais non ruisselant et l'application se fait sur un support à une température supérieure à 5 °C.

> **Produits à base de liants hydrauliques modifiés**

La notice du fabricant définit l'état de surface à exiger et, dans le cas de surfaces très poreuses ou à faible pourcentage de liant, il est nécessaire d'appliquer au préalable une couche de barbotine à base de liant hydraulique modifié.

Les armatures dégagées peuvent ne pas être traitées par un passivant après leur préparation, sauf lorsque l'ouvrage est situé en milieu agressif ou lorsqu'une couche d'accrochage initiale à base de polymère a été nécessaire.

> **Produits à base de résines synthétiques**

En règle générale le support béton doit être sec, sauf si la résine est compatible avec une surface humide.

Le fabricant doit préciser si une couche primaire d'accrochage est nécessaire.

Les armatures doivent obligatoirement recevoir un revêtement à pigments actifs anticorrosion compatible avec la résine synthétique utilisée.

4.6.3.2.6 États de surface particuliers liés à des techniques de réparation et/ou renforcement traitées dans les autres guides FABEM

Méthode de réparation	Guides FABEM de référence	Observations
Mise en œuvre de d'un produit ou d'un système de produits de protection du béton	N°4	Voir l'article n°4.2 du guide FABEM 2
Mise en place de mortier et béton par projection	N°5	Voir la norme NF EN 14487-2 et les techniques de préparation du support de la norme NF P 95-102 et de l'article 4.2 du guide FABEM 1

Tableau n° 3 : documents de référence sur les techniques de préparation du support

4.6.4 MISE EN PLACE DES ARMATURES À REMPLACER ET/OU À AJOUTER

4.6.4.1 Généralités

> La mise en place d'armatures de béton armé pour constituer le ferrailage relève des textes de référence :

- le DTU 21 (article 5.2) ;
- le fascicule 65 du CCTG (articles 7.2 et 7.3 du chapitre 7).

Dans le cas où les armatures de remplacement ou d'ajout sont en acier inoxydable, il faut se reporter au **guide FABEM 1 et à son annexe 3** qui traitent des dispositions constructives à observer pour éviter des phénomènes de corrosions bimétalliques.

Lorsqu'il s'agit d'une structure précontrainte, il y a lieu de consulter le **guide FABEM 8** et les chapitres 10, 11 et 12 du **fascicule 65 du CCTG**, suivant qu'il s'agit de précontrainte par post-tension intérieure ou extérieure, ou de précontrainte par pré-tension.

REMARQUE : le projet de norme européenne **Pr NF EN 1367-1** et son annexe nationale sur l'exécution des structures en béton ne sont pas, à ce jour, opérationnels pour le domaine des ouvrages d'art.

> La fourniture et la mise en place d'armatures fait l'objet de plusieurs certifications d'entreprises par l'AFCAB en liaison avec l'AFNOR :

- aciers pour béton armé (fabrication et fourniture des armatures) ;
- armatures (dressage, coupe, façonnage et assemblage par soudure en usine des cages d'armatures);
- manchons (fabrication des organes de jonction) ;
- pose ou pose avec soudage (travaux de mise en œuvre des armatures isolées ou pré-assemblées sur chantier).

> **Le dégagement des armatures doit se faire sur une longueur suffisante pour permettre, conformément au projet de réparation :**

- classiquement, leur recouvrement (la longueur de recouvrement doit être calculée, elle vaut sensiblement 40Φ pour les armatures à haute adhérence et 50Φ pour les armatures lisses). Il faut en plus prévoir, comme l'imposent les règles de calcul, des armatures de couture sur la longueur des recouvrements et de décaler les arrêts de barres ;
- leur soudure bout à bout (rappel : la soudure à éclisses plus sûre est préférable si les dispositions des barres permettent sa mise en œuvre) ;
- leur soudure à éclisses (**le fascicule 65 du CCTG** interdit de souder deux armatures côte à côte [assemblage à recouvrement] pour éviter des flexions parasites, bien que ce type de soudure soit visé par la norme **NF EN ISO 17660-1**) ;
- leur assemblage par un dispositif de rabotage appelé aussi «manchon».

Les armatures transversales en bon état ou réparées peuvent servir d'armatures de couture. Si leur nombre est insuffisant des armatures complémentaires peuvent être scellées dans des forages.

Il est, de plus, conseillé de rajouter des armatures scellées régulièrement le long de la reprise de bétonnage pour améliorer la liaison entre le béton existant et le béton ajouté, pour combler les vides et ré-enrober les armatures.

La mise en place du ferrailage de substitution est précédée d'un décapage complet des armatures si elles sont corrodées comme indiqué dans le **guide FABEM 1**. Il est suivi d'un nettoyage complet avec dépoussiérage. Une fois le ferrailage de remplacement ou d'ajout en place, un nouveau nettoyage-dépoussiérage s'impose avant la mise en place du mortier ou du béton.

Au cours de la mise en œuvre des armatures, un soin particulier doit être accordé à l'arrimage et au calage des armatures de façon à obtenir les enrobages requis des armatures.

ATTENTION : le sous-article du **fascicule 65 du CCTG**, applicable aux ouvrages en construction, recommande **de ne pas grouper dans une même section les jonctions (soudures, manchons...) d'armatures faisant partie d'une même nappe, car cela lie la sécurité de la structure à la tenue d'un type de jonction qui constitue un point singulier dans la transmission des efforts.**

Dans la suite du présent paragraphe sont détaillés les assemblages de barres par soudures et manchons et le scellement d'armatures dans le béton existant.

4.6.4.2 Soudage des armatures de béton armé

Le soudage en atelier ou sur le chantier des armatures de béton armé, lorsque **l'assemblage ne transmet pas d'efforts** (il s'agit par exemple, des armatures de montage et de peau...), fait l'objet de la norme **NF EN ISO 17660-2**, à laquelle le lecteur est invité à se référer.

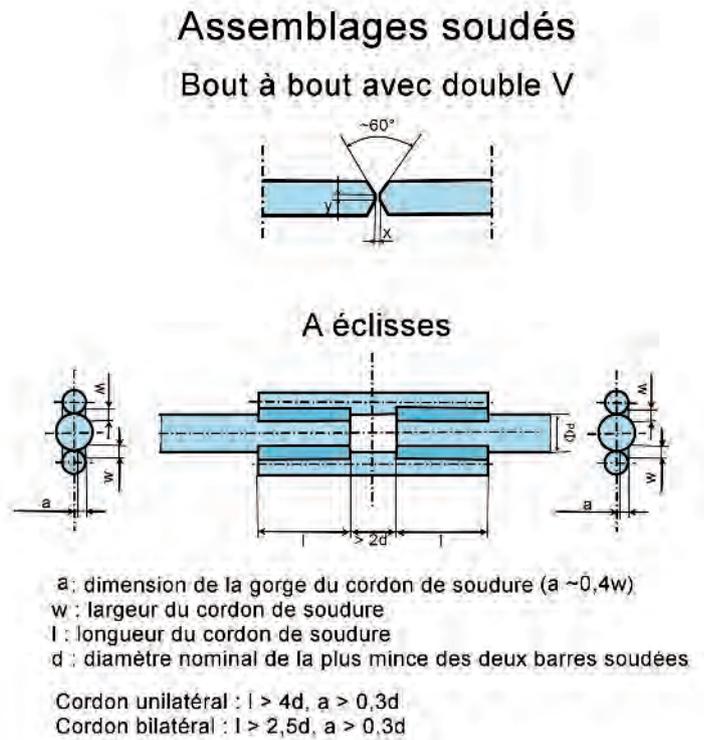


Figure n° 25 : schéma de soudures visées par la norme

Le soudage en atelier et sur le chantier des armatures de béton armé, **lorsque l'assemblage transmet des efforts** (il s'agit par exemple, des armatures de reprise des efforts de flexion, cisaillement...), fait l'objet de la norme **NF EN ISO 17660-1**.

Cette norme indique quels sont les procédés de soudage utilisables par type d'assemblage compte tenu du diamètre des barres à assembler (soudage électrique par résistance dit aussi par étincelage - soudage à l'arc avec électrode enrobée - soudage à l'arc avec fil fourré - soudage à l'arc sous flux gazeux dit MAG...). Elle fixe les conditions de préparation des extrémités des barres pour les assemblages bout à bout, la position et les longueurs minimales des cordons pour les assemblages à recouvrement et à éclisses. Elle traite des caractéristiques des matériaux à assembler et des produits de soudage. Elle décrit la procédure de la qualification des modes opératoires de soudage (MOS). Enfin elle traite des exigences à satisfaire lors de l'exécution des soudures.

ATTENTION, cette norme ne s'applique qu'aux structures soumises à **des charges statiques**. Lorsqu'une structure est soumise à **un chargement de fatigue**, le projet doit affecter la résistance à la fatigue des armatures sollicitées par **un coefficient de réduction approprié**.

Les soudures bout à bout étant délicates, il est préférable, sous réserve que cela soit possible, de privilégier les soudures par éclisses.

Les assemblages soudés (bout à bout, par recouvrement et par éclisses) doivent être exécutés sur **les parties rectilignes des barres**. Seuls les assemblages en croix peuvent se faire dans les zones de pliages. Il faut choisir le type d'assemblage le plus facile à réaliser et à contrôler de façon à ne pas risquer de créer un point faible dans la structure à réparer et/ou renforcer.

Rappel : les parties de barres pliées puis redressées ne peuvent comporter de soudures.

Bien entendu, le soudage ne peut avoir lieu que si les armatures conservées, remplacées ou ajoutées sont soudables. Cela concerne les armatures lisses de type FE E 235 et certaines armatures à haute adhérence. **Il est donc indispensable de procéder à une reconnaissance des différentes armatures existantes¹⁶** afin d'identifier leurs caractéristiques (marque, type, diamètre, limite élastique, soudabilité...) et de faire des essais de soudabilité avec les armatures à ajouter en cas de doute.

Le tableau n°3 de l'annexe 2 du guide FABEM 1 donne les appellations et les caractéristiques mécaniques des différentes armatures de béton armé des années 1900 à nos jours.

Le soudeur doit être qualifié conformément aux exigences du fascicule de documentation **FD A 35-029** (Armatures pour béton armé – Assemblages soudés – Qualification d'un mode opératoire – Qualification des soudeurs).

Le marché peut imposer que l'entreprise chargée de la pose des armatures soit titulaire du **certificat AFCAB de pose avec soudage**.

Il faut aussi que les soudures soient techniquement réalisables compte tenu de la place disponible dans la cage formée par toutes les armatures.

De plus, il faut que les **dispositions du sous-article 73.2 du Fascicule 65 du CCTG** relatives à la continuité des armatures soient respectées. Si ce n'est réellement pas possible, il faut augmenter le coefficient de réduction susvisé et renforcer au maximum les **contrôles d'exécution**.

¹⁶ Il peut y avoir dans un ouvrage des armatures dont les aciers sont de natures différentes comme des aciers écrouis et des aciers naturellement durs.

4.6.4.3 Manchonnage des armatures de béton armé

La mise en place de manchons pour assembler les armatures de remplacement ou d'ajout aux armatures existantes conservées se fait en respectant la **fiche de mise en œuvre** et les exigences de la **Marque AFCAB-Dispositifs de raboutage ou d'ancrage d'armature**.

Si la pose de manchons est techniquement possible compte tenu de la place disponible dans la cage de ferrailage, elle n'est permise que si **les règles générales d'enrobage** sont respectées compte tenu du diamètre nominal des armatures assemblées et si **l'enrobage au droit des manchons** est d'au moins 20 mm.

Enfin, il faut, comme pour les soudures, que **les dispositions des sous-articles 73.1.2 et 73.2 du fascicule 65 du CCTG** relatives au calage et à la position des armatures soient respectées. Si cela n'est réellement pas possible, il faut augmenter le coefficient de sécurité vis-à-vis de la fatigue et renforcer au maximum les **contrôles d'exécution**.



Figure n° 26 : schémas de différents dispositifs de manchonnage

> Il existe divers systèmes de rabotage disponibles sur le marché et qui bénéficient d'un certificat de l'AFCAB :

- des manchons qui imposent le filetage des extrémités des armatures. Certains, les plus simples, nécessitent qu'une des deux armatures soit libre de tourner pour être vissée sur le manchon. D'autres, plus sophistiqués, peuvent être employés lorsque les barres ne sont pas libres de tourner ;
- des manchons comportant des vis perpendiculaires à l'axe du manchon qui, après serrage, bloquent les extrémités des deux barres à rabouter introduites dans les manchons. La longueur du manchon et le nombre des vis varient en fonction du diamètre des armatures à assembler ;
- des manchons qui sont filés avec l'aide d'une presse hydraulique sur les extrémités des barres à rabouter...



Photo n° 10 : manchon de jonction nécessitant un filetage de l'armature (crédit photo D. Poineau)

4.6.4.4 Scellement d'armatures

> Pour permettre un bon remplissage des forages, il faut adapter le diamètre du trou à la nature du produit de scellement comme l'indique le FD P18-823 (se reporter au paragraphe 4.2.5.4.1 ci-dessus) :

- pour les produits de scellement à base de liants hydrauliques, le diamètre minimum du forage «Φ2» peut être pris égal à :

$$\Phi_2 \geq \Phi_1 + 15 \text{ à } 35 \text{ mm}$$

- pour des produits à base de résines synthétiques, le diamètre minimum du forage «Φ2» peut être pris égal à :

$$\Phi_2 \geq \Phi_1 + 2 \text{ à } 10 \text{ mm}$$

L'espacement entre les scellements doit être ajusté pour éviter une interaction entre les cônes de rupture du béton support qui peuvent être matérialisés lors de l'épreuve de convenue visée ci-après dans la partie contrôles.

> Perçage et nettoyage des trous de scellement :

Les opérations de perçage doivent être exécutées après avoir repéré les armatures existantes de façon à ne pas risquer de les endommager.

Le perçage des trous de diamètre < 25 mm sont effectués avec un perforateur équipé d'une mèche de forage. La pression et la vitesse de perçage doivent être adaptées pour ne pas endommager le béton support.

Le perçage des trous > 25mm sont effectués avec une perceuse équipée d'une couronne de forage au diamant. Attention, la surface du trou ainsi obtenu ne doit pas être trop lisse, sachant que les essais montrent que le type de percement ne joue pas sur la performance des scellements des produits (H).

Le perçage est suivi d'un nettoyage soigné des trous effectué avec un écouvillon ou un jet d'air comprimé (déshuilé)...

NOTE : Certains industriels proposent **des coffrets de scellement pour armatures de béton armé** comprenant des outils de nettoyage des trous (écouvillons, buses de nettoyage), des pistolets d'injections manuels ou pneumatiques équipés de flexibles, buses d'injection, ainsi que des cartouches contenant le produit de scellement.

> Mise en place du produit de scellement :

Pour un scellement vertical sur une paroi horizontale ou faiblement inclinée, le produit, sous forme d'un coulis, est mis en place par simple gravité avec un seau et un entonnoir, une seringue...

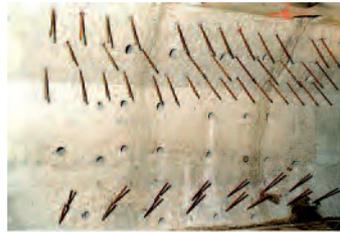
Pour un scellement sur une paroi verticale ou en sous-face, le produit, sous forme d'un mortier à consistance ferme, est mis en place, soit manuellement avec une truelle et serré dans le trou avec un matoir (tige en métal ou en bois de diamètre adapté et/ou la barre à sceller), soit avec un pistolet manuel ou pneumatique prévu pour cet usage...

La notice technique d'un produit de scellement peut préciser sa technique de mise en place.



Photo n° 11 : remplissage des trous avant scellement de barres (crédit photo Parexlanko)

> **Mise en place des armatures :**



**Scellement de barres
et dispositif de maintien
pendant le durcissement
du produit de scellement**



Photo n° 12 : scellement d'armatures de béton armé (crédit photo D. Poineau)

Les barres sont enfoncées à force dans le trou de façon à faire refluer le produit de scellement. Pour empêcher la barre de bouger et le produit de scellement de couler, il faut utiliser **un dispositif qui maintient l'armature en place** jusqu'à la prise et le début de durcissement du produit de scellement. Par exemple, un tamis, un bouchon fendu en croix...

4.6.4.5 Préparation des armatures corrodées

Protection des armatures par un revêtement actif ou non

L'élimination des parties oxydées se fait par brossage métallique, repiquage, sablage, grenailage ou à l'eau sous très haute pression.

> **Dès que les traces d'oxydation ont disparu, les quatre cas suivants se présentent :**

- la mise en place d'un **revêtement anticorrosion sur les armatures est inutile** si le mortier ou le béton à base de liants hydrauliques de restauration est mis en œuvre par **projection par voie sèche**. Cette technique est incompatible avec tout revêtement sur les armatures. La passivation des armatures n'est pas non plus compatible avec certains procédés de protection cathodique ;
- la mise en œuvre **d'un revêtement anticorrosion sur les armatures n'est pas forcément nécessaire** en l'absence de produits agressifs dans le béton (chlorures...) et si les armatures ne sont que peu ou pas corrodées. De plus, le mortier ou le béton de restauration doit être à base de liants hydrauliques et doit être **mis en œuvre immédiatement et en épaisseur suffisante** pour assurer un recouvrement des barres conforme aux exigences d'environnement, à la condition que l'environnement ne soit pas trop agressif (la mise en œuvre d'un passivant peut cependant améliorer la durabilité) ;

- c) la mise en œuvre **d'un revêtement anticorrosion sur les armatures est nécessaire** si les armatures sont nettement corrodées ou si le mortier ou le béton à base de liants hydrauliques de restauration **ne peut être mis en œuvre immédiatement et/ou en épaisseur suffisante** pour assurer un recouvrement des barres conforme aux exigences d'environnement ;
- d) la mise en œuvre **d'un revêtement anticorrosion sur les armatures est impérative** lorsque le mortier ou le béton est à base **de liants organiques**. Dans un tel cas, l'enrobage des armatures doit respecter les exigences des règles de calcul ou de mise en œuvre du marché.

S'il est nécessaire de protéger les armatures contre la corrosion, des produits et systèmes de produits peuvent être utilisés sous forme de revêtements actifs ou non¹⁷. Il est indispensable, pour des raisons liées aux garanties et responsabilités, que le produit passivant et le produit de réparation soient de la même marque (fabricant) et parfaitement compatibles. **Il faut aussi s'assurer de ne pas créer d'amorces de piles de corrosion.**

Sur les armatures existantes dégagées du béton et débarrassées de la rouille, ces produits sont mis en place avec une brosse ou un pinceau.

Sur des barres additionnelles ou des cages d'armatures ajoutées, les produits peuvent être appliqués par des processus industriels sous la forme d'une galvanisation des armatures ou d'un revêtement à base de résines époxydiques...

Si la méthode de réparation prévoit la mise en place **d'un revêtement anticorrosion contenant des pigments actifs** (par exemple, de type inhibiteur) sur les barres, le décapage des barres doit atteindre le niveau **SA2** «nettoyage – décapage profond».

Si la méthode de réparation prévoit la mise en place **d'un revêtement de protection** (film étanche à base de résines) sur les barres, le décapage des barres doit atteindre le niveau **SA2^{1/2}** «nettoyage – décapage très profond».

ATTENTION : les revêtements anticorrosion doivent être appliqués sur les armatures **sans déborder sur le béton**. Si l'entassement des armatures rend cette application très difficile, il est possible d'utiliser une barbotine à base de : liants hydraulique + résines synthétiques + sable + eau. Dans un tel cas, il faut impérativement mettre en œuvre le mortier (ou le béton) destiné à reconstituer l'enrobage des armatures avant la prise de la barbotine.

REMARQUE : en cas de recours à un revêtement anticorrosion non actif, la totalité de la surface de l'armature doit être recouvert par le produit et en épaisseur suffisante. De plus, toute blessure du film est à proscrire pour éviter le développement d'une corrosion pernicieuse sous le film. L'utilisation de ces types de produits est donc très limitée en réparation et même déconseillée.

¹⁷ Les produits à base de liants hydrauliques ont un caractère actif. Ils peuvent donc assurer la passivité des armatures sans nécessiter la mise en place de produits spécifiques à la surface des armatures tels que des inhibiteurs de corrosion.



Photo n° 13 : bonne méthode d'application d'un revêtement anticorrosion sur des armatures de BA
(crédit photo Weber et Broutin)



Photo n° 14 : mauvaise application d'un revêtement anticorrosion (crédit photo D. Poinneau)

4.6.5 PRÉPARATION DES PRODUITS

4.6.5.1 Généralités

Après une préparation du support béton et des armatures, le remplacement et/ou l'ajout d'armatures et la mise en place, si besoin est, de coffrages, un produit de réparation ou de renforcement (mortier ou béton) est mis en place pour remplacer le béton endommagé et ré-enrober les armatures remplacées ou pour accroître la géométrie initiale de la pièce concernée.

D'autres produits sont également utilisés pour des opérations connexes, qui interfèrent avec l'opération principale de réparation ou renforcement : le scellement d'armatures, le collage d'un béton frais sur un béton durci, la protection des armatures contre la corrosion, l'injection de collage de la surface de reprise de bétonnage et la protection des bétons.

La préparation de chaque produit fait l'objet **d'une procédure et d'un document de suivi**.

Le présent guide donne simplement, ci-après, quelques règles génériques sur la préparation des produits. Il n'a pas été jugé utile de développer davantage ce point.

4.6.5.2 Préparation des produits prêts à l'emploi

Il s'agit de produits et de systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton conformes aux normes **NF EN 1504-2 à NF EN 1504-7 (produits dits «spéciaux» au sens de la marque NF)**.

NOTE : certains de ces produits peuvent éventuellement être fabriqués sur chantier sous réserve de respecter les exigences de la norme concernée.

Les récipients et les outils utilisés doivent être propres et secs.

Les produits conforme à la norme sont, le plus souvent, en **conditionnements prédosés (ou «kits»)**. **Ces conditionnements ne doivent jamais être fractionnés**. En effet, tout manquement à cette règle peut entraîner, par exemple pour un mortier à base de liants organiques, la perte de ses caractéristiques mécaniques par défaut de polymérisation de la résine.

Les produits doivent être préparés et mélangés en suivant scrupuleusement **les indications de la fiche technique du fabricant et de la procédure**. En particulier, il faut respecter l'ordre d'introduction des différents constituants.

Il est rappelé que, pour les produits et systèmes, la vitesse de rotation du malaxeur, la forme de l'hélice et la durée de malaxage, paramètres fixés par la notice technique du fabricant, doivent être scrupuleusement respectés pour obtenir un mélange homogène en consistance et couleur des composants et pour éviter l'inclusion d'air dans le mélange.

4.6.5.3 Préparation des produits fabriqués sur le chantier

Il s'agit essentiellement de produits (mortiers ou bétons) de réparation structurale au sens de la norme **NF EN 1504-3**.

Les récipients et les outils utilisés doivent être propres et secs.

Les produits doivent être préparés mélangés en suivant scrupuleusement **les indications de la procédure**. En particulier, il faut respecter l'ordre d'introduction des différents constituants et leur dosage.

Le chantier doit donc disposer **de moyens de pesage étalonnés** permettant de satisfaire aux mêmes tolérances de fabrication que les produits prêts à l'emploi normalisés du même type.

Les tolérances, sont fixées dans la norme **NF EN 1504-3** susvisée. L'organisation du contrôle de la qualité peut être calquée sur le **contrôle de la production en usine (CPU)** développé dans la norme **NF EN 1504-8**.

Avant toute mise en œuvre, ces produits sont soumis à **une épreuve de convenance de fabrication** pour s'assurer qu'ils peuvent être fabriqués sur le chantier en respectant les tolérances prévues **au marché** et dans la **procédure d'exécution**.

4.6.5.4 Préparation en centrale ou sur le chantier des autres produits (mortiers et bétons traditionnels, BAP...)

Ces produits doivent être préparés conformément aux dispositions des textes de référence (**NF EN 206-1, DTU 21, fascicule 65 du CCTG**, voire de recommandations particulières...) auxquels **le marché** doit faire référence en les complétant, si besoin est, pour obtenir tout ou partie des performances fixées par la norme **NF EN 1504-3**.

4.6.6

MISE EN PLACE DES PRODUITS (MORTIER OU BÉTON)

L'opération de mise en place du mortier ou du béton fait l'objet d'un **POINT D'ARRÊT** levé par le **maître d'œuvre** lorsque toutes les exigences fixées par **le marché** sont satisfaites.

Avant cette opération, les coffrages, s'ils sont nécessaires, étant mis en place ainsi que les armatures de remplacement et/ou de renfort et leurs éventuelles cales d'espacement, **l'entrepreneur** procède à **un dernier nettoyage** pour éliminer les morceaux de fil d'attache, les clous, les petits gravas, la poussière...

L'entrepreneur s'assure ensuite que les conditions thermiques mesurées restent dans le domaine autorisé (généralement +5° à +25°/30°C) et qu'il n'y a pas un risque de précipitations risquant de délayer le mortier ou le béton frais.

Enfin, il faut ensuite mettre en œuvre les produits (mortier ou béton) conformément aux dispositions du projet après préparation de la surface de reprise qui est effectuée en fonction de la technique de mise en œuvre du produit (mortier ou béton) de ré-enrobage des armatures ou de renforcement :

- simple humidification, sachant qu'il n'y doit pas y avoir d'eau libre sur la surface de reprise ;
- simple humidification suivie ou non de la réalisation d'une barbotine ;
- encollage avec un produit pour encollage béton frais sur béton durci...

Le mortier ou le béton peut être mis en place manuellement (réparation de faible importance), ou coulé dans des coffrages ou projeté. Les textes de référence comme le **DTU 21**, le **fascicule 65 du CCTG**, la norme **NF P 95-102**... fixent les principales stipulations à respecter.

> **Le recours à un béton coulé dans des coffrages impose certaines dispositions constructives pour obtenir un bon remplissage :**

- **pour un béton coulé traditionnellement**, il faut prévoir des cheminées de bétonnage et de vibration qui peuvent jouer le rôle de cheminées d'équilibre et, si nécessaire, la présence d'évents pour évacuer l'air et permettre, après durcissement, une injection de résine de collage ;
- **pour un béton de type BAP**, l'injection se fait par le bas et les coffrages doivent pouvoir résister aux pressions développées et être bien fixés sur la structure existante pour éviter les fuites. Il faut également s'assurer de la qualité de l'adhérence entre le **BAP** et le béton existant.

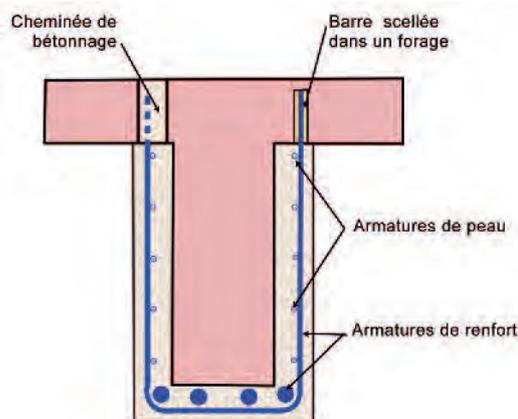


Figure n° 27 : exemple n°1 de cheminées de bétonnage et vibration

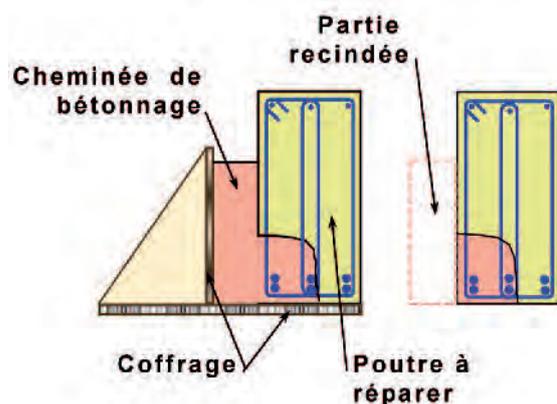


Figure n° 28 : exemple n°2 de cheminée de bétonnage et vibration

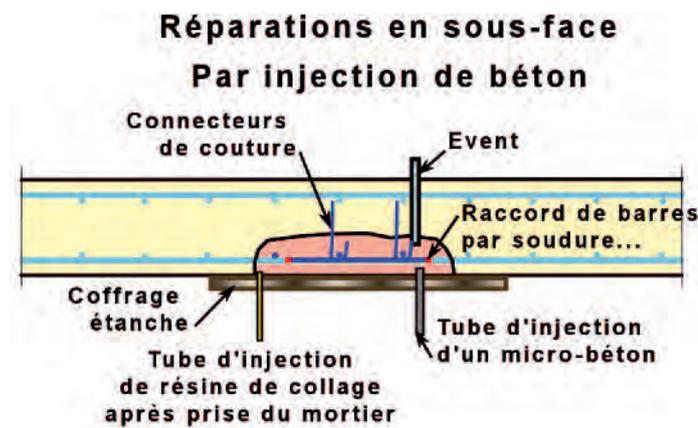


Figure n° 29 : exemple de bétonnage par injection

Le recours à un béton projeté impose de respecter les dispositions du guide FABEM 5 auquel il convient de se reporter ainsi que les normes : NF EN 14487-1, NF EN 14487-2 et NF P 95-102. La qualification ASQUAPRO du porte-lance est à prévoir au marché.

4.6.7

OPÉRATIONS POSTÉRIEURES À LA MISE EN PLACE DU MORTIER OU DU BÉTON

> **Au moins, quatre opérations postérieures à la mise en œuvre du mortier ou du béton doivent ou peuvent être effectuées :**

- la cure du mortier ou du béton ;
- la mise en charge de la zone réparée ou renforcée ;
- une injection de collage ;
- l'application d'un produit de protection ou d'aspect à la surface du béton.

Pendant le durcissement du mortier ou du béton, **une cure** est indispensable pour limiter au maximum les effets des différents retraites.

Si **le projet** le prévoit, après durcissement du mortier ou du béton, **une injection périphérique** est à pratiquer pour parfaire le contact entre l'ancien béton et le mortier ou le béton ajouté (se reporter au **guide FABEM 1** qui détaille une telle opération).

Si le **projet** le prévoit, après durcissement du mortier ou du béton, **une mise en charge de la zone réparée ou renforcée est à réaliser**. Cette mise en charge peut être effectuée par :

- un décintrement (la structure ayant été mise sur cintre pendant les travaux) ;
- un ajout de forces :
 - par déformations imposées (dénivellation d'appui ou vérinage),
 - ou par précontrainte additionnelle.

Se reporter au **guide FABEM 8** relatif aux réparations et renforcements par précontrainte et au **guide FAEQ 5** relatif aux appareils d'appui (vérinage).

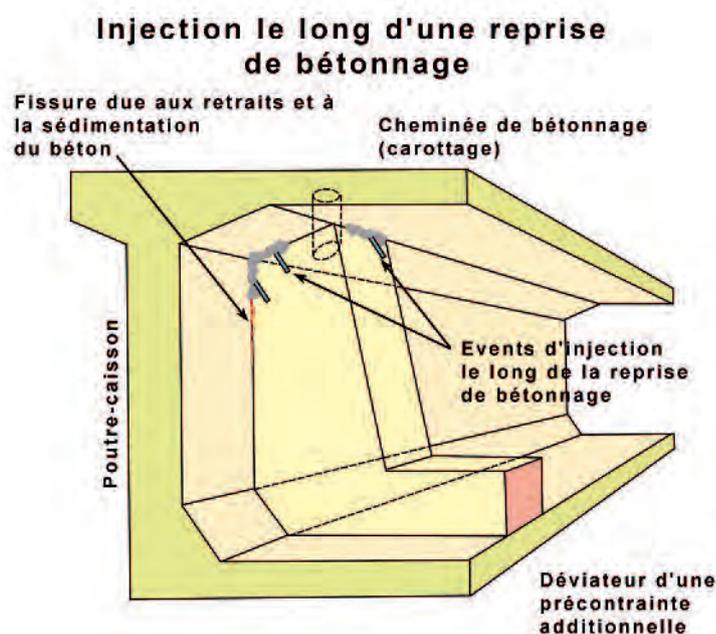


Figure n° 30 : principe de réalisation de l'injection de la périphérie d'une reprise de bétonnage

Si le **projet** le prévoit, après durcissement du mortier ou du béton, **un produit ou un système de produits de protection** du béton est mis en place sur tout ou partie de la structure réparée et/ou renforcée, soit pour une réelle protection, soit pour des raisons esthétiques (se reporter au **guide FABEM 4**).



Figure n° 31 : réception par le contrôleur des produits de réparation

4.7.1 GÉNÉRALITÉS

Il s'agit d'un extrait du paragraphe 5.1 du **guide FABEM 1** sur les généralités relatives aux essais et contrôles mais avec quelques aménagements.

La consistance des essais, de l'épreuve d'étude, de l'épreuve de convenance et des contrôles de réception et d'exécution est fixée par le marché qui complète en tant que de besoin les dispositions du présent guide. Elle est reprise dans les procédures et les cadres des documents de suivi du Plan d'Assurance de la Qualité (PAQ).

Parmi les contrôles, la plupart relèvent du contrôle interne, voire du contrôle externe à l'entreprise et les autres du contrôle extérieur.

Normalement, **le marché comporte un cadre de PAQ imposant une liste minimale de procédures et de cadres de documents de suivi à fournir ainsi que le nombre minimal des essais et contrôles à effectuer. L'entrepreneur complète ce cadre dans son offre, en tant que de besoin, pour constituer une partie de son PAQ.**

Les opérations du contrôle extérieur relèvent des exigences **du maître d'ouvrage** en matière d'assurance de la qualité. Elles ne sont donc pas développées dans le présent guide. **Le marché doit cependant** traiter de celles qui peuvent interférer avec la marche du chantier (opération nécessitant un arrêt partiel ou total du chantier).

Les opérations de contrôle externe à l'entreprise peuvent être demandées par **le marché** ou être proposées par **l'entrepreneur** dans le cadre de sa démarche qualité. Elles ne sont pas développées dans le présent guide.

> Les essais et contrôles à effectuer par l'entrepreneur lors «d'une opération de réparation et/ou renforcement par armatures passives additionnelles internes au béton» peuvent être rattachés aux cinq catégories suivantes :

- l'épreuve d'étude ;
- les contrôles de réception des produits et matériaux ;

- l'épreuve de convenance ;
- les contrôles d'exécution ;
- la réception des travaux¹⁸.

Rappel : le marché ne peut pas se contenter de viser les normes, il doit fixer l'importance des contrôles et désigner le ou les responsables de ces contrôles.

4.7.2 ÉPREUVE D'ÉTUDE

Il s'agit d'un extrait du paragraphe 3.3.6 du **guide FABEM 1** sur les généralités relatives aux essais et contrôles.

Les produits prêts à l'emploi et conformes aux normes en vigueur, admis à **une marque de certification telle que la Marque NF : Produits Spéciaux** pour constructions en béton hydraulique ou une marque équivalente, dans le mesure où le champ d'application de celles-ci couvre les besoins du chantier ou encore faisant l'objet **d'un Avis Technique, ne font normalement pas l'objet d'une épreuve d'étude.**

> **Cette épreuve est cependant requise si :**

- les conditions de contrôle ne sont pas adaptées ;
- les conditions de mise en œuvre du produit, en particulier la géométrie et l'orientation du support, les sollicitations imposées, les conditions climatiques et hygrométriques, ne correspondent pas à celles fixées dans les normes produits (**applications particulières ou non prévues**) ;
- ces produits, une fois mis en œuvre, sont soumis à des sollicitations mécaniques spécifiques ou en contact avec un milieu agressif particulier...

Les produits non normalisés ou fabriqués sur le chantier doivent faire l'objet **d'une épreuve d'étude en laboratoire** pour s'assurer qu'ils satisfont bien **aux exigences du marché** dans les conditions de mise en œuvre prévues (température et hygrométrie en particulier).

Les résultats d'une épreuve d'étude récente (quelques mois) effectuée **sur un chantier identique** peuvent servir de référence si le marché l'autorise.

Dans le cas où **une épreuve d'étude** doit avoir lieu, elle est fixée par **le marché**. Sa consistance s'inspire des essais visés par les normes en vigueur et des conditions de mise en œuvre des produits.

L'acceptation de **l'épreuve d'étude** par **le maître d'œuvre** fait l'objet d'un **POINT D'ARRÊT**.

¹⁸ Le paragraphe relatif à la réception est commun aux deux techniques, celle des armatures passives internes au béton et celle des armatures passives collées à la surface du béton.

4.7.3 CONTRÔLES DE RÉCEPTION DES PRODUITS ET MATÉRIAUX

4.7.3.1 Généralités

Les **contrôles de réception** ont pour but de vérifier que les produits et matériaux livrés sont conformes et qu'ils sont transportés et stockés conformément aux exigences **du marché**. Ils consistent notamment à vérifier les bordereaux de livraison, le marquage des produits, les dates de péremption et le bon état des emballages.

Dans le cas où les produits font l'objet d'une certification reconnue par le marché, aucun essai n'est nécessaire. Dans le cas contraire le **marché** définit la procédure à suivre et les essais à effectuer.

NOTE : ce paragraphe ne traite pas de la réception des mortiers et bétons fabriqués en centrale. Ces opérations de contrôle sont traitées dans la suite du présent texte dans la partie du guide qui traite du contrôle de la fabrication des produits.

4.7.3.2 Réception des produits prêts à l'emploi normalisés

ATTENTION, ce paragraphe diffère légèrement du paragraphe 5.2.2 du **guide FABEM 1** à cause de la suppression de certains textes à caractère normatif.

4.7.3.2.1 Généralités

La norme homologuée **NF P 18-800** (réception à l'usine ou sur le chantier) et le fascicule de documentation **FD P 18-802** (contrôles sur chantier) **ont été supprimées**. De plus, le règlement de la **Marque NF : Produits spéciaux ([NF 030])** ne traite pas des conditions de la réception des produits.

La norme **NF EN 1504-8** ne traite que du contrôle en usine (**CPU**) et, pour la norme **NF EN 1504-10**, relative au contrôle sur le chantier, l'identification est réduite à la production d'un document attestant de la certification des produits.

Sauf disposition contraire du marché, les produits bénéficiant du droit d'usage de la **Marque NF** (ou d'une marque équivalente) sont réputés conformes aux normes qui les concernent. Il n'est donc pas nécessaire de procéder à des essais d'identification, voire à des essais d'efficacité¹⁹. Les autres contrôles de la liste ci-après restent applicables, y compris **les prélèvements conservatoires lors de leur réception sur le chantier**.

¹⁹ Dans le cas où les conditions **climatiques** de mise en œuvre des produits sur le chantier diffèrent nettement de celles de la norme, il est nécessaire de faire des essais spécifiques lors de **l'épreuve d'étude**.

Le même principe peut être applicable aux produits et systèmes bénéficiant du marquage CE et d'un système d'attestation de conformité du niveau 2+ au minimum (*Rappel : l'annexe ZA des normes harmonisées fixe le ou les niveau(x) des systèmes d'attestation de conformité entre 4 et 1+, le niveau le plus élevé*).

Pour les produits relevant d'un niveau inférieur, **le marché** peut prévoir que des essais peuvent être effectués sur les produits ou systèmes lors de leur réception.

Bien entendu et quel que soit le marquage et le niveau de certification, en cas de doute sur la qualité des produits ou systèmes livrés, **le maître d'œuvre** fait effectuer les essais permettant de confirmer ou d'infirmer leur conformité²⁰.

Le marché doit préciser que **les contrôles de réception** sont étendus **aux conditions de transport et à celles de stockage**, qui ne sont pas généralement visées par les normes.

> **Les contrôles portent sur :**

- les conditions de transport (conditions de protection des produits contre la chaleur et/ou le froid) ;
- l'état des emballages (tout récipient présentant des fuites, ouvert, sans étiquette doit être refusé et immédiatement évacué du chantier) ;
- le poids des produits prédosés ;
- la comparaison entre le bon de commande et le bordereau de livraison. La concordance porte également sur les étiquettes, emballages, containers, etc., le tout en conformité avec les documents techniques et contractuels ;
- **la remise d'un document** attestant que le produit bénéficie bien du droit d'usage d'une marque pour les produits certifiés et, en particulier, pour le marquage CE ;
- la conformité du marquage et, en particulier, les dates de péremption des produits et les classes ou catégories des produits (niveaux de performance) ;
- **l'exécution de prélèvements conservatoires**²¹ ;
- les conditions de stockage (le local doit être équipé d'un thermomètre à maxima et minima) ;
- la température du local dont la mesure est à renouveler pendant la durée du chantier en fonction de l'évolution des conditions météorologiques (en général, la température du local doit rester comprise entre 10 et 25°C). **ATTENTION**, au respect du point éclair pour certains produits ;
- etc.

NOTE : après préparation et mélange, ces produits, frais ou durcis, doivent être soumis, si nécessaire, à des essais spécifiques développés ci-après pendant l'épreuve de convenance ou lors de leur mise en œuvre.

²⁰ **Rappel :** dans un tel cas, les dispositions des clauses administratives générales et particulières du marché s'appliquent : si le produit ou système n'est pas conforme, il est stocké en attendant les résultats d'une contre-épreuve. Si la non-conformité est confirmée, il est évacué du chantier.

²¹ Ces prélèvements sont utiles pour effectuer des essais d'identification ou de performance lors de la réception, pendant le déroulement du chantier...

4.7.3.2.2 Essais d'identification et essais d'efficacité

En cas de doute sur les produits livrés ou si le marché le prévoit, des essais d'identification et/ou des essais d'efficacité peuvent être effectués. Les essais sont à effectuer par un laboratoire accepté par le maître d'œuvre.

NOTE : la réalisation d'essais d'identification ou d'efficacité est, généralement, réservée à des cas particuliers (chantier important, structure exceptionnelle...) à cause du délai nécessaire pour obtenir les résultats.

Il est préférable, si c'est nécessaire, de commencer par procéder à des essais d'identification ce qui évite d'avoir à effectuer immédiatement les essais de vérification des caractères normalisés à cause de la durée plus importante de ces derniers. Bien entendu, si les essais d'identification ne sont pas satisfaisants, il est procédé à une analyse chimique complète et à des essais spécifiques d'efficacité qui portent sur certains des caractères normalisés. Dans un tel cas, les produits ne pourront être utilisés qu'à partir du moment où les résultats des essais seront connus et favorables. Un **POINT D'ARRÊT** est lié aux essais d'identification.

> **Le marché peut aussi prescrire des essais d'efficacité spécifiques lors de l'épreuve d'étude, voire de convenue :**

- pour **certaines utilisations prévues par la norme**, mais lorsque ces essais n'ont pas été effectués par le fabricant ;
- pour **des applications non prévues par la norme** (par exemple, lorsque les conditions environnementales [humidité, température...] risquent de différer des conditions des essais normalisés). Il est conseillé d'y associer le **fabricant** ou **l'entreprise détentrice du système**.

Le tableau qui suit propose, pour les contrôles, les essais d'identification et les essais spécifiques d'efficacité qui peuvent être prescrits par le marché ou réalisés en cas de doute lors de la réception des produits ou dans le cas où des problèmes se posent lors des travaux. Ces essais sont effectués, soit sur les composants, soit sur les mélanges. D'autres essais peuvent être prescrits si nécessaire.

ATTENTION, la majeure partie des essais d'identification et de contrôle sur le chantier se déroulent, au laboratoire, sur des prélèvements effectués sur le chantier et les résultats ne sont pas obtenus immédiatement.

Essais d'identification	Normes d'essai
Produits à base des résines synthétiques (P) ou (PC) ou de liants hydrauliques (H)	
Aspect général et couleur.	Conformité à la fiche technique du fabricant et à l'étiquetage.
Contrôle du poids de chaque composant.	
Produits à base de résines synthétiques (P et PC)	
Analyse granulométrique des composants secs.	NF EN 12192-1 ou NF EN 12192-2
Masse volumique.	NF EN ISO 2811-1 et NF EN ISO 2811-2
Masse volumique (mortier frais).	NF EN 1015-6
Délai maximal d'utilisation (durée pratique d'utilisation en pot)	NF P 18-810 ²² ou NF EN ISO 9514
Temps de raidissement.	NF EN 13294
Produits à base de liants hydrauliques (H)	
Analyse granulométrique des composants secs.	NF EN 12192-1
Masse volumique.	NF EN ISO 2811-1 et NF EN ISO 2811-2
Masse volumique (mortier frais).	NF EN 1015-6
Temps de raidissement.	NF EN 13294
Temps de prise.	NF EN 196-1
Contrôles spécifiques d'efficacité	Normes d'essai
Systèmes de protection de surface pour béton (1504-2)	
Observation visuelle et aspect du feuil après application (bullage, cloquage, faïençage...).	
Essais d'arrachement sur le support à traiter ou sur le substrat de référence.	NF EN 1542
Mesure de la perméabilité à l'air in situ.	Essai BT CRIS
Viscosité.	NF EN ISO 3219
Produits de réparation de surface (1504-3)	
Essais d'arrachement sur le support à traiter ou sur le substrat de référence.	NF EN 1542
Résistance en compression	NF EN 12190
Consistance des mortiers frais.	NF EN 1015-4
Produits de collage structural (1504-4) (béton frais/béton durci ou plaques)	
Mesure de l'adhérence sur support à traiter ou sur substrat de référence (humide si collage béton frais/béton durci).	NF EN 12636 ou NF EN 12615
Mesure de la résistance en compression.	NF EN 12190-1 à 3
Mesure de la résistance au cisaillement.	NF EN 12615
Aptitude à l'application sur des surfaces verticales ou en sous-face.	NF EN 1799
Aptitude à l'application sur des surfaces horizontales.	NF EN 1799
Produits d'injection (1504-5)	
Essai d'injectabilité en milieu sec ou non-sec.	NF EN 1771 et NF EN 12618-2
Résistance en traction, allongement et module d'élasticité (Produits P).	NF EN ISO 527-1
Résistance à la compression et masse volumique (produits H).	NF EN 12190
Produits (P) de scellement (1504-5)	
Les essais d'identification suffisent.	
Résistance à la compression.	NF EN 1290
Consistance des mortiers frais.	NF EN 1015-4
Produits (H) de scellement (1504-6) :	
Ouvrabilité : essai d'écoulement des coulis et mortiers	NF EN 13395-2
Résistance à la compression.	NF EN 12190
Produits de protection contre la corrosion des armatures (1504-7)	
Thixotropie.	NF EN 13062
Dureté Shore D (à 7 jours).	NF EN ISO 868

Tableau n° 4 : essais d'identification et de performance

²² La norme **NF P 18-810**, plus précise, peut être utilisée à des fins d'identification préférentiellement à la norme **NF EN ISO 9514** relative à la mesure en laboratoire du délai maximal d'utilisation après mélange des systèmes de **revêtement multi-composants**.

Il faut noter que deux essais font référence à des normes de la série **P 18-8**** et qu'un autre essai fait référence à l'essai **BT-CRIS** décrit dans le **guide FABEM 4**.

Rappel important : lorsque les conditions environnementales (humidité, température...)... risquent de différer des conditions des essais normalisés, il y a lieu de réaliser des essais de performances lors de **l'épreuve d'étude**, voire lors de **l'épreuve de convenance**, en liaison avec le fabricant.

4.7.3.3 Réception des produits, matériaux et composants livrés sur le chantier

Divers produits, systèmes de produits, matériaux traditionnels et composants divers sont livrés sur un chantier de réparation et/ou renforcement. Il s'agit des ciments, des granulats, des adjuvants, des armatures de béton armé, des bétons... Tous ces produits et matériaux relèvent de normes et/ou de documents d'exécution comme le **DTU 21 (norme NF P 18-201)** ou le **fascicule 65 du CCTG**.

Le marché peut donc s'appuyer sur ces documents en les complétant suivant les spécificités des travaux à exécuter.

4.7.4 ÉPREUVE DE CONVENANCE

4.7.4.1 Généralités

La norme homologuée **NF P 95-101** rappelle qu'une **épreuve de convenance** a pour but de vérifier la conformité de la mise en œuvre des matériaux et produits de réparation par **l'entrepreneur** dans les conditions de réalisation des travaux. Les essais prévus **au marché** sont réalisés sur le site dans les conditions du chantier.

La norme **NF EN 1504-10** ne prévoit aucune **épreuve de convenance** mais uniquement **des contrôles d'exécution**. La norme **NF P 95-101** impose **deux épreuves de convenance**, l'une sur le traitement de surface et l'autre sur la mise en œuvre des produits (mortier ou béton).

L'épreuve de convenance (qui peut comporter plusieurs parties) développée ci-après a été élaborée à partir de l'ossature de ces différents documents et s'applique à **la réparation et/ou renforcement par armatures passives internes au béton** développée dans le présent guide.

Le marché détaille la consistance de **l'épreuve de convenance** et fixe ce qui relève des différents contrôles (interne et extérieur voire externe).

Les stipulations du marché sont reprises et complétées, si nécessaire, dans le **Plan d'Assurance de la Qualité (PAQ), les procédures et les documents de suivi**.

Toute épreuve de convenue se déroule en présence du **maître d'œuvre** et/ou de son représentant qui assurent la part des opérations liées au **contrôle extérieur**. L'**entrepreneur** effectue son **contrôle interne** défini par le **PAQ** et les stipulations du **marché**.

La réalisation des travaux ne peut commencer tant que les **épreuves de convenue** ne sont pas jugées satisfaisantes. Elles font partie du **POINT D'ARRÊT** dont la levée conditionne l'exécution des travaux.

L'ensemble des constatations effectuées lors des **épreuves de convenue** doit faire l'objet d'une **synthèse**, qui doit permettre de conclure sur la validité ou non des épreuves et sur les modifications éventuelles à apporter au **Plan d'Assurance de la Qualité** (et **documents de suivi**). Il appartient à l'**entrepreneur** de rédiger cette synthèse et de la remettre au **maître d'œuvre** qui, après examen, lève ou non le **POINT D'ARRÊT** relatif à l'exécution des travaux.

> **Pour la réparation et/ou renforcement par armatures passives internes au béton, l'épreuve de convenue concerne essentiellement les deux opérations suivantes :**

- la préparation du support béton et des armatures ;
- la mise en œuvre des produits.

Les essais qui sont effectués au cours d'une épreuve de convenue étant identiques à ceux effectués lors des contrôles, le présent guide fait les renvois nécessaires sans développer dans le détail l'épreuve de convenue relative à chaque méthode.

Ces deux opérations de convenue sont nettement séparées dans le présent paragraphe mais, sur le chantier, si cela est nécessaire, elles peuvent être enchaînées. Les résultats de ces deux épreuves doivent être positifs. Ils permettent au **maître d'œuvre** de prendre la décision de lever le **POINT D'ARRÊT** qui permet la réalisation des travaux.

4.7.4.2 Épreuve de convenue de préparation du support béton et des armatures

La consistance de cette **épreuve de convenue** est normalement fixée par le **marché**, qui complète, si nécessaire, les dispositions du présent guide. Elle est, en final, mise au point **dans la procédure de réparation**. Elle fixe, en particulier, les types et le nombre des essais à effectuer.

L'**entrepreneur** propose à l'acceptation du **maître d'œuvre** les surfaces de référence sur lesquelles sont appliquées les techniques de préparation du support béton et des armatures.

L'épreuve de convenance de préparation du support relative à une méthode particulière visée dans le présent guide peut avoir déjà été décrite dans un des autres guides de la collection FABEM. Dans ce cas, afin d'éviter des redites, le lecteur est invité à se reporter à ce guide. Les méthodes concernées et les guides correspondants sont listés dans le tableau suivant.

Important : Il est indispensable, outre les contrôles visuels, de vérifier l'efficacité de la préparation du support béton lors de l'épreuve de convenance par des essais de contrôle, une fois le mortier ou le béton mis en œuvre sur les surfaces de référence et durci (essai de traction directe, carottage... in situ). Les différents essais sont listés dans les normes de la série 1504-** et en particulier dans la norme NF EN 1504-10.

En effet, si les résultats de l'épreuve de convenance, après application du mortier ou du béton sont satisfaisants, étant donné que l'état des surfaces de référence est connu, tant sur le plan visuel que sur le plan des performances (essai de traction directe) avant toute application des produits et systèmes, on dispose des informations qui permettent de contrôler la qualité de la préparation du support du béton dans son ensemble.

Les numéros qui figurent dans la seconde colonne correspondent aux paragraphes du présent guide traitant des différents contrôles d'exécution décrits ci-après.

Méthode	N° des paragraphes et guide du STRRES
Mise en œuvre de produits ou systèmes (mortiers et bétons) en forte épaisseur par projection.	4.7.5.7.3.3 ci-dessous – FABEM 5
Injection de l'interface entre le produit de réparation et/ou de renforcement et le béton de la structure.	4.7.5.7.5 ci-dessous – FABEM 3
Scellement d'armatures.	4.7.5.5.2 ci-dessous – FABEM 1
Application d'un produit ou d'un système de produits de protection.	4.7.5.9 ci-dessous – FABEM 4
Mise en œuvre de produits et systèmes en forte épaisseur (mortiers et bétons) (sauf cas de mise en place par projection).	4.7.5.7.3.1 et 4.7.5.7.3.2 ci-dessous – FABEM 1
Mise en œuvre de produits ou systèmes de collage (béton frais sur béton durci).	4.7.5.7.4 ci-dessous – FABEM 1
Mise en œuvre d'armatures passives additionnelles internes au béton.	4.7.5.5.1 et 4.7.5.5.2 ci-dessous - FABEM 1
Mise en œuvre de revêtements actifs ou non sur les armatures.	4.7.5.6 ci-dessous – FABEM 1

Tableau n° 5 : correspondance entre les méthodes et les guides du STRRES

4.7.4.3 Épreuves de convenue de mise en œuvre des produits

> **Ces épreuves concernent :**

- les produits (mortiers et bétons) de réparation structurale ;
- les produits de scellement ;
- les produits de collage ;
- les produits d'injection ;
- les produits de protection des armatures ;
- les produits de protection du béton..

La consistance de **ces épreuves de convenue** est normalement fixée **par le marché**, qui complète, si nécessaire, les dispositions du présent guide. Elles sont, en final, mises au point **dans la procédure de réparation. Elles fixent, en particulier, les types et le nombre des essais à effectuer sur les produits frais ou durci.**

L'entrepreneur propose à l'acceptation du maître d'œuvre les surfaces de référence sur lesquelles sont appliquées les produits ou systèmes.

Rappel : Les essais qui sont effectués au cours d'une épreuve de convenue étant identiques à ceux effectués lors des contrôles, le présent guide fait les renvois nécessaires sans développer dans le détail l'épreuve de convenue relative à chaque méthode.

> **Chaque épreuve de convenue porte sur les quatre phases suivantes :**

- 1. la préparation de l'opération ;
- 2. la préparation des produits ;
- 3. la réalisation de l'opération ;
- 4. l'après réalisation de l'opération.

REMARQUE : l'épreuve de convenue sur la préparation des surfaces est traitée dans le paragraphe précédent ; il est possible de l'intégrer ici entre la phase 1 et la phase 2 en la considérant comme une cinquième phase.

Les 2 premières phases concernent les contrôles généraux, la 3ème l'essai de convenueance proprement dit et la 4ème les contrôles après mise en œuvre des produits.

Pour les différentes méthodes visées dans le tableau ci-après (analogue au tableau 5 ci-dessus), la consistance de l'épreuve de convenueance est donnée dans les guides de la famille FABEM listés dans la dernière colonne. Dans ces guides, comme dans le présent guide, les essais à effectuer lors de l'épreuve de convenueance sont ceux qui doivent être effectués lors des contrôles d'exécution relatifs aux 4 phases.

Les numéros qui figurent dans les trois colonnes centrales correspondent aux paragraphes du présent guide traitant des différents contrôles d'exécution décrits ci-après.

Méthode	N° des paragraphes			Guide du STRRES
	Préparation de l'opération	Préparation des produits	Réalisation de l'opération et l'après opération	
Mise en œuvre d'armatures passives additionnelles internes au béton	4.7.5.2.2 ci-dessous	4.7.5.4 ci-dessous	4.7.5.3 ci-dessous	FABEM 1
Scellement d'armatures.			4.7.5.5.2 ci-dessous	FABEM 1
Mise en œuvre de revêtements actifs ou non sur les armatures.			4.7.5.6 ci-dessous	FABEM 1
Mise en œuvre de produits ou systèmes de collage (béton frais sur béton durci).	4.7.5.7.2 ci-dessous		4.7.5.7.4 ci-dessous	FABEM 1
Mise en œuvre de produits et systèmes en forte épaisseur (mortiers et bétons) sauf par projection.			4.7.5.7.3.1 et 4.7.5.7.3.2 ci-dessous	FABEM 1
Mise en œuvre de produits ou systèmes (mortiers et bétons) en faible et forte épaisseur par projection.			4.7.5.7.3.3 ci-dessous	FABEM 5
Injection de l'interface entre le produit de réparation et/ou de renforcement et le béton de la structure.			4.7.5.7.5 ci-dessous	FABEM 3
Application d'un produit ou d'un système de produits de protection.		4.7.5.9 ci-dessous	FABEM 4	

Tableau n° 6 : correspondance entre les méthodes et les guides du STRRES

4.7.5 CONTRÔLES D'EXÉCUTION

4.7.5.1 Généralités

Les contrôles d'exécution des travaux ont pour but de vérifier qu'à tout instant du chantier, l'exécution des travaux est conforme aux spécifications du marché, complétées par les enseignements tirés des épreuves de convenueance.

La majeure partie des contrôles d'exécution à effectuer est définie dans le tableau 4 de la norme NF EN 1504-10, qui renvoie aux normes d'essai, voire aux autres normes de la série.

Pour les méthodes non traitées ou exclues de la norme européenne, les essais de contrôle peuvent s'appuyer, soit sur des normes spécifiques, soit sur les autres guides de la famille FABEM.

Les résultats des contrôles effectués lors de l'exécution d'une opération et/ou après l'exécution de cette opération sont validés par le maître d'œuvre. Dans le cas où les résultats ne correspondent aux performances prescrites, les non-conformités détectées doivent faire l'objet d'un traitement. L'entrepreneur propose à l'acceptation du maître d'œuvre les mesures correctives qu'il compte appliquer et procède à la mise en conformité.

La levée du POINT D'ARRÊT avant réception des travaux est liée à l'acceptation des résultats des différents contrôles effectués pendant et après l'exécution des travaux.

> Le tableau 4 susvisé de la norme NF EN 1504-10 liste les contrôles à effectuer lors de la mise en œuvre des différentes méthodes de réparation ou de renforcement traitées par cette norme aux différentes étapes de l'opération :

- préparation du support en béton et des armatures (contrôles avant et après la préparation) ;
- réception des produits et systèmes de produits, matériaux et composants (pour mémoire, se reporter au paragraphe correspondant ci-devant) ;
- préparation et mise en œuvre des produits et systèmes de produit, matériaux et composants (contrôles avant et après l'application) ;
- après la mise en œuvre (contrôles après durcissement).

Rappel : la norme ne précise pas le nombre des contrôles à effectuer, ni qui en est chargé. Il est donc indispensable que le marché précise ce qui relève du contrôle interne et ce qui relève du contrôle extérieur.

La consistance de ces contrôles d'exécution est normalement fixée par le marché, qui complète, si nécessaire, les dispositions du présent guide. Elle est, en final, mise au point dans la procédure relative à l'opération. Sont fixés, en particulier, les types et le nombre des essais à effectuer.

> Ces différents contrôles sont les mêmes que ceux effectués lors des différentes épreuves de convenue visées dans le paragraphe 4.7.4 ci-dessus. Ils portent sur les points suivants :

- la préparation du support béton et des armatures ;
- l'opération, qui comporte quatre phases :
 - la préparation de l'opération,
 - la préparation des produits,
 - l'exécution de l'opération,
 - l'après-exécution de l'opération.

Rappel : les contrôles de réception des produits sont effectués lors de leur arrivée sur le chantier. Ils figurent dans le paragraphe 4.7.3 ci-dessus.

La levée du **POINT D'ARRÊT** relatif à la réalisation de l'opération a lieu lorsque le **maître d'œuvre** valide les contrôles liés **aux épreuves de convenances**, ceux de préparation du support (béton et armatures) et ceux relatifs à la préparation de l'opération. La mise en œuvre des produits n'est autorisée qu'après validation des contrôles sur la préparation les produits.

4.7.5.2 Contrôles d'exécution sur la préparation du support béton et des armatures

Ce paragraphe est inspiré du **guide FABEM 1** mais avec quelques aménagements.

4.7.5.2.1 Généralités

La reconnaissance de l'état du support béton et des armatures fait normalement partie de **l'expertise préalable au diagnostic sur l'état de l'ouvrage** visée par le paragraphe 3.2 ci-dessus.

L'état du support et des armatures est confirmé par **le relevé contradictoire** visé par les paragraphes 3.1 et 4.6.3.1 ci-dessus.

La qualité du support béton et des armatures à obtenir **après leur préparation** est fixée par les paragraphes 4.6.3.2.2 et 4.6.3.2.3 ci-dessus.

> **Les contrôles d'exécution relatifs à la préparation du support béton et des armatures portent sur les points suivants :**

- la préparation de l'opération (matériel, personnel, accès, consignes...) ;
- la réception du support béton ;
- la réception des armatures apparentes.

ATTENTION, il est souvent nécessaire **de contrôler une première fois le support et les armatures**, avant la mise en place du mortier ou du béton de ré-enrobage des armatures ou de renforcement de la pièce, puis, **une seconde fois, après une nouvelle préparation de la surface de la pièce réparée**, avant l'application d'un éventuel **produit ou système de produits de protection...**

La levée du **POINT D'ARRÊT** avant la suite des travaux est liée étroitement à un résultat positif des contrôles de préparation du support béton et des armatures.

4.7.5.2.2 Contrôle d'exécution relatif à la préparation de l'opération

> **Le contrôle d'exécution relatif à la préparation de l'opération de traitement du support béton et des armatures porte sur les points suivants :**

- la validation par le **maître d'œuvre de l'épreuve de convenance de préparation du support et des armatures** ;
- l'acceptation par le **maître d'œuvre de la procédure** et des cadres des **documents de suivi** relatifs à l'opération ;
- la présence et la prise de connaissance de tous les documents nécessaires (**procédure d'exécution, documents de suivi**, fiches techniques et de sécurité, modes d'emploi et d'entretien des matériels...) ;
- l'existence des documents donnant l'état de surface du support relevé contradictoirement (avec les résultats des essais effectués à cette occasion) et l'état de surface à obtenir. Ces documents sont à annexer à la **procédure** ;
- la mise en place des moyens d'accès et leur contrôle, suivant leur importance et si nécessaire, par les organismes habilités et en particulier le **coordonnateur SPS** ;
- la mise en place des dispositifs de protection pour assurer la préservation de l'environnement, la sécurité et la santé des usagers et des tiers ;
- la mise en place des dispositifs de protection pour éviter la pollution par la poussière, les salissures... des surfaces déjà traitées ;

- l'approvisionnement, la mise en place et la vérification du bon état, du bon fonctionnement et de l'étalonnage (si besoin est) du matériel nécessaire à l'opération ;
- l'approvisionnement des matériaux et produits et la validation des contrôles de leur réception ;
- la présence des fiches techniques et des fiches de données de sécurité des produits à utiliser ;
- la présence d'un personnel qualifié et informé des travaux à effectuer ainsi que des consignes à respecter conformément à **la procédure**. La soudure des armatures de béton armé impose un personnel qualifié (voir **les certificats AFCAB** : pose et soudage) ;
- la présence des équipements d'hygiène et de sécurité collectifs ou individuels ;
- la présence des instruments nécessaires aux mesures, contrôles et essais à effectuer en particulier pour le contrôle des soudures des armatures de béton armé ;
- la présence, si besoin est, **du laboratoire** chargé des contrôles et des essais ;
- la vérification que toutes les personnes pouvant se trouver dans l'environnement du chantier ont été informées des consignes de sécurité à respecter ;
- les conditions climatiques permettant d'effectuer l'opération ;
- etc.

4.7.5.2.3 Contrôles d'exécution sur la préparation du support béton

Rappel : la préparation du support béton visée ci-après précède la réparation et/ou le renforcement.

4.7.5.2.3.1 Généralités

Les surfaces de référence de l'essai de convenance de préparation du support peuvent servir pour les contrôles visuels de préparation du support béton.

> La qualité du support béton à obtenir après sa préparation est fixée par les paragraphes suivants :

- 4.6.3.2.2 ci-dessus, relatif aux tolérances de réalisation et aux exigences de résultats sur la préparation du support béton ;
- 4.6.3.2.4 ci-dessus, relatif aux exigences de résultats sur le nettoyage du support béton ;

- 4.6.3.2.5 ci-dessus, relatif aux exigences particulières de préparation du support en fonction de la nature des produits ou systèmes de produits utilisés et de l'état du support béton ;
- 4.6.3.2.6 ci-dessus, relatif aux exigences particulières de préparation du support en fonction de la technique de réparation à mettre en œuvre mais qui est traitée par un des autres guides FABEM.

Les contrôles à effectuer doivent porter sur le respect des exigences développées dans ces divers paragraphes. Les paragraphes qui suivent listent les points à contrôler en s'appuyant sur les exigences à satisfaire.

Les essais sur le support béton et/ou les armatures pour détecter des phénomènes de corrosion figurent dans le paragraphe 4.7.5.2.4 ci-dessous. Dans la pratique, ils sont à effectuer en même temps que ceux concernant le support béton.

> Dans les paragraphes qui suivent sont développés les contrôles d'exécution de la préparation du support béton dans les 5 cas suivants :

- la reprise de bétonnage ;
- la réalisation d'engravures ;
- le collage béton frais sur béton durci ;
- l'injection périphérique de collage ;
- le scellement d'armatures.

4.7.5.2.3.2 Contrôles d'exécution sur la préparation du support béton en vue d'une reprise de bétonnage

REMARQUE : des indications complémentaires peuvent être trouvées dans l'article A9 de l'annexe A informative de la norme **NF EN 1504-10**, qui explicite comment procéder **aux observations et essais**. De plus, il faut se reporter **au tableau 4** de la norme pour identifier les contrôles utiles **dans certaines utilisations prévues** ou dans **des applications spéciales (particulières)**.

La réparation et/ou le renforcement comportant **des reprises de bétonnage** (normalement traversée par des armatures), les règles de l'art du **DTU 21** et du **fascicule 65 du CCTG** s'appliquent.

> Les contrôles à effectuer «avant ou après ou bien avant et après» la préparation du support peuvent porter sur tout ou partie des points suivants :

- le contrôle porte sur l'aspect visuel de la surface de reprise de bétonnage et sur le son franc que rend le béton sain au sondage sonique (marteau). Ces deux tests subjectifs peuvent être complétés par des essais in situ ou en laboratoire en fonction de l'origine des désordres et du mode de mise en œuvre du mortier ou du béton de réparation et/ou de renforcement ;
- la géométrie de la structure et la planéité des parois doivent respecter les exigences du marché (se reporter aux normes [DTU 21] et aux documents à caractère normatif [fascicule 65 du CCTG] en vigueur faute d'information dans la norme sur l'essai n°3). Les mesures de planéité se font à la règle de 2 m et au réglet de 20 cm, celles de verticalité au fil à plomb..., dans le but de procéder :
 - lors de la préparation du support béton :
 - aux corrections, qui peuvent être faites par repiquage, enlèvement, ponçage..., du béton en surépaisseur,
 - aux ragréages localisés, pour faire les corrections des manques de béton au droit des flaches existantes, des nids de cailloux de la pièce endommagée à réparer...,
 - après mise en œuvre et durcissement des produits et systèmes :
 - aux corrections des défauts de surface (surépaisseurs, trous, balèvres...) qui rendant le support béton inapte à recevoir un traitement de finition (par exemple, un produit ou un système de produits de protection) ;
- l'absence de décollements (délaminations, vides...) est à mesurer par sondage au marteau de la pièce endommagée à réparer, avant la préparation de la partie à réparer et/ou renforcer (détection de désordres non repérés lors des études préalables (se reporter à l'essai n°1 de la norme NF EN 1504-10) ;



Photo n° 15 : sondage au marteau (crédit photo Parexlanko)

NOTA : d'autres techniques nécessitant l'aide d'un laboratoire comme l'impact-écho, la thermographie infrarouge, les techniques ultrasonores, le géoradar ..., qui permettent un contrôle rapide de surfaces importantes, peuvent être utilisées pour repérer les zones de délamination, les feuilletages, les couches de qualités différentes, les vides, les nids de cailloux et les inclusions.

- **le contrôle porte également sur la méthode de nettoyage** (brossage, aspiration, soufflage, lavage, etc.), après le repiquage ou l'enlèvement du béton, qui doit être compatible avec l'état du support sec ou humide imposé par la notice technique du produit ou système à appliquer, ainsi que par les normes ou les documents à caractère normatif. Ce contrôle comporte donc aussi un examen visuel des surfaces nettoyées ;
- **la propreté du support béton** est à mesurer par un examen visuel et un essuyage ayant pour but de détecter, après la préparation et juste avant la mise en œuvre du mortier ou du béton de réparation et/ou renforcement (se reporter à l'essai n°2 de la norme) :
 - la poussière,
 - les détritrus,
 - les salissures,
 - les traces de graisse...

Rappel : avant l'application du mortier ou du béton, le support béton doit parfois être humidifié, recevoir une barbotine ou un encollage...

■ **la rugosité du support** est à mesurer, soit par un examen visuel, soit par un essai normalisé (NF EN 1766, NF EN ISO 3274 et NF EN ISO 4288). La mesure de la rugosité est à effectuer si les essais d'adhérence lors de l'épreuve de convenue en ont montré la nécessité (se reporter à l'essai n°4 de la norme NF EN 1504-10) ;

■ **la résistance à la traction du béton support** est à mesurer par des essais normalisés de la norme NF EN 1542. Cette résistance doit être connue à cause des exigences structurales liées à la réparation et/ou au renforcement et en cas de doute sur la qualité du support (se reporter à l'essai n°5 de la norme NF EN 1504-10) ;



Photo n° 16 : essai de traction de surface (crédit photo VSL France)

NOTE SUR L'ADHÉRENCE (interprétation de l'essai 5 susvisé) :

- lorsqu'on mesure d'adhérence entre les produits ou les systèmes de produits de réparation structurale et le béton support, l'adhérence ne peut jamais dépasser la résistance superficielle à la traction du béton support. De plus, les valeurs mesurées sur site sont comprises entre 1,2 MPa et 1,5 MPa pour les réparations structurales et au moins égales 0,8 MPa pour les réparations non structurales, alors que, dans les essais de laboratoire, les valeurs planchers d'acceptation des produits sont plus nettement élevées (se reporter au tableau 3 de la norme **NF EN 1504-3**) ;
- c'est également le cas pour la mesure de l'adhérence entre les produits ou les systèmes de produits de protection de surface des bétons et le béton support : l'adhérence ne peut jamais dépasser la résistance superficielle à la traction du béton support alors que dans les essais de laboratoire, les valeurs planchers d'acceptation des produits sont plus nettement élevées (se reporter aux tableaux 4 et 5 de la norme **NF EN 1504-2**).

- **les mouvements de fissures** qui seraient découvertes dans une partie de la structure non accessible au moment des études préalables sont à mesurer au moyen de jauges électriques ou mécaniques (se reporter à l'essai n°7 de la norme **NF EN 1504-10**). Dans un tel cas, **les travaux doivent être stoppés** jusqu'à identification de l'origine du désordre. Un tel problème peut imposer la remise à plat du projet de réparation et/ou renforcement en cours ;
- **les vibrations de la structure** sont à mesurer au moyen d'un accéléromètre si les travaux d'application du produit ou du système doivent se dérouler en maintenant l'ouvrage en service (se reporter à l'essai n°8 de la norme **NF EN 1504-10**) ;

NOTE : les vibrations sont à redouter, par exemple pour le béton projeté. **L'épreuve de convenance** doit permettre de savoir si les vibrations peuvent nuire aux caractéristiques du produit ou du système de produits (par exemple, par des mesures d'adhérence...). Les produits et systèmes de produits à mettre en œuvre doivent avoir satisfait aux exigences de performance pour **les applications particulières**. Se reporter au **FABEM 5** dans le cas du béton projeté.

- **la teneur en eau du support** est à mesurer au moyen d'un essai de résistivité, à l'aide de sondes d'humidité... dans le cas où la fiche technique du produit ou du système à appliquer limite son emploi en présence d'humidité. Pour les produits et systèmes à base de liants hydrauliques, l'eau libre doit être ressuyée tout en conservant le support humide (se reporter à l'essai n°9 de la norme **NF EN 1504-10** et au **guide FABEM 1**).

Rappel : Les contrôles d'exécution sur la préparation du support, en cas de mise en place du produit ou du système par projection, relèvent de la norme **NF EN 14487-2** et du **guide FABEM 5**.

Si le produit ou le système de produits utilisé pour la réparation et/ou le renforcement est mis en place en **plusieurs passes successives**, il faut contrôler avant chaque passe la qualité du support et veiller à respecter le délai entre les couches fixé par la fiche technique du produit ou système ou par les règles de l'art.

Le contrôle du support béton doit être associé au contrôle de **l'état des armatures existantes**, en particulier, vis-à-vis de la corrosion. **Ce contrôle des armatures est décrit ci-après.**

4.7.5.2.3.3 Contrôles d'exécution sur la préparation du support dans le cas de la réalisation d'engravures

Rappel : la réalisation des encoches impose que le béton soit de bonne qualité et que les armatures existantes présentent un enrobage suffisant et surtout régulier sur toute la partie de la pièce concernée. Il est donc indispensable que les caractéristiques mécaniques de la peau du béton (sur quelques centimètres de profondeur) soient évaluées et que la position de ces armatures, mesurée au pachomètre, au radar..., soit effectuée et ceci pendant les études préalables et non au moment des travaux.

Au moment des travaux, le tracé des encoches est précédé d'un contrôle du positionnement des armatures existantes risquant d'être endommagées lors de la réalisation des encoches (position en X, Y, Z, y compris l'épaisseur du béton de couverture). Ensuite les encoches sont réalisées en suivant **la procédure** mise au point lors de l'épreuve de convenance.

> Les contrôles pendant la réalisation des encoches portent sur les points suivants :

- les opérations liées au tracé des encoches ;
- le respect du tracé des encoches ;
- la profondeur des encoches ;
- l'absence d'endommagement et de sectionnement des armatures existantes ;
- la rugosité des parois des encoches pour améliorer l'adhérence avec le mortier de remplissage ;
- la propreté des encoches.

4.7.5.2.3.4 Contrôles d'exécution sur la préparation du support dans le cas d'un collage béton frais sur béton durci

Dans une telle opération, le collage a pour but d'améliorer l'adhérence entre les deux bétons au niveau de la reprise de bétonnage. L'état du support doit pouvoir permettre d'effectuer la reprise de bétonnage dans les règles de l'art.

Les contrôles d'exécution sur la préparation du support sont les mêmes que ceux exercés dans le cas visé par le paragraphe 4.7.5.2.3.2 ci-dessus.

4.7.5.2.3.5 Contrôles d'exécution sur la préparation du support dans le cas d'une injection de l'interface entre le produit de réparation ou de renforcement et le béton support

Les contrôles d'exécution à effectuer sur la préparation du support, avant la réalisation d'une injection de fissures, sont détaillés dans **les tableaux n°3 et n°4** de la norme **NF EN 1504-10** et dans le **guide FABEM 3**.

4.7.5.2.3.6 Contrôles d'exécution sur la préparation du support dans le cas de scellement d'armatures de béton armé

Le scellement d'armatures de béton armé est lié à **une opération de réparation ou de renforcement**. Les armatures de béton armé scellées dans le béton d'une structure sont destinées, soit à remplacer des armatures endommagées, soit à augmenter la section des armatures ou, enfin, à assurer le rôle d'armatures de couture de la reprise de bétonnage. Ce scellement est exécuté conformément aux dispositions du paragraphe 4.6.4.4.

Une telle opération doit être précédée **d'un contrôle de l'état, vis-à-vis de la corrosion, des armatures existantes**.

Les contrôles d'exécution sur la préparation du support portent, d'une part, sur **la préparation des trous** qui doivent présenter les dimensions, la propreté et la rugosité requises et, d'autre part, sur **la préparation du reste du support, voire des armatures existantes**, pour que la reprise de bétonnage puisse être effectuée suivant les règles de l'art.

Les contrôles d'exécution à effectuer sur **la préparation des trous**, avant la réalisation des scellements des armatures de béton armé, sont détaillés dans **le tableau n°4** de la norme **NF EN 1504-10**.

Les contrôles d'exécution à effectuer sur **la préparation du reste du support et des armatures existantes** sont détaillés dans les paragraphes 4.7.5.2.3.2 à 4.7.5.2.3.6 ci-dessus.

4.7.5.2.4 Contrôles d'exécution sur la préparation des armatures existantes

4.7.5.2.4.1 Généralités

ATTENTION, les surfaces de référence qui ont servi lors de l'essai de convenance de préparation des armatures ne peuvent servir que partiellement ensuite pour les contrôles visuels de préparation des armatures, puisque la rouille réapparaît très rapidement sur des armatures décapées «à blanc».

> La qualité de préparation des armatures à obtenir est fixée par les paragraphes suivants :

- 4.6.3.2.3 et 4.6.4.5 ci-dessus, relatifs aux exigences sur la préparation des armatures ;
- 4.6.3.2.4 ci-dessus relatif aux exigences de résultats sur le nettoyage du béton et des armatures.

Les contrôles à effectuer doivent porter sur le respect des exigences développées dans les trois paragraphes susvisés ainsi que dans les deux paragraphes qui suivent.

4.7.5.2.4.2 Contrôles pendant et après dégagement des armatures et avant leur préparation

> Dans tous les cas :

Un premier contrôle porte sur la stabilité de la structure. Le dégagement d'un grand nombre d'armatures sur de grandes longueurs n'est autorisé que s'il est prévu au contrat et si toutes les sécurités corrélatives (étais, etc.) ont été mises en œuvre ;

Il faut vérifier la concordance entre les plans de ferrailage et le ferrailage existant dégagés par le repiquage du béton (position, enrobage et diamètres).

> Dans le cas où la réparation et/ou le renforcement concernent un ouvrage récent situé dans un environnement peu agressif :

Il n'est, normalement, pas nécessaire de contrôler l'état des armatures et la présence d'agents agressifs dans le béton, sauf en cas de doute sur leur enrobage ou la qualité du béton.

> **Dans les autres cas, l'éventuelle la corrosion des armatures est à rechercher :**

Il faut donc déterminer si les armatures sont corrodées et mesurer la profondeur de pénétration des agents agressifs et/ou leur dosage... **Ces mesures correspondantes sont, normalement, à effectuer lors de l'expertise** et portent sur la zone à réparer, mais aussi sur tout ou partie de la structure.

> **Les différents essais utilisables pour faire les contrôles susvisés sont les suivants :**

- **la profondeur de carbonatation** est à mesurer au moyen d'un réactif coloré, en général la phénophtaléine, conformément à la norme **NF EN 14630**. Ensuite, elle est à comparer à l'enrobage des armatures (se reporter à l'essai n°11 de la norme **NF EN 1504-10**) ;
- **la teneur en chlorures** est à mesurer si une telle pollution est à redouter. Les mesures sont effectuées en laboratoire sur des échantillons prélevés sur site conformément à la **NF EN 14629**. La mesure s'effectue à diverses profondeurs, de manière à déterminer le profil des chlorures libres (dosage en fonction de la profondeur). Le profil des chlorures est à comparer à l'enrobage des armatures (se reporter à l'essai n°12 de la norme **NF EN 1504-10**) ;
- **la pénétration d'autres polluants**, par exemple en cas d'agression chimique, est à mesurer par des prélèvements effectués sur place. Les analyses se font en laboratoire (se reporter à l'essai n°13 de la norme **NF EN 1504-10**) ;
- **la corrosion des armatures existantes** peut être estimée par un examen visuel après avoir dégagé les armatures de leur couverture de béton. Cet examen ne permet pas de connaître l'état des autres armatures non apparentes. Pour ces dernières, **la mesure du potentiel d'électrode** (se reporter aux recommandations ASTM **[C876-91]** ou **RILEM [TC 154-EMC]**) permet de détecter les zones où la corrosion est peu probable, incertaine ou très probable (se reporter à l'essai n°18 de la norme). Des mesures de **la résistivité électrique apparente ou de la vitesse de corrosion** (cette dernière mesure ne figure pas dans la norme **NF EN 1504-10**) peuvent compléter les mesures du potentiel ;
- **la résistivité électrique apparente** permet de détecter les zones de corrosion actives, c'est-à-dire, là où le degré d'humidité du béton est élevé. Dans ces zones, la résistivité apparente est faible. Dans le cas de traitements électrochimiques, il faut aussi mesurer la résistivité apparente du matériau de réparation (se reporter à l'essai n°15 de la norme **NF EN 1504-10**) ;
- **la position et l'enrobage des armatures** sont à déterminer, par exemple, s'il y a probablement une corrosion des armatures (dans les zones où la profondeur de carbonatation doit être mesurée ou si une mesure du potentiel d'électrode est prévue), si des armatures doivent être scellées, pour valider les plans de ferrailage... (cette mesure ne figure pas dans le tableau n°4 de la norme **NF EN 1504-10**) ;
- **les dimensions des armatures existantes** sont à mesurer mécaniquement (par exemple, au pied à coulisse...) dans le cas où la corrosion a entraîné une réduction de la section des armatures passives. Cette mesure est nécessaire au recalcul de la capacité portante de la structure (se reporter à l'essai n°17 de la norme). Le cas des armatures actives est traité dans le **guide FABEM 8** ;

- la propreté des armatures existantes est à vérifier si la méthode de réparation impose, soit de simplement nettoyer l'armature pour enlever la rouille non adhérente, soit de décaper l'armature jusqu'au degré SA2 ou SA2^{1/2} de la norme ISO 8501-1 (se reporter à l'essai n°16 de la norme NF EN1504-10) ;

Les limites d'une réparation locale d'un béton dégradé

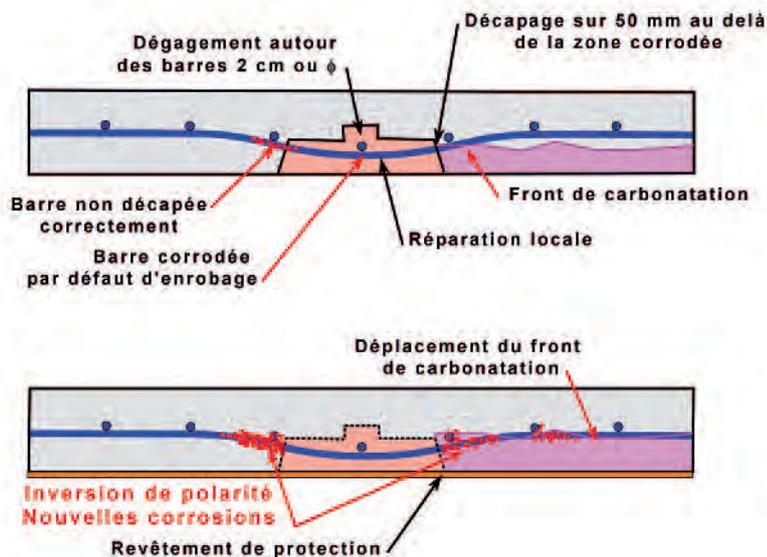


Figure n° 32 : conséquences si les principes à respecter lors du dégagement d'armatures corrodées ne sont pas respectés, même si le revêtement de protection ralentit la vitesse de carbonatation

4.7.5.2.4.3 Contrôles d'exécution sur les armatures existantes après leur préparation

> Les contrôles d'exécution portent :

- l'absence d'endommagements ou de déformations anormales des armatures pouvant avoir une incidence sur leurs caractéristiques mécaniques ;
- la géométrie des armatures, qui doivent permettre la mise en place et la transmission des efforts aux armatures à remplacer ou à ajouter suivant le mode d'assemblage retenu (recouvrement, soudure ou manchonnage) ;

Rappel : les parties de barres pliées puis redressées ne peuvent comporter de soudures.

- la qualité du décapage des armatures corrodées avant la mise en œuvre d'un revêtement contre la corrosion, si celui-ci est nécessaire ou prévu. Le degré de décapage est du niveau **SA2** ou **SA2^{1/2}** de la norme **ISO 8501-1** suivant la nature des produits de protection (il s'agit de l'essai n°16 de la norme **NF EN 1504-10**) ;
- la propreté des armatures et l'absence de toute rouille adhérente si un décapage à blanc n'est pas nécessaire (cas de la mise en place du mortier ou du béton en projection par voie sèche) ;
- la présence d'un revêtement de protection contre la corrosion si la mise en place des armatures de remplacement ou d'ajout se trouve retardée.
- si un revêtement contre la corrosion a été mis en place, les aciers doivent être parfaitement recouverts sur toute leur surface mais le produit ne doit pas baver sur le béton. Cette application peut aussi concerner les armatures de remplacement et/ou celles ajoutées (se reporter au paragraphe 4.7.5.6 ci-dessous qui traite des contrôles à effectuer).

4.7.5.3 Contrôles lors de la préparation des opérations

> Il s'agit des contrôles à effectuer lors de la préparation des différentes opérations développées ci-après et relatives à la mise en œuvre :

- d'armatures de remplacement ou d'ajout ;
- de revêtements actifs ou non sur les armatures ;
- de produits (béton, mortiers...)

> Les contrôles d'exécution relatifs à la préparation des différentes opérations susvisées portent sur les points suivants :

- le constat de la réalisation **des opérations préalables** : la préparation du support (béton et armatures), **l'épreuve de convenue** relative à l'opération à effectuer ;
- la présence et la prise de connaissance de tous les documents nécessaires (**procédure d'exécution, documents de suivi**, fiches techniques et de sécurité des produits et systèmes, modes d'emploi et d'entretien des matériels...) ;
- l'acceptation par **le maître d'œuvre du support (béton et armatures) après sa préparation et des contrôles correspondants** ;
- l'acceptation par **le maître d'œuvre de la procédure et des cadres des documents de suivi** relatifs à l'opération ;
- la mise en place des moyens d'accès et leur contrôle, suivant leur importance et si nécessaire, par les organismes habilités et, en particulier, le coordonnateur SPS, voire le chargé des ouvrages provisoires (COP) ;

- la mise en place des dispositifs de protection pour assurer la préservation de l'environnement, la sécurité et la santé des usagers et des tiers ;
- la mise en place des dispositifs de protection pour éviter la pollution par la poussière, les salissures... des parties en cours de traitement ou déjà traitées ;
- l'approvisionnement, la mise en place et la vérification du bon état, du bon fonctionnement et de l'étalonnage (si besoin est) du matériel nécessaire à l'opération ;
- l'approvisionnement des matériaux et produits ;
- la présence des fiches techniques et des fiches de données de sécurité des produits à utiliser ;
- la présence d'un personnel qualifié et informé des travaux à effectuer ainsi que des consignes à respecter conformément à **la procédure**. La projection du béton impose une qualification **ASQUAPRO** du porte-lance... ;
- la présence des équipements d'hygiène et de sécurité collectifs ou individuels ;
- la présence des instruments nécessaires aux mesures, contrôles et essais à effectuer ;
- la présence, si besoin est, du laboratoire chargé des contrôles et des essais ;
- la vérification que toutes les personnes pouvant se trouver dans l'environnement du chantier ont été informées des consignes de sécurité à respecter ;
- la constatation du respect des exigences en matière de température et d'hygrométrie de l'atmosphère et du support. Ces mesures sont à renouveler durant toute l'application de la protection, à chaque reprise du travail et en cas de changement climatique. Les moyens de protection contre les précipitations, l'ensoleillement direct, le vent fort (dessiccation)... doivent être disponibles sur le chantier et mis en œuvre, si nécessaire ;
- etc.

Le **tableau A2** de la norme européenne harmonisée **NF EN 1504-10** résume les exigences en matière de température et d'hygrométrie pour **l'application des produits et systèmes** lors de la mise en œuvre de la majeure partie des 16 méthodes «de restauration du béton et/ou de renforcement structural ou de restauration et/ou de préservation de la passivité des armatures».

> **Ces exigences sont les suivantes :**

- **la température du support** est à mesurer avec un thermomètre de surface. Celle-ci doit normalement être comprise entre +5°C et +30°C (se reporter à l'essai n°10) ;
- **en cas de précipitations**, le chantier doit mettre en œuvre les dispositifs de protection, sauf lorsque les produits et systèmes peuvent être appliqués sur des supports humides mais non ruisselants (se reporter à l'essai n°23) ;

- **la vitesse du vent** est à mesurer avec un anémomètre présent en permanence sur le chantier. La vitesse à ne pas dépasser est d'environ 8m/s, soit 30 km/h afin d'éviter une évaporation trop rapide (se reporter à l'essai n° 24) ;
- **la température du support** doit être $> +3^{\circ}\text{C}$ au dessus du point de rosée. La température de l'air est à mesurer avec un thermomètre disponible en permanence sur le chantier (se reporter à l'essai n° 25) et l'humidité relative de l'air par les moyens visés par les normes **ISO 477 1** et **ISO 477 2** (se reporter à l'essai n° 22) ;
- **la teneur en eau du support et des fissures** est à contrôler, soit visuellement (support sec, humide ou mouillé), soit à l'aide de sondes d'humidité. La présence ou non d'humidité est fonction de la nature du produit (se reporter à l'essai n° 9) ;
- etc.

Certaines des méthodes, comme l'ajout d'armatures passives internes au béton, l'ajout de forces, les traitements électrochimiques et la réinjection des conduits de précontrainte, peuvent faire l'objet d'exigences particulières en matière de température et d'hygrométrie.

4.7.5.4 Contrôles lors de la préparation des produits

Ce paragraphe est inspiré du **guide FABEM 1**, mais avec quelques aménagements.

4.7.5.4.1 Généralités

> **Ce paragraphe concerne les contrôles qui sont opérés sur le chantier, voire en centrale lors :**

- de la préparation des produits prêts à l'emploi (monocomposant et multicomposants) ;
- de la préparation (pesée, mélange des matériaux, des additions, des adjuvants...) des produits fabriqués sur chantier (essentiellement des mortiers et des bétons) ;
- de la préparation et de la réception des produits fabriqués en centrale et livrés sur le chantier (essentiellement des mortiers et des bétons).

> **Pour les trois fabrications susvisées, il faut s'assurer :**

- de la validation de l'épreuve de convenance ;
- de la présence de **la procédure, des documents de suivi**, des fiches techniques et des fiches de données de sécurité ;
- de l'amenée des composants, matériaux, ajouts... nécessaires à la fabrication ;

- du bon état de fonctionnement, y compris le tarage des matériels nécessaires à la fabrication et au transport des produits. Est également concerné le matériel de secours en cas de panne ;
- de la présence du personnel chargé de la fabrication et de sa qualification ;
- de la présence des moyens de contrôle et de leur étalonnage ;
- de la présence du laboratoire chargé des contrôles ;
- du respect des conditions climatiques requises pour la fabrication et la mise en œuvre des produits.

Le marché fixe les contrôles à opérer ainsi que le nombre des essais à effectuer en fonction des exigences de performance recherchées en se basant sur les normes et autres documents de référence.

4.7.5.4.2 Contrôle de la préparation des différents produits et systèmes de produits prêts à l'emploi

La fabrication consiste à mélanger ces produits. Il faut s'assurer du respect des prescriptions de **la procédure** basée sur les fiches techniques.

Ces produits ayant un **temps d'utilisation** limité, fonction des conditions thermiques et hygrométriques et des quantités fabriquées, il faut s'assurer que ce temps est respecté.

Les normes produits de la série **NF EN 1504-*** et la norme **NF EN 1504-10** donnent les essais qui peuvent être effectués sur les produits frais ou durcis (se reporter aux tableaux du paragraphe 4.7.3.2.2 ci-dessus qui donne la liste des essais d'efficacité). Le marché fixe la consistance des contrôles et le nombre des essais à effectuer.

> Les contrôles d'exécution lors de la préparation des produits à base de résines de synthèse ou de liants hydrauliques modifiés par des résines portent sur :

- les exigences en matière de température et d'hygrométrie (voir l'article 4.7.5.7 ci-dessous) ;
- le respect des règles de sécurité liées aux fiches techniques ;
- l'étiquetage des pots ou des bidons, pour vérifier que le produit est bien celui à mettre en œuvre (nature et couleurs) et que la date de péremption n'est pas dépassée ;
- la présence des composants nécessaire à l'élaboration du produit ou système de protection ([base + durcisseur] ou [résine en émulsion + charges] pour les bicomposants, [base + durcisseur + charges] pour les tricomposants...);

- la qualité apparente des différents composants à l'ouverture des récipients ;
 - le transvasement de la totalité des composants dans le récipient réservé au mélange (en général celui qui contient la base) et dans l'ordre fixé par la fiche technique. Toute erreur à ce niveau risque d'entraîner un défaut de durcissement du produit et la perte de ses performances ;
 - l'outil de mélange des composants, qui doit être identique ou le même que celui utilisé durant l'épreuve de convenance (même puissance, même vitesse...) afin de minimiser l'inclusion de bulles d'air, l'échauffement du mélange ;
 - le temps de mélange ;
 - l'homogénéité du produit (absence de grumeaux) et de sa teinte à la fin du mélange ;
 - le temps de mûrissement avant utilisation ;
 - la réalisation des prélèvements qui peuvent être nécessaires pour effectuer les essais liés aux usages des produits (injection, collage, ragréage...) :
 - l'ouvrabilité (**NF EN 13395-1, NF EN 13395-2 et NF EN 13395-3**),
 - la viscosité (**NF EN ISO 3219**),
 - la durée de vie en pot ou durée pratique d'utilisation (DPU) pour les produits à base de résines (se reporter à la norme **NF P 18-810** ou à la norme **NF EN ISO 9514**),
 - le temps de raidissement (**NF EN 13294**),
 - la dureté Shore D pour les produits rigides (≥ 60) après polymérisation (**NF EN ISO 868**) ;
 - etc. ;
- > **Les contrôles d'exécution lors de la préparation des produits à base de liants hydrauliques portent sur :**
- le respect des règles de sécurité liées aux fiches techniques ;
 - l'étiquetage des sacs pour vérifier que le produit est bien celui à mettre en œuvre (nature et couleur) et que la date de péremption n'est pas dépassée ;
 - la qualité apparente du produit à l'ouverture du sac (absence de mottes...) ;
 - la machine de malaxage des composants, qui doit être identique ou la même que celle utilisée durant l'épreuve de convenance (même capacité, même puissance, même vitesse...) afin d'obtenir le malaxage requis ;
 - la vérification que tous les composants nécessaires ont été introduits dans l'auge (malaxage ou avec un mélangeur à hélice) ou la cuve (malaxage mécanique) affectée au mélange, dans l'ordre et en respectant les quantités conformément à **la procédure** d'exécution (normalement, les produits prêts à l'emploi sont prédosés et la totalité de la charge du sac ou du récipient doit être utilisée conformément à la fiche technique) ;

- la quantité d'eau ajoutée, qui doit être celle prévue dans la fiche technique (la température de l'eau est à vérifier, si nécessaire) ;
- le temps de malaxage ;
- l'homogénéité du produit (absence de grumeaux) et de sa teinte à la fin du mélange ;
- la réalisation des prélèvements qui peuvent être nécessaires pour effectuer les essais liés aux usages des produits (injection, collage, ragréage...) :
 - l'ouvrabilité (**NF EN 13395-1**, **NF EN 13395-2** et **NF EN 13395-3**),
 - temps d'écoulement au cône de Marsh (**NF EN 14117**),
 - le temps de raidissement (**NF EN 13294**),
 - le temps de prise (**NF EN 196-3**) ;
 - etc.

4.7.5.4.3 Contrôle de la préparation des produits fabriqués sur le chantier

S'il s'agit de produits de réparation structurale (mortiers ou bétons), il faut s'assurer que les produits fabriqués satisfont aux exigences du marché basées sur les exigences de performance de la norme **NF EN 1504-3** en fonction des conditions d'utilisation prévues.

L'épreuve d'étude a normalement validé la composition du mélange pour les performances exigées et l'épreuve de convenance a permis de mettre au point la procédure de fabrication.

Lors de la fabrication, il faut s'assurer du respect de la procédure validée et du temps d'utilisation.

Les essais à effectuer sont listés par la norme **NF EN 1504-3** et la norme **NF EN 1504-10**. Le marché fixe le nombre des essais à effectuer.

S'il s'agit de mortiers ou bétons courants, les contrôles et les essais à effectuer sont ceux visés par la norme **NF EN 206-1** et les textes de référence comme le **DTU 21** et le fascicule **65 du CCTG**. Le marché fixe la consistance et le nombre des essais à effectuer.

S'il s'agit de mortiers ou bétons projetés par voie sèche ou par voie mouillée, les contrôles et les essais sont ceux visés par les normes **NF EN 14487-1**, **NF EN 14487-2** et **NF P 95-102** (voir aussi le guide **FABEM 5** et les fascicules **ASQUAPRO**). Le marché fixe la consistance des contrôles et le nombre des essais à effectuer.

> **Les contrôles d'exécution lors de la préparation sur chantier des produits à base de liants hydrauliques sont ceux de la seconde liste du paragraphe 4.7.5.4.2 ci-dessus, auxquels il faut ajouter :**

- l'état et l'étalonnage des moyens de pesée,
- la vérification que les adjuvants nécessaires ont été introduits en respectant les quantités fixées dans la procédure d'exécution,
- etc.

4.7.5.4.4 Contrôle de la préparation des mortiers et bétons fabriqués en centrale

Les contrôles et les essais à effectuer sont classiques : ils figurent dans le tableau 4 de la norme **NF EN 1504-10**, dans la norme **NF EN 206-1** et dans les textes de référence, comme le **DTU 21** et le **fascicule 65 du CCTG**, documents auxquels le lecteur est invité à se reporter. **Le marché** fixe la consistance des contrôles et le nombre des essais à effectuer.

4.7.5.5 Contrôles d'exécution sur la mise en œuvre des armatures de remplacement ou d'ajout

> Les armatures remplacées ou ajoutées relèvent :

- soit de la mise en œuvre traditionnelle des armatures de béton armé ;
- soit d'une mise en œuvre particulière lorsque les armatures doivent être scellées (ancrées) dans le béton.

4.7.5.5.1 Contrôles d'exécution sur la mise en œuvre traditionnelle d'armatures

Les armatures remplacées ou ajoutées relèvent, le plus souvent, de la mise en œuvre des armatures de béton armé visées par les textes en vigueur, comme le **DTU 21** ou le **fascicule 65 du CCTG**, documents techniques auxquels il faut se référer.

> En particulier, il faut s'assurer que :

- le ferrailage mis en œuvre est conforme aux plans d'exécution ;
- les liaisons avec les armatures existantes sont en place et ont été correctement exécutées et, tout particulièrement :
 - les assemblages par soudage, qui doivent faire l'objet de contrôles spécifiques visés ci-après,
 - les assemblages par manchons, qui doivent être contrôlés en fonction du type de manchon mis en place. Ces contrôles sont visés ci-après ;
- les calages sont en place afin d'obtenir un enrobage des armatures (y compris les manchons) conformes aux exigences du **marché** et des règles de calcul et de conception rendues contractuelles ;
- la propreté des armatures est assurée ;
- le décapage, si nécessaire, a correctement été effectué au degré «**SA**» prévu pour permettre la mise en place d'un revêtement de protection contre la corrosion sur les armatures ;
- si un revêtement contre la corrosion a été mis en place, les aciers sont parfaitement recouverts sur toute leur surface sans que le produit ne bave sur le béton (se reporter au paragraphe 4.7.5.6 ci-dessous qui traite des contrôles à effectuer).

NOTE : dans le cas de recours à des armatures non-corrodables (armatures inoxydables, armatures en matériaux composites...) **le marché** fixe les contrôles spécifiques à effectuer.

4.7.5.5.2 Contrôles d'exécution sur le soudage d'armatures

> **Se reporter à la norme NF EN ISO 17660-1 qui liste :**

- la vérification des qualifications (qualification du mode opératoire de soudage de l'entreprise [QMOS], du coordinateur de soudage et des soudeurs) ;
- les essais à effectuer avant la réalisation des soudures sur le chantier au titre **d'épreuve de convenance** ;
- la vérification des matériels et matériaux ;
- les contrôles visuels à exécuter avant et après soudage pour relever les éventuels défauts ;
- les contrôles à effectuer lors du soudage, en particulier sur le respect du mode opératoire de soudage (MOS), sur la mise en place de la protection de la zone de soudage, sur les conditions thermiques...

Rappel : les parties de barres pliées puis redressées ne peuvent comporter de soudures. De plus, il est déconseillé de souder dans une section toutes les armatures d'une même nappe. Se reporter au paragraphe 4.6.4.2 ci-dessus qui indique les dispositions à respecter.

> **Le marché peut imposer des essais complémentaires par :**

- ressuage ou magnétoscopie pour les assemblages sur éclisses ;
- ultrasons ou radiographie pour les assemblages bout à bout.

4.7.5.5.3 Contrôles d'exécution sur la mise en œuvre de manchons

Les contrôles de la mise en œuvre de dispositifs de raboutage ou d'ancrage appelés manchons portent sur le respect strict des consignes de mise en œuvre élaborées par le concepteur ou le fabricant qui doivent être reprises dans **la procédure de pose**.

Il faut s'assurer, avant le début de la mise en œuvre, que le marquage des manchons correspond bien au type de manchon à mettre en œuvre et que, sur le manchon, est apposé le marquage AFCAB (ou celui d'une marque équivalente).

Après pose, il faut s'assurer que les enrobages exigés pourront être respectés.

Rappel : il est déconseillé de manchonner dans une section toutes les armatures d'une même nappe. Se reporter au paragraphe 4.6.4.3 ci-dessus qui indique les dispositions à respecter.

4.7.5.5.4 Contrôles d'exécution sur la mise en œuvre d'armatures scellées

C'est l'épreuve de convenance qui permet, d'une part, de s'assurer que le produit de scellement remplit bien le trou foré et enrobe bien l'armature et, d'autre part, de tester par **des essais d'arrachement** que le béton de la pièce est à même de supporter les efforts transmis par les barres scellées (les mortiers de scellement normalisés ne posant, normalement, pas de problèmes, car ils ont été formulés pour résister à un essai d'arrachement).

Si les caractéristiques mécaniques de la zone de scellement des armatures peuvent être considérées comme homogènes et conformes à celles mesurées lors de l'épreuve de convenance sur la préparation du support béton, il n'est pas nécessaire de procéder à des essais d'arrachement sur cette zone.

> Les principaux contrôles d'exécution pendant l'opération portent sur les points suivants :

- l'état du support et sa géométrie (surfaces horizontales, verticales ou en sous-face),
- les dimensions, la propreté et la rugosité des trous,
- l'absence de vibrations ou un niveau de vibrations acceptable,
- l'ouvrabilité du coulis dans le cas des trous sensiblement verticaux ouverts vers le haut (se reporter à la norme **NF EN 13395-2**),
- la consistance du mortier (trous horizontaux ou en sous-face) (se reporter aux normes **NF EN 13395-1**, **NF EN 13395-2** et **NF EN 13395-4**),
- la durée pratique d'utilisation du produit (cas des PC) (se reporter à la norme **NF P 18-810** ou à la norme **NF EN ISO 9514**),
- le remplissage des trous avant la mise en place de la barre,
- le maintien des barres pendant le durcissement du matériau,
- la cure pour les produits à base de liants hydrauliques,
- etc.

NOTE : dans le cas où les armatures (armatures de béton armé, ou en matériaux composites) doivent être scellées dans **des encoches** réalisées sur **des parois inclinées ou en sous-face**, un contrôle particulier doit être effectué pour s'assurer que les dispositions prises et validées par **l'épreuve de convenance** permettent leur positionnement correct et un bon remplissage des encoches.

> **Les principaux contrôles d'exécution après l'opération portent sur les points suivants :**

- le remplissage (aspect, absence de retrait),
- la dureté Shore D sur les produits à base de résines synthétiques (se reporter à la norme **NF EN ISO 868**),
- en cas de doute, un essai d'arrachement (se reporter à la norme **NF EN 1881** et à l'**ETAG 001**),
- etc.

4.7.5.6 Contrôles d'exécution sur la mise en œuvre de revêtements actifs ou non sur les armatures de béton armé

> **Les principaux contrôles d'exécution avant l'opération portent sur les points suivants :**

- Dans le cas d'un revêtement actif :

Les contrôles d'exécution portent sur l'état de propreté et de corrosion des armatures à recouvrir. Il faut s'assurer que les armatures sont décapées au niveau SA2 «nettoyage – décapage profond» visé par la norme **ISO 8501-1**.

- Dans le cas d'un revêtement non actif :

Les contrôles d'exécution portent sur l'état de propreté et de corrosion des armatures à recouvrir. Il faut s'assurer que les armatures sont décapées au niveau SA2^{1/2} «nettoyage – décapage très profond» visé par la norme **ISO 8501-1**.

> **Les principaux contrôles d'exécution pendant l'opération portent sur les points suivants :**

- la mise en œuvre du produit sur la totalité de la surface des armatures décapées sans déborder sur le béton,
- l'épaisseur de produit mis en œuvre avec l'aide d'une pige ou d'une jauge à peigne ou à roue dentée,
- le temps d'utilisation du produit et sa durée pratique d'utilisation (DPU) pour les produits à base de résines synthétiques (se reporter à la norme **NF P 18-810** ou à la norme **NF EN ISO 9514**),
- l'évolution de la dureté Shore D sur les produits à base de résines synthétiques (se reporter à la norme **NF EN ISO 868**),
- etc.

> **Les principaux contrôles d'exécution après l'opération portent sur les points suivants :**

- l'aspect des armatures (continuité et épaisseur du feuil mis en œuvre et durci). La mesure de l'épaisseur du feuil sec peut se faire par la méthode du micromètre (norme **NF T 30-121**), la méthode du comparateur (norme **NF T 30-122**), la méthode du microscope (norme **NF T 30-123**) et les méthodes du microscope (norme **NF T 30-124**). Pour mesurer l'épaisseur du feuil frais, il faut consulter la norme **NF T 30-125**,
- la dureté Shore D sur les produits à base de résines synthétiques au bout de 7 jours (se reporter à la norme **NF EN ISO 868**),
- etc.

4.7.5.7 Contrôles d'exécution lors de la mise en œuvre des produits (mortiers et bétons) et lors des opérations connexes

Ce paragraphe est inspiré du **guide FABEM 1** mais avec quelques aménagements.

4.7.5.7.1 Généralités

Le présent paragraphe traite des contrôles d'exécution à effectuer lors de **la mise en place des mortiers ou des bétons de réparation ou de renforcement** avec ou sans interposition **d'une colle** et avec ou sans **injection périphérique de collage**, effectuée après durcissement des mortiers ou bétons.

Ce paragraphe porte à la fois sur **les contrôles d'exécution à faire lors de la réalisation de l'opération** et **sur ceux à faire après celle-ci**.

Le marché fixe les contrôles à opérer ainsi que leur nombre en fonction des exigences de performance recherchées.

Les contrôles concernent les conditions de mise en œuvre des mortiers ou bétons sous forme de produits (prêts à l'emploi, fabriqués sur le chantier ou en centrale), qui peut être manuelle ou mécanique....

Les contrôles et essais sont basés sur ceux prescrits par les normes **NF EN 1504-10** et **NF EN 206-1** et les documents de référence existants (normes, documents à caractère normatif...) comme **le DTU 21** et **le fascicule 65 du CCTG**, le tout avec les compléments fixés par **le marché** qui s'imposent.

> **Quelle que soit la méthode mise en œuvre du mortier ou du béton, les points suivants doivent faire l'objet de contrôles :**

- le respect des règles de sécurité ;
- le respect des dispositions de **la procédure** d'exécution (**PAQ**), des fiches techniques et des fiches de données de sécurité ;

- les conditions thermiques et hygrométriques de l'atmosphère et du support et leurs évolutions (zone d'application soumise à un ensoleillement direct, arrivée de la pluie et/ou du vent, baisse de la température...) et les dispositions prises pour en réduire les effets (mise en place de protection, arrêt de chantier...) (**se reporter aux développements ci-dessous**) ;
- les dispositions appliquées en cas d'incident de chantier (panne de matériel, mauvaise mise en œuvre...) ;
- la gestion **des documents de suivi**, sachant qu'un éventuel défaut d'exécution doit faire l'objet **d'une fiche de non-conformité** avec un relevé sur plans ;
- les précautions prises, en particulier pour éviter les reprises visibles lors des interruptions de mise en œuvre (pause déjeuner, fin de journée...) ;
- les quantités de produits ou de systèmes utilisés ;
- la durée des différentes phases d'une opération ;
- le personnel affecté à l'opération ;
- le rendement obtenu (par exemple, au m²) ;
- etc.

Rappel : les contrôles sur les produits à mettre en œuvre à l'état frais ou durci sont visés dans le paragraphe consacré à la fabrication des produits.

> Contrôles du respect des exigences en matière de température et d'hygrométrie :

Les mesures sont à renouveler durant toute l'opération, à chaque reprise du travail et en cas de changement climatique. Les moyens de protection contre les précipitations, l'ensoleillement direct... doivent être disponibles sur le chantier et mis en œuvre, si nécessaire.

Le **tableau A2** de la norme européenne harmonisée **NF EN 1504-10** résume les exigences en matière de température et d'hygrométrie pour **l'application des produits et systèmes de produits**. Ces exigences sont les suivantes :

- **la température du support** est à mesurer avec un thermomètre de surface. Celle-ci doit normalement être comprise entre +5°C et +30°C (se reporter à l'essai n° 10 de la norme **NF EN 1504-10**) ;
- **en cas de précipitations**, le chantier doit mettre en œuvre les dispositifs de protection, sauf lorsque les produits et systèmes peuvent être appliqués sur des supports humides mais non ruisselants (se reporter à l'essai n° 23 de la norme **NF EN 1504-10**) ;
- **la vitesse du vent** est à mesurer avec un anémomètre présent en permanence sur le chantier. La vitesse à ne pas dépasser est d'environ 8 m/s, soit 30 km/h afin d'éviter une évaporation trop rapide (se reporter à l'essai n°24 de la norme **NF EN 1504-10**) ;
- etc.

4.7.5.7.2 Contrôles d'exécution relatifs à la préparation de l'opération de mise en œuvre des produits (mortier ou béton) et aux préparations des opérations connexes

> **Le contrôle d'exécution relatif à la préparation de l'opération de mise en œuvre des produits de réparation ou renforcement (mortier ou béton) porte sur les points suivants :**

- la validation par le **maître d'œuvre des différentes épreuves de convenue** (mise en œuvre des produits (mortier ou béton), collage béton frais sur béton durci...) ;
- l'acceptation par le **maître d'œuvre des procédures** et des cadres **des documents de suivi** relatifs aux opérations ;
- la présence et la prise de connaissance de tous les documents nécessaires (**procédure d'exécution, documents de suivi**, fiches techniques et de sécurité, modes d'emploi et d'entretien des matériels...) ;
- la mise en place des moyens d'accès et leur contrôle, suivant leur importance et, si nécessaire, par les organismes habilités et, en particulier, le **coordonnateur SPS** ;
- la mise en place des dispositifs de protection pour assurer la préservation de l'environnement, la sécurité et la santé des usagers et des tiers ;
- la mise en place des dispositifs de protection pour éviter la pollution par la poussière, les salissures... des surfaces déjà traitées (cas de la projection du mortier ou du béton par voie sèche) ;
- l'approvisionnement, la mise en place et la vérification du bon état, du bon fonctionnement et de l'étalonnage (si besoin est) du matériel nécessaire à l'opération ;
- la présence des fiches techniques et des fiches de données de sécurité des produits à utiliser ;
- la présence d'un personnel qualifié et informé des travaux à effectuer ainsi que des consignes à respecter conformément à **la procédure** ;
- la présence des équipements d'hygiène et de sécurité collectifs ou individuels ;
- la présence des instruments nécessaires aux mesures, contrôles et essais à effectuer ;
- la présence, si besoin est, **du laboratoire** chargé des contrôles et des essais ;
- la vérification que toutes les personnes pouvant se trouver dans l'environnement du chantier ont été informées des consignes de sécurité à respecter ;
- la vérification que les conditions climatiques relevées sont compatibles avec la mise en œuvre des produits... ;
- l'arrêt de l'exploitation de l'ouvrage si ses vibrations sous les charges dynamiques sont incompatibles avec l'application des produits ;

- la vérification de l'état du support qui nécessite :
 - une humidification préalable dans le cas des produits à base de liants hydrauliques,
 - une teneur en eau limitée pour certains produits à base de résines synthétiques,
 - la mise en œuvre d'une barbotine ou d'un primaire d'accrochage pour d'autres produits, ce qui impose de respecter un certain délai de mûrissement avant la mise en œuvre de ces produits ;
- la validation des contrôles effectués sur les produits à mettre en œuvre ;
- etc.

4.7.5.7.3 Contrôles d'exécution lors de la mise en œuvre, manuelle ou mécanisée, des produits (mortier ou béton)

4.7.5.7.3.1 Cas des applications manuelles

> Les contrôles d'exécution pendant l'opération portent sur les points suivants :

- le respect des consignes de la fiche technique et de la **procédure**,
- l'aspect des produits (mortier ou béton) et les prélèvements pour essais sur produits frais ou durcis (se reporter à l'article sur les contrôles relatifs à la préparation des produits),
- le respect du temps d'utilisation du produit,
- l'utilisation des outils prévus par la fiche technique,
- la rigidité des éventuels coffrages servant de guide et la solidité de leur fixation,
- le serrage soigné des produits mis en place à la truelle, en particulier en présence d'armatures (le bourrage de l'espace derrière l'armature est indispensable),
- le respect du délai entre les couches successives éventuelles,
- le respect du délai entre la mise en place du produit ou du système et le talochage de finition,
- le respect des tolérances sur la rectitude des arêtes,
- le respect de l'épaisseur du produit ou du système mis en place avant son durcissement et de l'enrobage des armatures (utilisation d'une pige),
- le respect de la géométrie et de la texture exigée lors de la finition de surface,
- l'absence de décollement local visible du produit de réparation après sa mise en place, en particulier pour un produit ou un système appliqué en sous-face,
- le respect du délai de décoffrage, à adapter en fonction de la température,
- la réalisation de la cure,
- etc.

> **Les contrôles d'exécution après l'opération portent sur les points suivants :**

- les décollements éventuels du produit de réparation (se reporter à l'essai n°1 de la norme **NF EN 1504-10** sur les sondages au marteau). Cet essai systématique doit être complété par les essais qui suivent en cas de doute sur la qualité de l'adhérence du matériau de réparation ou de renforcement :
 - l'adhérence du matériau de réparation ou de renforcement par un essai d'arrachement (se reporter à l'essai n°35 de la norme **NF EN 1504-10** et à la norme **NF EN 1542**),
 - la présence de vides dans ou derrière le matériau de réparation ou de renforcement (se reporter à l'essai n°39 de la norme **NF EN 1504-10** qui indique que trois procédés peuvent être utilisés : les ultrasons visés par la norme **NF EN 1504-4**, la radiographie [cas très exceptionnel] visée par la norme **NF A 09-202**, le carottage suivi d'un examen visuel et le géoradar) ;
- la présence de fissures dans le matériau de réparation ou de renforcement par un examen visuel avec, si nécessaire, l'utilisation d'un fissuromètre ou d'un compte-fils ;
- la géométrie, la planéité, la couleur et la texture, par un examen visuel avec recours, si nécessaire, à la règle de 2,00 m, au réglet de 20 cm et aux planches (teinte et texture) du fascicule de documentation **FD P 18-503** ;
- d'autres essais, suivant les exigences **du marché** et pour compléter les essais précédents, peuvent être exécutés :
 - l'épaisseur du matériau de réparation ou de recouvrement des armatures une fois durci, par un examen visuel, un carottage ou un profomètre (mesure de l'enrobage) (se reporter à l'essai n°34 de la norme **NF EN 1504-10** et à la norme **NF EN 12504-1**),
 - la masse volumique du matériau de réparation ou de renforcement durci (se reporter à l'essai n°37 de la norme **NF EN 1504-10** et à la norme **NF EN 12390-7** [masse volumique des bétons]),
 - la résistance en compression sur éprouvette normalisée, car le produit participe à un renforcement structural (se reporter à l'essai n° 36 de la norme **NF EN 1504-10** et aux normes **NF EN 12390-1**, **NF EN 12390-2** et **NF EN 12390-3**). Un scléromètre peut aussi être utilisé (se reporter à la norme **NF EN 12504-2**),
 - la perméabilité aux liquides (se reporter à l'essai n°32 de la norme **NF EN 1504-10** et aux normes **NF EN 12390-8**),
 - la perméabilité à l'air par l'essai BT CRIS (se reporter au **guide FABEM 4**),
- etc.

4.7.5.7.3.2 Cas des applications mécanisées – la mise en place du mortier ou du béton dans des coffrages avec ou sans pression

1. Cas du bétonnage classique sans pression :

Les différents contrôles à effectuer relèvent, pour le domaine du bâtiment, du **DTU 21** et, pour le domaine du génie civil, du **fascicule 65 du CCTG**, auxquels il convient de se reporter pour fixer le détail des contrôles.

> Les contrôles d'exécution pendant l'opération portent sur les points suivants :

- les ouvrages provisoires éventuels ;
- les coffrages et la qualité des parements et des autres surfaces coffrées ou non à obtenir ;
- les traitements de surface après durcissement du béton ;
- la mise en place des armatures de béton armé existantes ou additionnelles, voire d'armatures de précontrainte²³ (pour mémoire) ;
- la mise en œuvre du mortier ou du béton et de ses paramètres :
 - la mesure de la consistance au cône d'Abrams (consulter les normes **NF EN 12350-1** et **NF EN 12350-2**) qui est inadaptée aux BHP lorsque l'affaissement dépasse 20 ± 2 cm (cela concerne aussi les BAP),
 - la durée limite de mise en œuvre,
 - les conditions de bétonnage,
 - la vibration nécessaire pour les bétons ordinaires (pour les BHP, après étude),
 - la cure indispensable,
- le décoffrage et le décintrement (des opérations préalables sont parfois nécessaires) ;
- les traitements de surface après durcissement du béton (enlèvement des balèbres, ragréage ...) ;
- etc.



Photo n° 17 : contrôle d'étalement d'un BAP (crédit photo LRPC Clermont - M. Geoffrey)

²³ **Rappel**, les travaux sur un ouvrage précontraint nécessitent des précautions particulières pour ne pas mettre en jeu la sécurité de la structure.

> **Les contrôles d'exécution après l'opération portent sur les points suivants :**

- se reporter aux contrôles relatifs aux applications manuelles ci-dessus ;
- les autres contrôles essentiels après projection portent sur les points suivants :
 - la résistance à la compression, voire à la traction par fendage à 7 jours et 28 jours d'éprouvettes 16x32 (se reporter à la norme **NF EN 206-1**),
 - l'homogénéité du matériau projeté et l'absence de vides à l'interface avec le support. Le contrôle au marteau est à compléter par des essais au scléromètre, par ultrasons, par carottage... déjà cités ci-dessus,
 - l'adhérence au support par l'essai d'arrachement (se reporter à l'essai n°35 et à la norme **NF EN 1542**),
- etc.

2. Cas de la mise en œuvre des produits et systèmes par injection dans des coffrages étanches :

Pour les **BAP**, se reporter **aux recommandations pour l'emploi des bétons auto-plaçants de l'AFGC** et au **fascicule 65 du CCTG**.

> **Les contrôles d'exécution pendant l'opération portent sur les points suivants :**

- le matériel d'injection et la présence d'un limiteur de pression ;
- les coffrages, qui doivent être rigides et étanches (essai à l'air) ;
- la présence des événements d'injection et de purge ;
- la mise en place des armatures de béton armé existantes ou additionnelles, voire d'armatures de précontrainte ;
- l'injection :
 - la fluidité du produit à injecter (les valeurs limites sont fixées en fonction des résultats de l'épreuve de convenance),
 - la pression d'injection et le volume injecté,
 - l'exsudation et le ressuage du coulis (les valeurs limites sont fixées en fonction des résultats de l'épreuve de convenance),
 - la purge des événements avant leur fermeture,
 - le maintien de la pression en fin d'injection,
 - la durée limite de mise en œuvre,
 - la cure indispensable ;
- le décoffrage et le décintrement (des opérations préalables sont parfois nécessaires) ;
- les traitements de surface après durcissement mortier ou du béton ;
- etc.

> **Les contrôles d'exécution après l'opération portent sur les points suivants :**

- se reporter aux contrôles relatifs aux applications manuelles ci-dessus ;
- les autres contrôles essentiels après injection portent sur les points suivants :
 - la résistance à la compression, voire à la traction par fendage à 7 jours et 28 jours d'éprouvettes,
 - l'homogénéité du matériau projeté et l'absence de vides à l'interface avec le support. Le contrôle au marteau est à compléter par des essais au scléromètre, par ultrasons..., déjà cités ci-dessus,
 - l'adhérence au support par l'essai d'arrachement (se reporter à l'essai n°35 et à la norme **NF EN 1542**),
- etc.

4.7.5.7.3.3 Cas des applications mécanisées - la mise en œuvre du mortier ou du béton par projection

La mise en œuvre mécanisée de produits (mortier ou béton) fait appel à **la projection par voie sèche ou par voie mouillée**. Le détail des contrôles spécifiques à effectuer figure dans **le guide FABEM 5** qui se réfère aux normes **NF P 95-102**, **NF EN 14487-1**²⁴ (norme de spécifications) et **NF EN 14487-2** (norme d'exécution) ainsi que les fascicules **d'ASQUAPRO**. Les contrôles essentiels sont rappelés ci-dessous. Il faut noter que les contrôles relatifs aux applications manuelles ci-devant sont aussi à mettre en œuvre, sauf ceux relatifs à l'emploi des outils manuels.

> **Les contrôles d'exécution pendant l'opération portent sur les points suivants :**

- se reporter aux contrôles relatifs aux applications manuelles ci-dessus ;
- les contrôles essentiels lors de la projection portent sur les points suivants :
 - la qualification du porte-lance et ses équipements de protection (qualification **ASQUAPRO**),
 - la rigidité des fixations des armatures existantes pour limiter leur vibration lors de la projection,
 - l'essai d'affaissement pour les bétons mis en œuvre par voie mouillée,
 - l'orientation de la lance de projection et la distance entre celle-ci et la surface à traiter,
 - le remplissage du vide en arrière des armatures existantes,
 - l'épaisseur maximale de la couche et le délai entre les couches,
 - la réalisation d'une couche complémentaire dans le cas où un talochage de finition est requis,
 - la cure,
- etc.

²⁴ Les différents fascicules disponibles sur le site : www.asquapro.com complètent la norme européenne sur la formulation et le dimensionnement.

> **Les contrôles d'exécution après l'opération portent sur les points suivants :**

- se reporter aux contrôles relatifs aux applications manuelles ci-dessus ;
- les contrôles essentiels après projection portent sur les points suivants :
 - la granularité et la composition réelle du mortier ou béton frais sur prélèvements,
 - la densité apparente et la résistance à la compression d'éprouvettes carottées dans les échantillons prélevés (projection dans des caisses plates),
 - l'homogénéité du matériau projeté et l'absence de vides à l'interface avec le support. Le contrôle au marteau est à compléter par des essais au scléromètre, par ultrasons... déjà cités ci-dessus,
 - l'adhérence au support par l'essai d'arrachement (se reporter à l'essai n°35 et à la norme **NF EN 1542**),
- etc.



Photo n° 18 : projection dans une boîte pour essais sur éprouvettes carottées (crédit photo D. Poineau)

4.7.5.7.4 Contrôles d'exécution dans le cas d'un collage structural de bétons

> **Les contrôles d'exécution pendant l'opération portent sur les points suivants :**

- l'état du support et sa géométrie (surfaces horizontales, verticales ou en sous-face),
- l'absence de vibrations ou un niveau de vibrations acceptable,

- le temps d'utilisation du produit et sa durée pratique d'utilisation (DPU) (se reporter à la norme **NF P 18-810** ou à la norme **NF EN ISO 9514**),
- le temps ouvert (se reporter à la norme **NF EN 12189**),
- la couche d'imprégnation en résine pure (primaire), éventuellement mise en place pour durcir la peau du béton,
- le respect du délai entre la mise en place du primaire et celle de la colle chargée,
- la mise en place de la colle, qui doit recouvrir le béton et non les armatures existantes,
- l'épaisseur du film de colle, à mesurer au moyen d'une pige ou d'une jauge à peigne ou à roue dentée,
- le respect du délai entre la mise en place de la colle chargée et celui de la pose de l'élément de béton durci ou la mise en place du mortier ou du béton frais,
- l'efficacité du serrage (pression) dans le cas du collage béton durci sur béton durci (la colle doit baver latéralement),
- tous les contrôles relatifs au bétonnage (pour mémoire),
- etc.

> **Les contrôles d'exécution après l'opération portent sur les points suivants :**

- se reporter aux contrôles relatifs aux applications manuelles ci-dessus,
- le nettoyage des bavures de colle,
- l'évolution de la dureté shore de la colle sur des coupelles (épaisseur de produit > 6 mm et surface > 25 cm²) conservées dans les conditions du chantier (il est nécessaire de connaître les courbes d'évolution de la dureté de la colle en fonction de la température et de l'humidité pour fixer la dureté à atteindre au temps «t»). Normalement, il faut atteindre une **dureté Shore D de 80**, visée par la norme **NF EN ISO 868**,
- l'homogénéité du matériau mis en œuvre (mortier ou béton) et l'absence de vides à l'interface avec le support. Le contrôle au marteau est à compléter par des essais au scléromètre, par ultrasons, par carottage..., déjà cités ci-dessus,
- l'adhérence au support par l'essai d'arrachement (se reporter à l'essai n°35 et à la norme **NF EN 1542**),
- etc.

4.7.5.7.5 Contrôles d'exécution dans le cas d'une injection de l'interface entre le produit de réparation ou de renforcement et le béton support

Rappel : pour obturer la fissure qui se produit le long d'une reprise de bétonnage à cause des effets des retraits différentiels, et pour améliorer la qualité de la reprise de bétonnage, **le projet** peut comporter une injection de collage. Il appartient **au marché** de fixer les contrôles spécifiques complémentaires à mettre en œuvre.

Se reporter au tableau 4 de la norme **NF EN 1504-10** et au **guide FABEM 3**, ces deux documents précisant les contrôles à effectuer.

4.7.5.8 Contrôles d'exécution lors de la mise en charge de la zone réparée ou renforcée

S'agissant d'une réparation structurale et/ou d'un renforcement structural, il appartient **au marché** de fixer les **contrôles spécifiques** à mettre en œuvre qui relèvent de la topométrie, de l'extensométrie... Ces contrôles sont normalement du domaine **du contrôle extérieur**.

Si **le projet** impose de faire participer les armatures passives ajoutées ou remplacées aux charges permanentes appliquées à la structure, il est nécessaire de mettre en charge cette zone. Il appartient **au marché** de fixer les **contrôles spécifiques complémentaires** à mettre en œuvre (topométrie et extensométrie).

NOTE : il convient, dans des cas particuliers où ont été mis en œuvre des produits organiques qui semblent, au regard des essais effectués, fluer sous des charges de longue durée d'application, de prévoir de prolonger les essais dans le temps. La levée des réserves de réception des travaux est à lier aux résultats satisfaisants des mesures effectuées.

Se reporter au **guide FABEM 8** relatif aux réparations et renforcements par précontrainte et au **guide FAEQ 5** relatif aux appareils d'appui (vérinage), qui précisent les contrôles qu'il est possible d'effectuer.

4.7.5.9 Contrôles d'exécution lors de la mise en place d'un produit de protection ou d'aspect sur le béton après réparation ou renforcement

Rappel :

- **pour des raisons de durabilité vis-à-vis de l'agressivité de l'environnement** (car les effets des retraits peuvent provoquer une fissuration le long de la reprise de bétonnage), la mise en place **d'un produit de protection** peut être nécessaire sur la zone réparée ou renforcée, voire sur l'ensemble de la structure ;
- **pour des raisons d'aspect**, la mise en place **d'un revêtement ou d'un système de peinture** est souvent nécessaire, car une réparation ou un renforcement localisé ont rarement un aspect esthétique.

Il appartient au marché de fixer les contrôles spécifiques complémentaires à mettre en œuvre. Par exemple, la température du support doit être $> +3^{\circ}\text{C}$ au point de rosée. De plus, la température de l'air est à mesurer avec un thermomètre disponible en permanence sur le chantier (se reporter à l'essai n° 25 de la norme NF EN 1504-10). Enfin, l'humidité relative de l'air est à mesurer par les moyens visés par les normes ISO 4677-1 et ISO 4677-2 (se reporter à l'essai n°22 de la norme NF EN 1504-10).

Se reporter au guide FABEM 1 qui précise les contrôles à effectuer.

La réception des travaux, dans le cadre de la législation en vigueur, obéit aux exigences du **maître d'ouvrage**, qui en fixe la consistance et le calendrier **dans le marché**.

À la fin des travaux, **l'entrepreneur** remet **au maître d'œuvre** l'ensemble des essais réalisés ainsi que l'ensemble des documents du **PAQ**, même si **le marché** a prévu qu'une photocopie de ces documents soit remise **au maître d'œuvre** au fur et à mesure de l'exécution (facilité d'organisation du contrôle extérieur et sauvegarde de sécurité des documents).

Parmi les documents, doivent figurer les plans sur lesquels toutes les réparations doivent avoir été reportées, ainsi que les résultats des essais effectués et interprétés.

Les travaux concernant **une réparation et/ou un renforcement structural**, la **réception des travaux** nécessite de vérifier que le renforcement participe effectivement à la reprise des efforts. **Le marché** doit donc spécifier **les essais de chargement** à effectuer pour en apporter la preuve.

La partie du présent guide relative aux contrôles des méthodes de réparation et/ou renforcement par armatures passives internes au béton liste les essais qui peuvent être exécutés dans **le cadre de la réception des travaux**.

Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles

5

Ajout par collage d'armatures passives à la surface du béton

5.1

Historique sur les techniques de réparation et/ou renforcement par armatures passives²⁵ collées à la surface du béton

5.2

Fonctionnement et principes de dimensionnement des réparations et des renforcements par des matériaux composites collés

5.3

Cas d'utilisation des armatures passives en matériaux composites collées à la surface du béton

5.4

Description de différentes solutions de réparation et renforcements par armatures passives en matériaux composites collées à la surface du béton

5.5

Limites d'emploi des armatures passives en matériaux composites collées à la surface du béton

5.6

Choix des matériaux et produits

5.7

Conditionnement, transport et stockage des produits

5.8

Matériels à utiliser

5.9

Réalisation des travaux

5.10

Essais et contrôles

5.11

Réception des travaux de réparation et/ou renforcement par armatures en matériaux composites collées à la surface du béton

²⁵ Certains matériaux composites comme les plaques peuvent être utilisés comme armatures actives (cf. le guide **FABEM 8**).

La présente partie guide traite des réparations et renforcements par **armatures passives en matériaux composites et collées à la surface du béton.**

ATTENTION : les matériaux de la structure à réparer ou renforcer, le béton et les armatures ne doivent pas présenter de pathologie susceptible de compromettre les transferts, par cisaillement, des efforts du béton vers le matériau composite et vice et versa. Se reporter au paragraphe 5.5.1 ci-dessous.

5.1.1 DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Le lecteur est invité à consulter l'**appendice** situé à la fin du présent guide.

5.1.2 CAS DES TÔLES COLLÉES

Dans les années 60, **L'HERMITE** procéda, avec succès, à des essais sur des poutrelles en béton non armé sur lesquelles étaient collées des plaques en acier, les unes sur la face tendue pour la reprise des tractions dues à la flexion et les autres sur les faces latérales pour la reprise des cisaillements développés par l'effort tranchant. L'HERMITE baptisa «**béton plaqué**» ce nouveau produit qui, par la suite, se transforma en «**tôles collées**» et «**plats collés**» (cf. **appendice – documents** [1] et [2] ci-dessous).

Cette technique de réparation connut rapidement un succès dans le domaine de bâtiment puis dans celui du génie-civil pour le renforcement de dalles, de poutres...

Les études effectuées en France et à l'étranger sur cette nouvelle technique, si elles révélèrent des comportements différents entre des poutres non renforcées et renforcées, ne remirent pas en cause les hypothèses classiques de calcul des poutres en béton armé (principe de Navier et Bernoulli et loi de Hooke). Les règles de calcul des tôles collées furent mises au point par **BRESSON** dans un document paru en 1971 (cf. **appendice – document** [3] ci-dessous).

Dans le domaine du **génie civil**, vers la fin des années 70, cette technique montra certaines limites, à savoir :

- des décollements lors de chocs dus, par exemple, à des bâches flottantes ;
- l'impossibilité de bloquer totalement les mouvements de fissures d'un pont en béton précontraint.

De nouvelles études furent entreprises au LCPC par **THEILLOUT** sur :

- la mise en flexion locale de la tôle au droit d'une fissure ;
- la répartition des déformations entre la tôle et les armatures de béton armé internes au béton à l'état limite de service et à l'état limite ultime ;
- la répartition des déformations des tôles superposées ;
- les conditions de décollement d'une tôle à ses extrémités.

²⁵ Certains matériaux composites comme les plaques peuvent être utilisées comme armatures actives (cf. le **guide FABEM 8**).

Des règles spécifiques de calcul furent alors mises au point dans le cadre d'une thèse de docteur-ingénieur (cf. **appendice – documents** [4] et [5] ci-dessous).

NOTE : attention, la formule du paragraphe 1 du **fascicule n°6** (cf. **appendice - document** [5] ci-dessous), qui donne la condition de non décollement d'une tôle à son extrémité est erronée.

Dès le début des années 90, **les matériaux composites collés**, dont le prix de fourniture est beaucoup plus élevé que celui de tôles minces en acier, ont rapidement concurrencé les tôles collées, car ces dernières ont une mise en œuvre plus contraignante sur les points suivants :

- maniement difficile des tôles, vu leur poids, en particulier si elles sont de grande longueur et/ou si la zone de pose est exigüe ;
- nécessité d'une surface de béton sans désaffleurements ni ondulations prononcées ;
- obligation d'un serrage des tôles pendant la durée de polymérisation de la colle, soit près de 24 h avec une pression pouvant atteindre 0,1 MPa ;
- nécessité d'une protection efficace contre la corrosion et de travaux d'entretien de cette protection.

*Actuellement, les matériaux composites collés ont complètement supplanté les tôles collées qui ne sont plus mises en œuvre. Aussi, **le présent guide ne traite pas de l'utilisation des tôles collées en réparation ou renforcement.***

*Cependant, **des structures réparées ou renforcées par des tôles collées existent** et ces tôles doivent faire l'objet de travaux d'entretien, voire de réparations. **La partie 6 ci-dessous** est consacrée à de telles opérations.*

Un matériau composite est constitué de deux ou plusieurs matériaux non miscibles mais

5.1.3 CAS DES MATÉRIAUX COMPOSITES COLLÉS

fortement adhérent l'un à l'autre (par exemple, «le contreplaqué» est un matériau composite).

Les procédés de réparation ou de renforcement utilisent des fibres (de verre, de carbone, d'aramide comme le Kevlar™) enrobées dans une matrice de polymères.

> Ces produits se présentent sous deux formes :

- des plaques, des bandes ou des lamelles (sheets, strips or plates) rigides désignés par le terme pultrudés ;
- des tissus (wrap) unidirectionnels ou bidirectionnels qui sont, soit imprégnés de résine au moment de la pose (tissus secs), soit pré-imprégnés en usine, soit pré-imprégnés sur le chantier juste avant la pose (tissus humides). Il s'agit d'une stratification directe de tissus par imprégnation de matrice polymère

À chaque **produit** doit être associé, soit un **produit de collage** (entre la surface du béton ayant subi une préparation et le produit), soit un **produit de collage et d'imprégnation** (entre la surface du béton ayant subi une préparation et qui imprègne aussi le produit). À ceci s'ajoute, si nécessaire, un **revêtement de protection**. Cet ensemble **produit + produit de collage ou produit de collage et d'imprégnation + revêtement constitue un procédé ou un système**.

ATTENTION : les systèmes existants sont la propriété de fabricants ou d'entreprises dont certains revendiquent l'exclusivité de leur mise en œuvre, alors que d'autres autorisent leur mise en œuvre par des entreprises tiers ayant reçu de leur part une formation théorique et pratique.

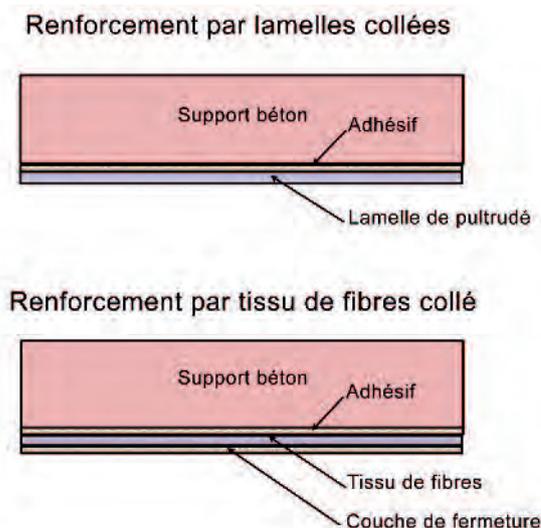


Figure n° 33 : constitution des renforts par pultrudé et tissu en matériaux composites

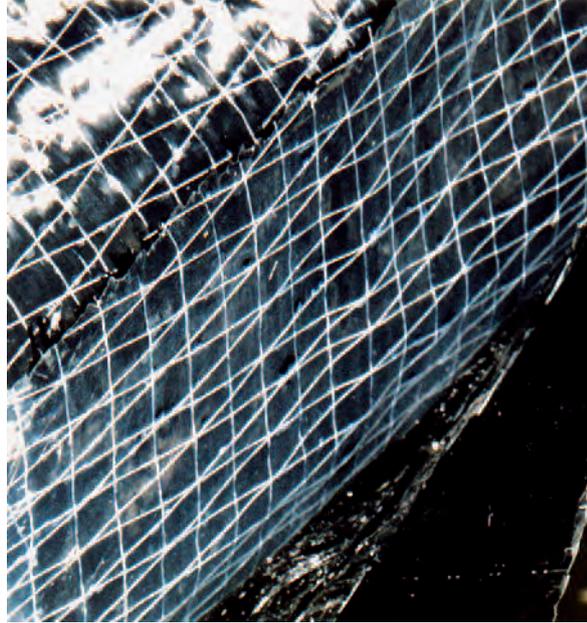


Photo n° 19 : tissu de fibres de carbone (crédit photo D. Poineau)



Photo n° 20 : pultrudé sous forme de lamelles (crédit photo Freyssinet - C. Tourneur)

De nombreuses études sur les propriétés de ces matériaux composites ont été effectuées et des règles de calcul et de mise en œuvre ont été établies par différents pays. En France, ont été élaborées **les recommandations provisoires de l'AFGC de 2003, 2007 et 2011 et des avis techniques par le CSTB.**

> **Une nouvelle mouture des recommandations provisoires de l'AFGC est parue en 2011 (se reporter aux documents [6] et [7] cités dans l'appendice ci-après). Cette recommandation traite des points suivants :**

- la réparation et le renforcement des structures en béton armé par des matériaux composites comme les versions précédentes ;
- **les compléments** apportés à la version de 2007 : renforcement des dalles vis-à-vis du poinçonnement, confinement et renforcement des pièces en compression simple, adaptations au renforcement des structures précontraintes (cas de la précontrainte «partielle» au sens de l'Eurocode 2) et mise en conformité avec les **Eurocodes** ;
- les essais de caractérisation des matériaux composites auxquels le lecteur est invité à se reporter pour pouvoir mieux comprendre leur mode de fonctionnement et les règles de calcul qui en découlent (partie quasiment sans changement par rapport à la version 2007, même si les calculs font référence à l'EC 2) ;
- le domaine d'application, les limites des actuelles recommandations et les hypothèses de calcul avec, en particulier, celle qui suppose une adhérence parfaite entre le composite et le béton. Ce paragraphe renvoie à celui traitant du bilan et des perspectives ;
- les règles de calcul aux états limites vis-à-vis de la traction, la flexion et l'effort tranchant, le renforcement des pièces comprimées, le renforcement des dalles vis-à-vis du poinçonnement et le renforcement par des armatures passives en matériaux composites des structures précontraintes qui présentent un défaut de robustesse au sens de l'Eurocode O relatif aux bases du calcul (le défaut de robustesse est avéré lorsque l'exigence de non-fragilité n'est pas satisfaite) ;
- la mise en œuvre et son contrôle ainsi que la maintenance et le suivi du vieillissement des réparations et renforcement en matériaux composites ;
- une synthèse du document ;
- un bilan et les perspectives : le problème de la fatigue et du vieillissement des matériaux composites nécessite encore des études (**cette partie fixe les limites des connaissances et sa lecture est indispensable**) ;
- les recherches en cours et à entreprendre : les renforcements vis-à-vis des effets sismiques, la prévision de l'ouverture et de la distribution des fissures des éléments renforcés, l'amélioration de l'essai de pastillage, le remplacement de la matrice à base de résines (époxydiques) par des matrices minérales dans le cadre de la **circulaire Reach** ;
- des fiches techniques de différents systèmes.

NOTE : ces recommandations ne traitent pas de la réparation ou du renforcement vis-à-vis des séismes.

Les avis techniques du CSTB²⁶ concernent le domaine du bâtiment et visent plusieurs systèmes mis au point par des entreprises. Ces avis comportent les limites d'emploi de ces systèmes et les hypothèses de calcul à appliquer.

REMARQUE : il y a lieu de noter **des différences** entre **les recommandations 2011 et les avis techniques** au niveau des règles de calcul. En effet, les avis techniques sont encore basés sur les règles BAEL et BPEL. Il y a aussi des différences entre les recommandations de 2007 et les avis techniques (se reporter aux valeurs limites des déformations des matériaux composites, à la contrainte limite dans les armatures de béton armé en fissuration peu préjudiciable, à la capacité des armatures de béton armé à équilibrer seules le moment aux ELS considéré comme un moment ultime...).

Les différences portent aussi sur le domaine d'emploi, puisque **les avis techniques** peuvent viser les joncs en matériaux composite, le renforcement des cloisons en maçonneries de petits éléments et l'emploi d'accessoires comme les mèches d'ancrage.

En complément de ces différents documents, il faut ajouter les normes **NF EN 1504-9** et **NF EN 1504-10** qui visent les renforcements par **plaques collées** dans le cadre de **la méthode de réparation 4.3**. Il faut également ajouter la norme **NF EN 1504-4** qui traite des produits et systèmes de collage structural.

²⁶ Consulter le site du CSTB car les avis techniques évoluent constamment.

5.2.1 FONCTIONNEMENT D'UNE STRUCTURE RÉPARÉE OU RENFORCÉE PAR DES MATÉRIAUX COMPOSITES COLLÉS

Soit une poutre en béton armé renforcée vis-à-vis de la flexion par collage d'un matériau composite sous son talon (sauf à procéder à un soulèvement de la poutre, la présence des appareils d'appui ne permet pas de renforcer le talon sur toute sa longueur). Cette poutre est soumise à un chargement progressif jusqu'à sa rupture. Le comportement de cette poutre renforcée est comparé à celui d'une poutre témoin en béton armé.

> **Ce qui suit est extrait d'un article de Mme E. DAVID et MM. C. DJELAL, F. BUYLE-BODIN et Y. GICQUEL, paru dans des Annales du Bâtiment et des Travaux Publics de février 1998 :**

- *les fissures de la poutre renforcée qui apparaissent restent fines (environ 1/10 mm) et se répartissent sur la longueur de la poutre ;*
- *lorsque la charge appliquée est proche de la charge de rupture, des fissures d'effort tranchant se développent et les autres fissures se développent également ;*
- *lors de la rupture, les fissures dans la partie centrale (zone de moment constant) ont une ouverture de l'ordre du millimètre, alors que les fissures des extrémités restent voisines du 1/10 mm ;*
- *il n'y a pas de palier plastique comme dans l'élément témoin, la rupture est fragile ;*
- *la charge de rupture est très supérieure à celle du témoin de 50 à 75% ;*
- *la flèche à rupture est très réduite par rapport à celle du témoin.*

Le mode de rupture de la poutre renforcée est également très différent de celui de la poutre témoin, laquelle se rompt par écrasement du béton par atteinte du raccourcissement ultime des fibres comprimées (rupture classique d'une poutre en béton armé soumise à la flexion). Ici, une fissure sensiblement horizontale apparaît à l'interface béton-composite, soit dans le béton-non armé qui est situé entre le lit inférieur des armatures de béton armé et le matériau composite, soit dans la colle. Cette interface se déchire littéralement, c'est la «**délamination**».

Il est à noter que ce même phénomène se produit dans les poutres renforcées **par des tôles collées** ; il a été décrit par L'HERMITE, BRESSON et THEILLOUT dans les différents articles visés en référence.

REMARQUE : *comme pour les tôles collées, la mise en place de renforts transversaux formant des verrous (par exemple, à base de tissus de fibres, des mèches d'ancrage...), permet de rendre la rupture plus ductile.*

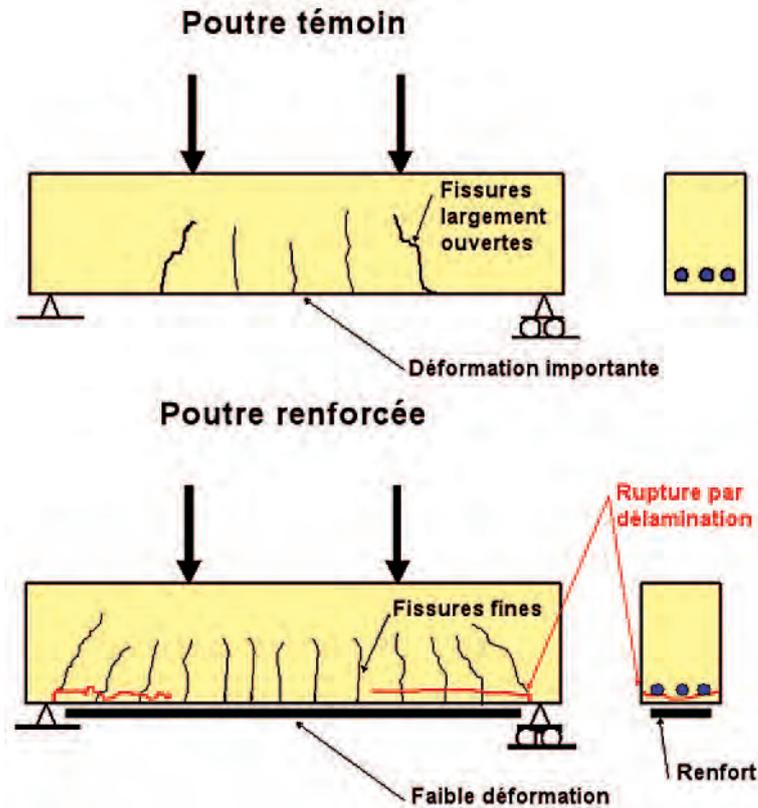


Figure n° 34 : essais comparatifs de deux poutres

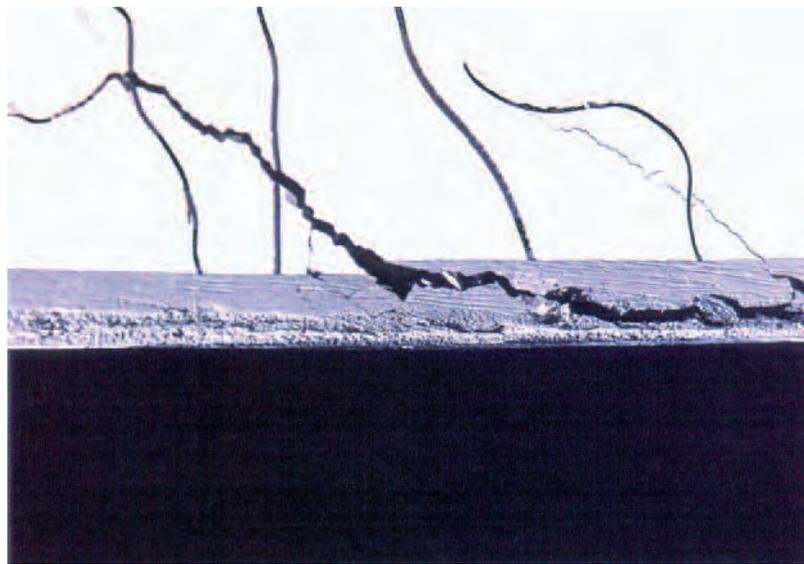


Photo n° 21 : exemple de rupture par délamination (crédit photo SIKA)

5.2.2 BASES ET PRINCIPES DE DIMENSIONNEMENT D'UNE RÉPARATION OU D'UN RENFORCEMENT PAR DES MATÉRIAUX COMPOSITES COLLÉS

Le présent paragraphe n'a pas pour but de donner le détail de tous les calculs à effectuer, mais de fournir les principes essentiels à appliquer. Seul le cas **d'une section en béton armé soumise à la flexion simple** est examiné. Pour les sections en béton précontraint, les autres sollicitations et les calculs détaillés, il faut se reporter **aux recommandations provisoires de l'AFGC de 2011, voire de 2007, aux avis techniques du CSTB et aux fiches techniques** des fabricants ou fournisseurs de produits.

> CAS DU DOMAINE DU GÉNIE CIVIL :

ATTENTION, les recommandations provisoires de 2011 sont basées sur les Eurocodes et, en particulier, sur l'Eurocode 2. Le projet de réparation et/ou de renforcement d'une structure existante conçue avec des règles anciennes doit s'assurer que la structure satisfait au minimum à l'exigence essentielle n°1 : stabilité et résistance mécanique et à l'exigence essentielle n°2 : sécurité en cas d'incendie. D'autres exigences, comme celles relatives à la durabilité et qui imposent des règles d'enrobage des armatures, peuvent ne pas être satisfaites.

Cela impose donc de **recalculer entièrement la structure avec les Eurocodes concernés** pour mettre en lumière, en sus des insuffisances connues, celles, supplémentaires, que peut présenter la structure vis-à-vis des Eurocodes.

Attention, dans le cas des ponts, ce recalcul doit prendre en compte les **charges de l'Eurocode 1 partie 2**, dont les effets (en fonction du type de pont et de sa géométrie) peuvent être plus élevés que ceux des règles de charges anciennes (cas des structures, comme les ponts à poutres, sensibles à l'excentricité des charges).

Si le projet de réparation et/ou renforcement basé sur les **recommandations de 2011** conduit à des renforcements très importants, **le projeteur, en accord avec le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage, peut proposer de faire le projet en se basant sur les recommandations de 2007** (basées sur le BAEL, le BPEL et faisant appel aux règles de charges de 1971). Il est à noter que les contraintes et déformations limites des composites des recommandations de 2011 sont les mêmes que celles des recommandations de 2007. Cependant, si la structure est précontrainte, il faut se reporter aux recommandations de 2011 et faire quelques adaptations.

> CAS DU DOMAINE DU BÂTIMENT :

Il faut (incidence des problèmes d'assurance) se référer aux **avis techniques existants du CSTB** et à leurs mises à jour, qui devraient intégrer les Eurocodes.

5.2.2.1 Justification et dimensionnement vis-à-vis de l'état limite ultime (ELU) d'une section en flexion simple

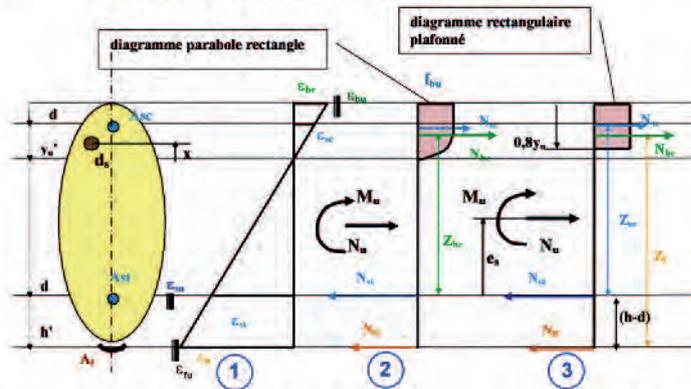
> Hypothèses de calcul :

- les sections, après déformation, restent planes (principe de NAVIER-BERNOULLI déjà visé par la version 2007) ;
- il n'y a aucun glissement entre les armatures de béton armé et de précontrainte, celles en matériaux composite et le béton, sauf si la précontrainte n'est pas adhérente (hypothèse identique à celle de la version 2007) ;
- la résistance à la traction du béton est négligée (hypothèse identiques à celles de la version 2007) ;
- la résistance à la compression du composite est négligée (hypothèse identique à celle de la version 2007) ;
- les diagrammes contrainte-allongement, les déformations limites et les contraintes limites du béton et des armatures de béton armé et de précontrainte sont ceux du paragraphe 2.2 du chapitre 2 des **recommandations de 2011** :
 - le raccourcissement unitaire du béton comprimé est limité à $\epsilon_{c2} = 3,5 \cdot 10^{-3}$, (pas de changement par rapport à la version 2007 des recommandations),
 - l'allongement unitaire des armatures de béton armé (cas des aciers à palier plastique écrouissable) est limité à $\epsilon_{su} = 4,5 \cdot 10^{-3}$ (modification importante car, en 2007, cet allongement ne devait pas dépasser $1 \cdot 10^{-3}$ comme dans les règles BAEL),
 - l'allongement unitaire des armatures de béton précontraint est limité à $\epsilon_{su} = 2 \cdot 10^{-3}$ conformément aux règles de l'Eurocode 2 (la version 2007 ne s'appliquait pas aux structures précontraintes),
 - l'allongement unitaire du renfort composite $\epsilon_{fu,d}$ est limité à moins de 1% ($\epsilon_{fu,d} = \min [f_{fu,d}/E_f ; 0,85\%]$) (hypothèse identique à celle de la version 2007) ;
- il faut tenir compte des **déformations existantes** dans le béton (ϵ_{b0}) et les armatures de béton armé (ϵ_{s0}), sauf si la structure est remise sur cintre... pour y annuler les contraintes dues aux charges appliquées. Pour les armatures de précontrainte il faut tenir compte de leur allongement existant (ϵ_{p0}) ;
- il n'est pas nécessaire de considérer le **phasage** des chargements successifs (principe de l'adaptation).

Ces hypothèses conduisent à introduire un **pivot supplémentaire** (appelé pivot D) dans le diagramme des trois pivots. Ce nouveau pivot correspond à l'atteinte de l'allongement ultime de calcul du matériau composite (allongement nettement inférieur à celle des armatures de béton armé).

NOTE : les contraintes caractéristiques des matériaux composites et les coefficients de sécurité à appliquer pour le calcul aux ELU des matériaux composites des recommandations 2011 sont identiques à ceux des recommandations de 2007.

Diagrammes des contraintes et déformations à l'ELU d'une section en flexion composée



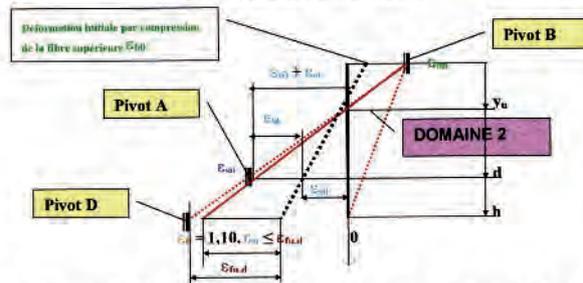
- 1 Diagramme des déformations si le renfort composite participe à la reprise de la totalité des charges
- 2 Diagramme des contraintes avec le diagramme parabolique-rectangle
- 3 Diagramme des contraintes avec le diagramme rectangulaire plafonné

Figure n° 35 : diagrammes des déformations et des contraintes à l'ELU d'une section de béton armé

La figure ci-dessous présente deux diagrammes des déformations à l'ELU, le premier conforme aux recommandations 2011 de l'AFGC et le second conforme à celles de 2007.

Diagrammes des déformations à l'ELU

Sous les charges permanentes sans participation du renfort composite
 Sous la totalité des charges avec participation du renfort composite sous les charges d'exploitation ————



Note : le rapport des hauteurs utiles $d/h = 0,9$ (d celle des armatures de BA et h celle des armatures composites). Le rapport des déformations suit la même règle soit : $\epsilon_n \sim 1,10 \epsilon_w$
 Ici, il faut tenir compte de la déformation initiale ϵ_{w0} (sous les charges permanentes) des armatures de BA. Dans le cas présenté, ce sont les armatures de BA qui atteignent leur déformation limite $\epsilon_w = 1\%$

Figure n° 36 : diagramme des déformations à l'ELU avec prise en compte des déformations initiales d'une section de béton armé

5.2.2.2 Justification et dimensionnement vis-à-vis de l'état limite de service (ELS) d'une section en flexion simple

NOTE : les hypothèses vis-à-vis de l'ELS développées ci-après reprennent et complètent sur certains points les règles des recommandations de 2011.

> **Hypothèses de calcul :**

- les sections après déformation restent planes (principe de NAVIER-BERNOULLI) ;
- il n'y a aucun glissement entre les armatures de béton armé, celles en matériaux composite et le béton, sauf si la précontrainte n'est pas adhérente ;
- les contraintes dans les différents matériaux (béton, armatures de béton armé, armatures de précontrainte et matériau composite) sont proportionnelles aux déformations, c'est-à-dire que ces matériaux ont un comportement élastique (loi de HOOKE) ;
- la résistance à la traction du béton est négligée ;
- la résistance à la compression du composite est négligée ;
- les contraintes limites du béton, des armatures de béton armé et de précontrainte sont celles des règles de l'Eurocode 2 et valent :
 - contraintes limites du béton en compression :
 - sous combinaisons caractéristiques et environnements de classes XC (risques de corrosion par carbonatation), pas de limitation (rappel : cela impose la vérification en fatigue du béton comprimé),
 - sous combinaisons caractéristiques et environnements de classe XD (risques corrosion en présence de chlorures), XF (gel-dégel avec ou sans chlorures) et XS (eau de mer), $\sigma_c \leq 0,6f_{ck}$,
 - sous combinaisons quasi-permanente, $\sigma_c \leq 0,45f_{ck}$,

NOTE IMPORTANTE : pour les ponts, le guide méthodologique «Eurocode2» du Sétra de juillet 2008 propose de limiter la compression du béton à $0,6f_{ck}$ sous combinaisons caractéristiques pour tous les environnements (XC, XD, XF et XS), ce qui évite le calcul en fatigue et va dans le sens de la sécurité.

- contrainte limite des armatures de béton armé en traction :
 - sous combinaisons caractéristiques, $\sigma_s \leq 0,8f_{yk}$
- contrainte limite des armatures de précontrainte adhérentes en traction :
 - sous combinaisons caractéristiques, $\sigma_{pm} \leq 0,8f_{pk}$
- contraintes limites des armatures de précontrainte non-adhérentes en traction : la surtension est quasiment négligeable ;

> maîtrise de la fissuration :

■ ouvertures limites pour les éléments en BA et BP à armatures non adhérentes et sous combinaisons quasi-permanentes :

- environnements de classe XC : $w_m \leq 0,3$ mm,
- environnements de classe XD et XS : $w_m \leq 0,2$ mm ;

NOTE : l'EC2 a oublié les environnements de classe XF.

NOTE IMPORTANTE : pour les ponts, le guide méthodologique «Eurocode2» du Séttra de juillet 2008 propose de faire le calcul sous les combinaisons fréquentes plus représentatives.

Rappel : l'Eurocode2 impose aussi la vérification des armatures de béton armé en fatigue, laquelle peut être prépondérante. Il est rappelé que la vérification de l'ouverture des fissures n'est pas traitée dans les recommandations de 2011.

■ ouvertures limites pour les éléments en BP à armatures adhérentes :

- environnements de classe XC : $w_m \leq 0,2$ mm sous combinaisons fréquentes et non décompression de la zone d'enrobage des armatures de précontrainte sous combinaisons quasi-permanentes,

Rappel : l'Eurocode2 impose aussi, si la structure est fissurée sous combinaisons fréquentes, la vérification des armatures de précontrainte en fatigue, laquelle peut être prépondérante.

- environnements de classe XD et XS : non-décompression sous combinaisons fréquentes.

Dans le cas où l'élément à réparer ou renforcer est entièrement enveloppé par le renfort composite, la pénétration des agents agressifs étant empêchée, il n'est pas nécessaire de procéder au calcul de l'ouverture des fissures.

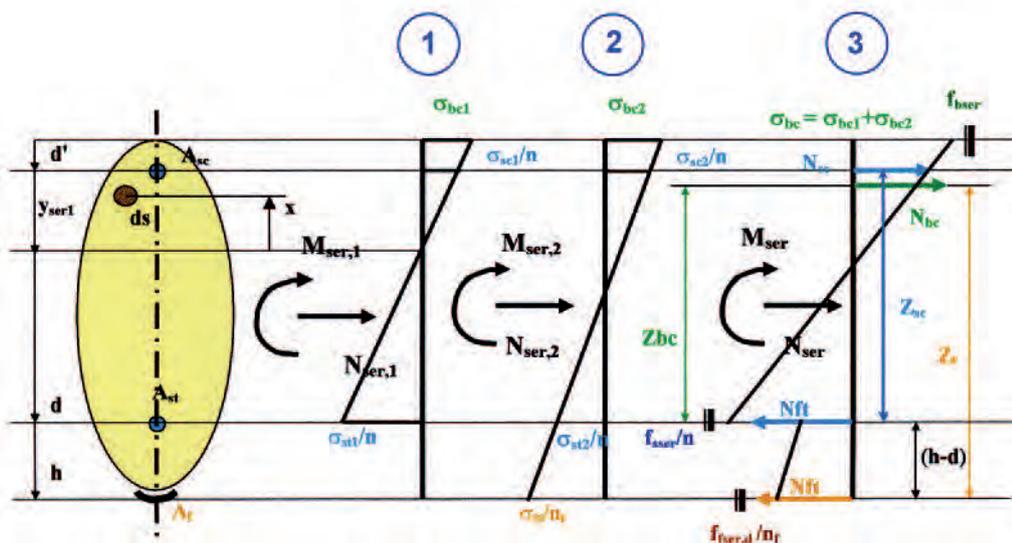
ATTENTION cependant à ne pas avoir un risque de **rétenion d'eau** dans le cas où la face supérieure de l'élément serait simplement protégée par une chape d'étanchéité défailante !

NOTE : le calcul des ouvertures des fissures suivant les règles de l'Eurocode 2 est assez complexe et les formules ne sont pas généralisables à toutes les formes de coffrages, aux sections en flexion déviée... Le guide méthodologique «Eurocode2» du Séttra de juillet 2008 rappelle qu'il est éventuellement possible d'utiliser l'approche retenue dans l'annexe nationale de l'Eurocode 2 partie 2.

- l'Eurocode 2 impose en plus, pour limiter la fissuration, dans les zones susceptibles d'être tendues sous combinaisons caractéristiques, la mise en place d'une section minimale d'armatures adhérentes (règle très proche de la règle de non-fragilité des diverses règles de béton armé françaises depuis les années 60). Dans le cas où cette exigence ne serait pas satisfaite, il suffit de rajouter la section de matériau composite nécessaire ;

- la contrainte limite du renfort composite : $\sigma_{flim} \leq \min [f_{fd}, 450 \text{ MPa}]$ (pas de changement par rapport à la version 2007) ;
- il faut tenir compte du **phasage**, c'est-à-dire des états de contraintes des différents matériaux avant et après renforcement, sauf si la structure est remise sur cintre pour y annuler les contraintes dues aux charges appliquées. Ce calcul se simplifie (addition simple des torseurs de contraintes avant et après renforcement) dans le cas où la position de l'axe neutre avant et après renforcement peut être supposée invariante (voir le texte des recommandations identique à celui de la version 2007).

Diagramme des contraintes à l'ELS d'une section en flexion composée



- Diagramme 1 : contraintes sous les charges permanentes (le renfort composite ne participe pas)
 Diagramme 2 : contraintes sous les charges d'exploitation (le renfort composite participe)
 Diagramme 3 : superposition des états de contraintes 1 + 2
 Les contraintes limites dans le béton, les armatures de BA et le renfort composite ne doivent pas être dépassées.

Figure n° 37 : diagrammes des déformations et des contraintes à l'ELS d'une section de béton armé

5.2.2.3 Autres justifications à effectuer

Il est impératif d'empêcher le développement d'un **délaminage à l'extrémité du renforcement en matériau composite**. Pour ce faire, outre la justification de la **longueur d'ancrage**, il faut aussi justifier l'absence de **toute rupture par délaminage à l'interface béton-composite**, soit **dans le béton**, soit **dans le produit d'imprégnation et/ou de collage** (se reporter aux textes susvisés).

Dans le cas où le risque de délaminage existe, des verrous ou des mèches peuvent être mis en place pour empêcher son développement (voir la suite du présent guide).

Rappel : les recommandations provisoires de l'AFGC indiquent que les connaissances actuelles sur le comportement à long terme de ces matériaux sous les environnements sévères des ouvrages de génie civil, sur leur comportement en fatigue ou sous des sollicitations extrêmes (chocs, séismes...), sur les mécanismes locaux au droit de fissures actives... sont insuffisantes et que des recherches restent à effectuer.

Il est donc nécessaire d'être prudent lors de l'étude d'un projet de réparation ou de renforcement si l'on sort des limites actuellement maîtrisées.

5.2.2.4 Protection contre des températures excessives

AVERTISSEMENT : les systèmes (produits d'imprégnation et/ou de collage + tissu ou plaque) sont à base de produits organiques qui perdent leurs caractéristiques sous l'action de **températures trop élevées**. Ce risque est évident en cas **d'incendie** (bâtiments, tunnels, tranchées couvertes...) mais peut aussi concerner des renforts disposés à l'extrados d'un pont lors de la mise en place d'une chape d'étanchéité en asphalte coulée ou des enrobés à chaud des couches de chaussée...

Il faut donc faire une **analyse des risques** et s'assurer, qu'en cas de défaillance du matériau composite, il n'y ait pas un risque de **rupture** de la partie de la structure concernée pouvant entraîner des **dommages importants du type effondrement en chaîne**. C'est le cas des poutres principales, alors que les poutres secondaires peuvent ne pas être impliquées.

Dans les autres cas susvisés, il faut aussi s'assurer, même s'il n'y a pas risque de rupture, que le comportement du composite ne risque pas d'être altéré par l'élévation de température.

Ces études peuvent conduire dans ces différents cas à imposer la mise en place d'une **protection thermique spécifique** du matériau composite.

5.2.2.4.1 Cas de l'incendie

L'étude consiste à évaluer si la **durée de résistance au feu** de la partie de la structure concernée respecte les exigences réglementaires ou contractuelles de durée de tenue au feu (1/2 h, 1h, 2 h...). Les calculs sont à effectuer en **situation accidentelle** et vis-à-vis des **ELU** sous les **charges appliquées non pondérées** (coefficient de pondération unitaire).

> Trois cas peuvent se présenter :

- 1. les aciers existants assurent la tenue au feu. Il n'est donc pas nécessaire de mettre en place un système de protection thermique ;
- 2. les aciers existants (armatures de béton armé ou de précontrainte) peuvent seuls assurer la tenue au feu à condition qu'un système de protection thermique, qui peut être un simple flocage, soit mis en place pour retarder la montée en température des armatures. Dans un tel cas, l'épaisseur de la protection est, généralement, faible ;
- 3. la tenue au feu des matériaux composites doit être assurée en sus de celle des armatures existantes. Dans un tel cas, il faut mettre en place un véritable système de protection thermique d'épaisseur adaptée (par exemple, de l'ordre d'une quinzaine de centimètres, voire beaucoup moins pour les produits les plus performants).

5.2.2.4.2 Cas de la mise en place des chapes et des revêtements de chaussée (enrobés à chaud)

Il est rappelé que la mise en œuvre sur un tablier de pont d'une chape en asphalte gravillonnée (température maximale de 250°C) et d'enrobés (température de 160 à 170°C) provoque des **gradients thermiques verticaux** dans le tablier et, de plus, si la mise en œuvre n'est pas réalisée symétriquement, elle provoque également des **gradients thermiques transversaux**.

Ces gradients peuvent provoquer des désordres, en particulier au niveau des appareils d'appui et des joints de dilatation si les déformations thermiques se trouvent bloquées (se reporter au Bulletin Ouvrages d'Art n° 54 du Sétra qui développe les constatations effectuées sur le tablier métallique à dalle orthotrope du pont de Cheviré²⁷). Sur un pont métallique à dalle béton ou sur un pont béton, les effets sont moindres, mais ils existent cependant. Il est donc conseillé d'étudier le problème avant l'opération et de veiller à symétriser la mise en œuvre des enrobés.

Dans le cas des composites sous forme de plaques ou tissus disposés à l'extrados d'un tablier en métal ou béton, la mise en place d'une chape en asphalte coulée ou d'un revêtement de chaussée en enrobés à chaud pourrait conduire à créer une élévation de température qui serait **préjudiciable à la tenue de l'adhésif**. D'autant que peuvent s'ajouter les effets d'une température ambiante élevée et un fort ensoleillement, lesquels peuvent majorer les effets thermiques et ralentir le refroidissement des produits mis en place.

Des essais ont été effectués par le **CETE Méditerranée** à la demande du **Sétra** à la fin des années 80 pour mesurer dans une dalle de pont en béton les effets de la mise en œuvre des couches d'étanchéité et de celles de chaussée, ainsi que les effets de la température ambiante et de l'ensoleillement. Le but était de connaître le niveau de température dans l'adhésif tôles

²⁷ Voir également le n° 5962 du Moniteur des TP du 1/10/2004 qui relate un autre cas.

collée à l'extrados de la dalle de couverture d'un tablier à réparer. Des essais du même type ont été effectués en Suisse. Les rapports correspondants figurent dans la bibliographie ci-après. Il a été possible d'en tirer les observations suivantes :

> 1. cas des étanchéités par feuille préfabriquée revêtue d'asphalte (FPA) :

- a. lors de la mise en place de la couche d'asphalte gravillonnée : la feuille préfabriquée joue le rôle d'écran thermique, qui est plus ou moins efficace suivant le type de feuille :
 - la température maxi à l'interface entre la feuille d'étanchéité et le béton varie entre 60°C et plus de 100°C et une température supérieure à 50°C se maintient pendant 60 à 90 mn,
 - la température dans le béton à proximité de sa surface (environ 1 cm) dépasse les 60°C pendant près d'une heure ;
- b. lors de la mise en place d'enrobés en béton bitumineux coulé (BBC) à 250°C : la feuille préfabriquée joue également le rôle d'écran thermique : la température à l'interface entre la feuille d'étanchéité et le béton dépasse les 50°C mais la température reste voisine de 50°C pendant plusieurs heures ;

NOTES :

Les mesures effectuées en Suisse recoupent les mesures susvisées avec de légères différences dues à la position des sondes de température dans le béton.

Les mesures effectuées sur une dalle coulée sur le sol montrent que la température peut dépasser les 90°C, car l'évacuation des calories par la dalle est freinée.

> 2. cas des étanchéités par film mince adhérent au support (FMAS) :

Lors de la mise en place d'enrobés à 140/160°C : la température à la surface du film voisine les 50°C pendant près d'une heure ;

> 3. cas des étanchéités par feuille préfabriquée monocouche (FPM) et des non-tissés :

La mise en œuvre d'un enrobé à 160°C ou d'un BBC à 250°C, juste sous un film non-tissé ou une chape constituée par une feuille préfabriquée armée par un non-tissé à fort grammage ~170 g/m², donne des températures de même niveau (entre 55 et 65°C) ;

> 4. cas de l'ensoleillement par température ambiante élevée (supérieure à 40°C) :

La température dans les enrobés ou à l'interface entre les enrobés et la chape est proche de 50°C. Dans le béton, à proximité de sa surface (environ 1 cm), la température mesurée est inférieure à la température ambiante.

> **Il est possible d'en tirer les conclusions suivantes afin d'éviter des problèmes dans des composites collés à la surface du béton de l'extrados d'un pont, d'un parc de stationnement en terrasse, etc. :**

- prévoir un revêtement de protection à la surface des plaques ou du tissu en matériaux composite ;
- préférer les feuilles préfabriquées revêtues ou non d'asphalte et armées d'un non-tissé à fort grammage, qui jouent le rôle d'écran thermique, aux étanchéités en asphalte monocouche ou bicouche et aux films adhérents au support ;
- choisir des bétons bitumineux qui peuvent être mis en œuvre à des températures ne dépassant pas 160 °C (produit innovant) ;
- s'assurer de la tenue de l'adhésif à des températures pouvant atteindre 60 à 70°C ;
- lors des **travaux d'entretien**, ne pas procéder à un décapage thermique de la couche de roulement sans faire une étude préalable de ses conséquences sur les produits composites collés.

> **Il est aussi possible :**

- d'évaluer l'élévation de température qui va se produire au niveau de l'adhésif à partir de la conductivité thermique et du coefficient de transfert thermique des différents matériaux superposés en tenant compte de la température de l'air ambiant, voire des effets de l'ensoleillement ;
- de faire des essais en laboratoire ou in-situ pour mesurer les températures au voisinage des plans de collage ;
- de choisir, si possible, une période où les températures ambiantes sont modérées pour effectuer les travaux de réfection de l'étanchéité et de la couche de roulement ;
- de s'assurer au moyen de thermocouples, lors de la mise en place de la chape d'étanchéité et des enrobés, que les températures à respecter le sont effectivement.

> **Bibliographie :**

- Bulletins de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées :
 - N°40 (Sept/Oct 1969) : Constatations concernant une chape d'étanchéité de pont, par Mme BICHERON,
 - N°47 (Sept/Oct 1970) : Chapes d'étanchéité en brai-époxy, par Mme BICHERON,
 - N°63 (Janv/Fév 1973) : Résultats d'un an de relevés thermométriques au niveau d'une chape d'étanchéité, par MM. SORS et NURY.
- Revue Ingénieurs et architectes suisses N° 11 (27.5.82) : Influence de la température dans les ouvrages d'art lors de la pose de revêtements hydrocarbonés chauds, par M. FIGUET.

5.3.1 EN RENFORCEMENT

> **Les matériaux composites sont le plus souvent utilisés pour le renforcement de structures en bon état qui :**

- présentent une insuffisance de capacité portante vis-à-vis de nouvelles charges lors d'un changement d'affectation de la structure, ce qui est un cas courant dans le domaine du bâtiment ;
- doivent être aménagées, ce qui va modifier le mode de fonctionnement de la structure avec création d'efforts supplémentaires dans certaines zones. Un cas courant est celui de la création d'ouvertures, comme une trémie dans une dalle de plancher ;
- doivent être adaptées aux «normes actuelles» : par exemple les règles parasismiques (avec les limites développées ci-devant) ;
- présentent **des fragilités potentielles** liées aux règles de calculs utilisées à l'époque de la conception. C'est le cas, par exemple, des poutres préfabriquées et post-contraintes des tabliers de type VIPP. En effet, les talons de ces poutres ne comportent que très peu d'armatures longitudinales de béton armé pour reprendre d'éventuelles traction (ces poutres étaient calculées en précontrainte totale, c'est-à-dire avec une absence de décompression de l'ensemble des fibres de toutes les sections). En cas d'une augmentation des charges, en cas de rupture par corrosion de quelques armatures de précontrainte..., ces poutres fragiles peuvent se fissurer brutalement, voire se rompre.

5.3.2 EN RÉPARATION

> **Les matériaux composites peuvent aussi être utilisés lors de réparations structurales :**

Après diagnostic et mise au point d'un projet de réparation, l'opération comporte, en premier, la réparation des désordres affectant les matériaux (le béton et les armatures) ; ensuite, après une préparation de surface, les matériaux composites sont mis en œuvre en compléments pour renforcer la structure et éviter le retour des désordres.

Le présent paragraphe traite de quelques exemples de réparation ou renforcement de structures en béton armé et en béton précontraint par des matériaux composites collés à la surface du béton. Ces renforcements sont applicables à des dalles, des poutres, des planchers, des poteaux, des silos, des cheminées... **Bien entendu, il existe des limites d'emploi visées dans la suite du présent guide.**

NOTE : en présence d'une réparation existante à base de **tôles collées**, en l'absence d'essais permettant de valider ce type de réparation, **il ne faut pas recouvrir** les tôles par un matériau composite. Dans un tel cas, il faut, soit procéder à l'enlèvement des tôles et les remplacer par un matériau composite collé (lamelles ou tissus), soit remplacer les tôles collées manquantes ou endommagées.

5.4.1

RENFORCEMENT PAR DES MATÉRIAUX COMPOSITES COLLÉS D'UN PLANCHER (POUTRES ET DALLES) EN BÉTON ARMÉ VIS-À-VIS DE LA FLEXION

La photo 22 montre le début de la préparation du support avec l'enlèvement du flocage de protection incendie.

La photo 23 montre la suite de la préparation qui porte, d'une part, sur le décapage des armatures corrodées et, d'autre, part sur le remplacement local, par ragréage, du béton d'enrobage de ces armatures après leur décapage.

La photo 24 montre, après le ragréage, le ponçage de la surface du béton sur laquelle doivent être collées les armatures passives extérieures.

Les photos 25 et 26 montrent les renforts des poutres par des lamelles composées de fibres de carbone enrobées dans une matrice à base de polymères et collées à la surface du béton.

Ces différentes photos montrent, d'une part, que **la préparation du support** est l'opération la plus lourde sur un tel chantier et, d'autre part, que les renforts peuvent être collés sous le talon ou sur les faces latérales de poutres.



Photo n° 22 : dégagement du flocage de protection contre l'incendie des poutres (crédit photo VSL France)



Photo n° 23 : début de la préparation de l'intrados et des deux faces latérales des poutres (crédit photo VSL France)



Photo n° 24 : ponçage des talons et des faces latérales des poutres ainsi que de l'intrados des dalles (crédit photo VSL France)



Photo n° 25 : lamelles de renfort sous les talons et les faces latérales de poutres (crédit photo VSL France)



Photo n° 26 : renforts en place des poutres et des dalles (crédit photo VSL France)

5.4.2 RÉPARATION PAR DES MATÉRIEAUX COMPOSITES COLLÉS D'UN TABLIER DE PONT À POUTRES SOUS CHAUSSÉE EN BÉTON ARMÉ VIS-À-VIS DE LA FLEXION ET DE L'EFFORT TRANCHANT

Cette réparation concerne le pont du CD 126 (actuellement RD 126) à Arcueil sous l'autoroute A 6, dont une partie des poutres avait été renforcée par des tôles collées. En effet, le ferrailage des poutres de cet ouvrage de grande largeur avait été dimensionné sans tenir compte du dévers transversal qui réduisait fortement la hauteur, donc l'inertie des poutres sous la voie poids lourds, car le tirant d'air à dégager sous l'ouvrage ne permettait pas de donner à toutes les poutres la même hauteur. Le ferrailage de plusieurs poutres s'est donc révélé insuffisant (se reporter au n° 297 de septembre 1972 des **Annales de l'ITBTP**).



*Photo n° 27 : tôle collée sous le talon d'une poutre de rive et endommagée par les chocs de véhicules hors gabarit
(crédit photo D. Poinéau)*

Pendant la vie de l'ouvrage, certaines des tôles collées et même certaines armatures de béton armé ont été fortement endommagées par le choc de véhicules hors-gabarit à cause du tirant d'air insuffisant. De plus, certaines tôles de renforcement des âmes vis-à-vis de l'effort tranchant se sont localement décollées de leur support. Enfin, de nombreuses fissures traversantes se sont développées sur les âmes des poutres non renforcées. Ces fissures étaient dues aux cisaillements d'effort tranchant combinés aux effets des retraités différentiels entre le hourdis, les âmes et les talons, faute d'armatures longitudinales de peau en quantité

suffisante dans les âmes.

> **Après abaissement du niveau de la route départementale pour augmenter le gabarit sous le tablier, la réparation a consisté à :**

- reconstituer le ferrailage des talons endommagé par les chocs ;
- remplacer les tôles collées endommagées par un tissu constitué de fibres de carbone également collé sur le béton après une préparation du support béton ;
- coller également du tissu composite sur les âmes fissurées après avoir injecté ces dernières ;
- traiter les différentes épaufrures, armatures corrodées...

> **Au cours de la préparation du support :**

- les nombreuses fissures traversantes des âmes ont été injectées ;
- les armatures de béton armé endommagées par les chocs ont été remplacées et les talons des poutres ont été reconstitués ;
- les armatures corrodées ont été décapées puis réenrobées par un mortier de ragréage ;
- les balèvres et autres défauts ont été éliminés.



Photo n° 28 : injection des fissures (crédit photo VSL France)



Photo n° 29 : reconstitution du ferrailage et de la géométrie des talons endommagés (crédit photo D. Poineau)



Photo n° 30 : enlèvement du béton désorganisé et décapage des armatures corrodées (crédit photo VSL France)

NOTE : sur la photo ci-dessus, on peut voir, de couleur rouge, les tôles qui avaient été collées dans les années 70 sur les âmes.



Photo n° 31 : ragréage en cours (crédit photo VSL France)



Photo n° 32 : tissu composite en cours de collage sur les âmes des poutres (crédit photo D. Poinéau)



Photo n° 33 : réalisation du revêtement de protection du tissu composite (crédit photo D. Poineau)

5.4.3 RENFORCEMENT PAR DES MATÉRIAUX COMPOSITES COLLÉS DE POUTRES EN BÉTON PRÉCONTRAIT

L'aménagement de voies supplémentaires (2x3 au lieu de 2x2) engendre sur le plan structural des efforts de flexion supplémentaires dans les poutres intérieures (côté TPC) et dans les poutres extérieures du tablier du viaduc de Toutry sous l'autoroute A 6. Ces poutres, précontraintes par post-tension et dimensionnées avec les règles de l'IP 1 de 1965, ont fait l'objet d'un recalcul avec les règles du BPEL en classe II auxquelles elles ne pouvaient satisfaire, d'une part, du fait des sollicitations supplémentaires et, d'autre part, parce que les règles de 1965 n'admettaient pas la décompression du béton et ne prévoyaient que quelques armatures dans les talons des poutres bien incapables de reprendre des tractions importantes.



Photo n° 34 : vue générale du chantier (crédit photo SIKA)

Ces poutres ont donc été renforcées par des lamelles armées de fibres de carbone à haut module d'élasticité (> 165 GPa) de façon à limiter les tractions dans le béton et l'ouverture des fissures conformément aux exigences de la classe II du BPEL.

Sur le plan des contrôles, le PAQ avait prévu une zone test sur laquelle des essais d'arrachement ont été réalisés. De plus, l'efficacité du collage a été vérifiée dans le cadre d'une procédure de contrôle par thermographie infrarouge à l'aide d'une caméra. En effet, la thermographie permet détecter la présence de bulles d'air dans les plans de collage, bulles pouvant être le signe d'un défaut de collage.



Photo n° 35 : renfort des poutres de rive extérieures (crédit photo SIKA)



Photo n° 36 : renfort des poutres de rive intérieures (crédit photo SIKA)

NOTE : les photos montrent aussi les renforcements par précontrainte extérieure des chevêtres des piles mis en œuvre lors d'une opération précédente consacrée à l'élargissement du tablier.

5.4.4 MISE EN SÉCURITÉ PAR DES MATÉRIAUX COMPOSITES COLLÉS DE POUTRES EN BÉTON PRÉCONTRAIT



Photo n° 37 : renforcement en tissu composite des abouts des poutres du pont sur la Drôme (crédit photo RCA - M. Trouillet)

La surveillance et les nombreuses investigations effectuées sur les deux tabliers **de type VIPP** du pont de l'autoroute A 7 sur la Drôme construits en 1965 (tabliers composés de travées indépendantes constituées par des poutres préfabriquées post-contraintes réunies par un hourdis coulé en place et précontraint transversalement) ont révélé l'existence de câbles corrodés dont certains étaient rompus, ainsi que de gros défauts d'injection avec la présence d'eau fossile (décantation du coulis d'injection) dans les conduits.

La corrosion de câbles de précontrainte dans une poutre **de type VIPP** peut, dans certains cas, entraîner une rupture brutale de celle-ci, de type flexion-effort tranchant, à proximité d'un de ces abouts. En effet, à proximité de l'about, la majeure partie des câbles étant relevée, la résistance vis-à-vis de l'amorçage d'une fissure de flexion-effort tranchant est relativement faible en cas de rupture par corrosion d'un, voire de plusieurs des câbles non-relevés ou faiblement relevés, c'est-à-dire disposés près de la fibre inférieure. Ce risque est d'autant plus élevé que les sections des armatures transversales (étriers) des poutres étaient dimensionnées au plus juste conformément aux règles en vigueur dans les années 60.

En attendant les conclusions des études entreprises pour savoir s'il fallait (et comment) réparer ou remplacer les deux tabliers, une réparation provisoire pour mettre les poutres en sécurité vis-à-vis d'un risque de rupture de type flexion-effort tranchant a été réalisé en enveloppant les abouts par un tissu composite à base de fibres de carbone.

5.4.5 RENFORCEMENT PAR DES MATÉRIAUX COMPOSITES COLLÉS DE POTEAUX EN BÉTON ARMÉ

Ce type de renforcement est applicable à des pièces comprimées, voire fléchies et comprimées telles qu'une pile ou un poteau en béton armé...

Ici, le mode de fonctionnement de l'armature qui entoure la pièce comprimée et y exerce un **effort de frettage**, change. Un tel renforcement est utilisé, par exemple, pour des poteaux et des piles non dimensionnés pour des séismes...



Photo n° 38 : frettage de poteaux par composites (crédit photo Freyssinet)

5.4.6 MISE EN SÉCURITÉ PAR DES MATÉRIAUX COMPOSITES COLLÉS DES PYLÔNES EN BÉTON ARMÉ D'UN PONT SUSPENDU

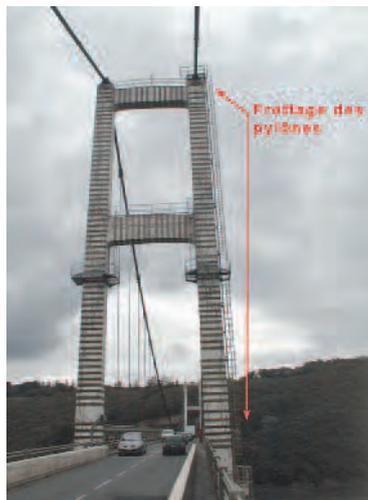


Photo n° 39 : frettage des pylônes du pont de Térénez par des bandes de matériaux composites collés (crédit photo Freyssinet)

Le béton des pylônes de ce pont suspendu est atteint par une alcali-réaction qui provoque uniquement une fissuration quasi verticale des pylônes, car la compression sur les sections horizontales est suffisamment importante pour empêcher le gonflement du béton et l'apparition de fissures horizontales.

Ces pylônes ont fait l'objet d'une **réparation provisoire** en attendant la construction d'un nouvel ouvrage. Cette réparation a consisté à cercler les pylônes par des bandes de tissus composite collées créant un frettage du béton.

5.4.7 ACCESSOIRES DES PROCÉDÉS

> Des accessoires brevetés font partie de certains des systèmes de renforcement en matériaux composites actuellement disponibles sur le marché. Il y a lieu de citer :

- des **équerres de carbone moulées en usine** permettent d'assurer la liaison entre les renforcements longitudinaux (sous le talon d'une poutre) et les renforcements transversaux (sur les âmes de la poutre), mais aussi de réduire les risques de délamination ;

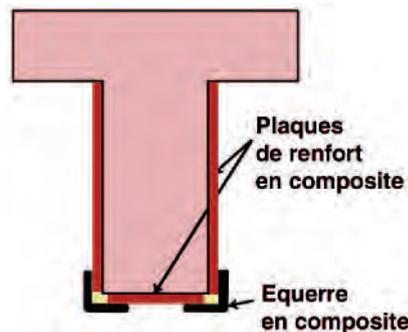
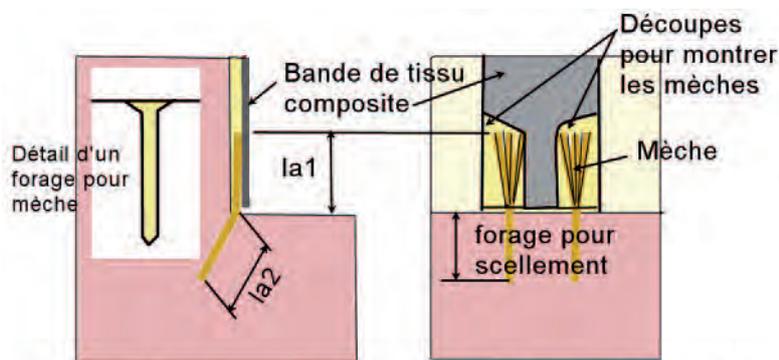


Figure n° 38 : principe de mise en place d'équerres

- des mèches d'ancrage permettent de fixer ou d'ancrer des renforts en tissu vis-à-vis d'efforts déviés, comme des poussées au vide ;



la_1 et la_2 représentent les longueurs d'ancrage de la mèche

Figure n° 39 : principe de mise en place de mèches d'ancrage



Photo n° 40 : phase 1 de la pose d'une mèche d'ancrage (crédit photo Freyssinet)



Photo n° 41 : phase 2 de la pose d'une mèche d'ancrage (crédit photo Freyssinet)

- des «**coutures**» constituées de plusieurs mèches d'ancrage peuvent être utilisées pour lier des renforts en tissu situés de part et d'autre d'un obstacle (présence d'une poutre secondaire, d'un voile...). Le passage de la «couture» impose le perçage de l'obstacle comme le montre la figure suivante ;

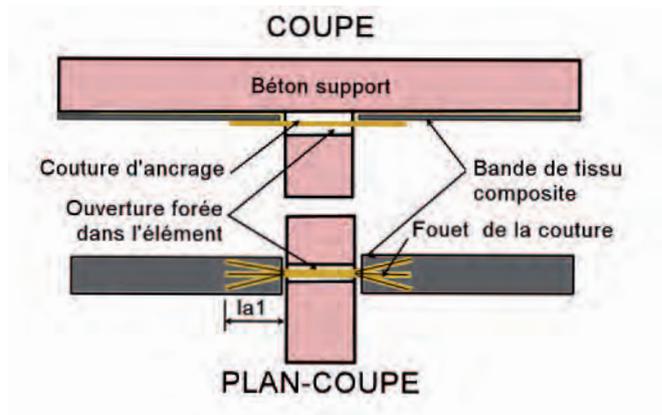


Figure n° 40 : principe de mise en place de «coutures»

- des **ancrages métalliques** permettent par collage et pincement d'ancrer des renforts en tissu ;

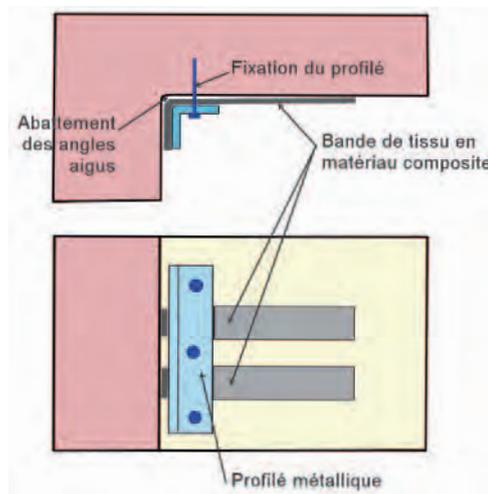


Figure n° 41 : principe de mise en place d'ancrages métalliques

NOTE : la fixation des ancrages au béton est à assurer préférentiellement par des chevilles scellées.

- **des ancrages scellés dans des encoches.** Ce dispositif permet d'assurer, par exemple, la continuité du renforcement des âmes d'une poutre en té au niveau de la jonction entre l'âme et la table de compression. Des lamelles préformées en forme de L sont insérées dans des encoches réalisées dans la table de compression de la poutre où elles sont scellées. Elles sont également collées sur les faces latérales et en sous-face de la poutre, dans le but de la renforcer vis-à-vis de l'effort tranchant.



Figure n° 42 : schéma d'un dispositif permettant d'assurer la continuité du renfort de l'âme vis-à-vis de l'effort tranchant - Système «Sika Carboshear L» (crédit photo Sika)



Photo n° 42 : système «Sika Carboshear L» en place (crédit photo Sika)

La mise en place d'armatures en matériaux composites collées à la surface du béton n'est envisageable que si les diverses conditions développées dans les 4 sous-paragraphes suivant sont satisfaites.

5.5.1 ABSENCE DE PATHOLOGIE DU BÉTON ET DES ARMATURES ET D'UNE MAUVAISE COHÉSION DE LA SURFACE DU BÉTON

ATTENTION : les matériaux de la structure à réparer ou renforcer, le béton et les armatures ne doivent pas présenter de pathologie susceptible de compromettre les transferts, par cisaillement, des efforts du béton vers le matériau composite et vice et versa.

> Dans le cas où le béton est affecté par une des pathologies suivantes, l'utilisation des composites ne peut donc être envisagée, normalement, que pour des réparations provisoires de mise en sécurité de la structure :

- les réactions de gonflement interne (AR et RSI) ;
- une mauvaise résistance au gel en surface (écaillage) ou en profondeur ;
- une corrosion active et importante des armatures, qui provoque, par leur gonflement, la fissuration puis le décollement du béton d'enrobage ;
- une étanchéité défailante ;
- une exposition à des températures élevées (hors incendie)...

En effet, toutes ces pathologies favorisent le développement de fissures et le délaminage du béton et donc mettent en jeu le fonctionnement de la réparation dans le temps. Certains traitements complémentaires sont capables d'éradiquer - mais pas toutes - certaines des pathologies susvisées. Ce peut être le cas d'une corrosion des armatures peu développée (se reporter au guide FABEM 1).

> De plus, la surface du béton doit présenter les qualités suivantes :

- une cohésion superficielle au moins égale à **1,5 MPa**, mesurée par un essai d'arrachement (NF EN 1542 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Mesurage de l'adhérence par traction directe). Cette exigence a pour but d'éviter un risque de délaminage (se reporter au paragraphe consacré au mode de fonctionnement d'une structure réparée à l'aide de composites). Les zones ragrées doivent présenter le même niveau de cohésion ;

ATTENTION : la cohésion du béton doit être mesurée lors de l'expertise ou lors des études du projet de réparation. Il ne faut pas attendre que le chantier soit installé pour s'apercevoir que la solution de renforcement par polymères fibrés est impossible à exécuter, faute d'un béton support de qualité !

- une réparation globale des parties à réparer et/ou renforcer est nécessaire si les défauts relevés dépassent 20% de la surface des zones à encoller. Un simple ragréage de ces seules zones est insuffisant. **Dans un tel cas**, une étude comportant des essais doit être entreprise afin de déterminer la solution optimale de réparation (se reporter au **guide FABEM 1**). Cette étude peut déboucher sur l'abandon de la solution initiale et son remplacement par l'utilisation de joncs encastrés dans des rainures, etc.

5.5.2

ABSENCE DE DÉFAUTS DE SURFACE ET DE SALISSURES DU SUPPORT EN BÉTON

> **Le support au droit des zones de collage ne doit pas présenter de défauts, à savoir :**

- des fissures : elles sont à injecter si elles sont injectables ($> \sim 0,2$ mm) ;

NOTE : en cas de fissures très actives et largement ouvertes, il faut plutôt envisager **une réparation active par précontrainte additionnelle** sous forme de câbles ou de barres, sachant qu'il est aussi possible d'utiliser des lamelles en fibres de carbone qui peuvent être mises en tension. La présence de telles fissures peut en effet entraîner **l'amorce de délaminations locales au niveau de chaque fissure** qui sont difficiles à contrôler.

- des corps étrangers (morceaux de bois, clous...) : ils sont à enlever et les trous formés doivent être rebouchés ;
- des trous dus au bullage, des coulures de ressuage... : ils sont à reboucher à l'aide d'un bouche-pores (résine pure ou mortier à base de résine et sable) ;
- des défauts de surface du type trous, cavités, balèvres nids de cailloux... : ils doivent avoir été ragréés à l'aide d'un mortier de réparation de qualité structurale (R3 ou R4) conforme à la norme **NF EN 1504-3** et admis à la **Marque NF : Produits spéciaux** (il est préférable d'utiliser un mortier à base de liant hydraulique modifié par des résines [LHM]). De plus, la cohésion des produits de réparation doit respecter les 1, 5 MPa de cohésion susvisés pour le matériau béton ;
- les produits de cure, les anciens revêtements, la laitance, des traces de graisse, la végétation (algues, lichens...)... qui nuisent à l'adhérence de l'adhésif : ils doivent donc être éliminés pour rendre la surface rugueuse. De plus, les poussières produites doivent être aspirées ;

- des poussières issues en particulier des zones du chantier où se déroulent les opérations de préparation de la surface des autres parties de la structure : elles doivent être éliminées (brossage, aspiration, lavage...);
- de l'humidité à la surface du béton, qui doit, normalement, être sèche. En effet, la norme **NF EN 1504-4** ne prévoit aucun essai des produits de collage sur surface humide. Cependant, l'**avis technique** ou la **fiche technique** du procédé peuvent prévoir, dans certaines conditions, le collage sur des surfaces légèrement humides, mais non ruisselantes. Ce collage sur surfaces légèrement humides est donc envisageable.

N°	Défauts constatés	Moyen de contrôle	Faciès	Remède	Préconisations
1	Présence d'huile de démoulage	Visuel et tactile	Traces de couleur et toucher gras	Nettoyage	Jet d'eau chaude et ou produit détergeant avant sablage
2	Produit de cure en surface	Visuel et tactile	Peau formant un film sur la surface	Nettoyage	Peut être éliminé au sablage ; après essai faire un test de traction directe
3	Poussières agglomérées	Visuel et tactile	Aspect terne et poussiéreux	Nettoyage	Brossage énergique ou sablage suivis d'un rinçage à l'eau propre - Nettoyage à l'eau sous pression 15 MPa (150 bars)
4	Végétation, mousses et algues	Visuel et tactile	Couleur verte, noire et toucher parfois gras	Nettoyage	Brossage énergique ou sablage suivis d'un rinçage à l'eau propre - Nettoyage à l'eau sous pression 15 MPa (150 bars)
5	Couleurs de rouille	Visuel	Rouille d'origine externe	Nettoyage	Sablage ou bouchardage (peut provoquer des microfissures)
6	Calcite	Visuel	Traces blanches sous forme de coulures, voire de stalactites (attention ce type de défaut est généralement accompagné de fissures)	Élimination des concrétions	Sablage ou bouchardage (peut provoquer des microfissures)
7	Surface lisse ou présence de laitance, d'un ancien revêtement sur le parement	Visuel	Surface lisse et dure ou friable	Élimination de la couche superficielle	Sablage avec une buse Ø 8 et un abrasif autorisé de calibre 1,5 à 2 mm pour rendre apparent le dessus des granulats
8	Surface rugueuse avec granulats apparents	Réglet 20 cm et jauge de profondeur	Profondeur < 1,5 mm	Nettoyage	Lavage à l'eau propre et séchage (le sablage est inutile)
9	Surface rugueuse avec granulats apparents	Réglet 20 cm et jauge de profondeur	Profondeur < 1,5 mm	Ragréage	Ragréage jusqu'au sommet des agrégats à l'aide d'un mortier après préparation de la surface
10	Surface bullée	Réglet 20 cm et surfaces de référence du FD P 18-503	Diamètre des bulles en surface < 2 mm Profondeur < 4 mm Étendue < 10% (1)	Traitement non-nécessaire	Voir le n°7 (présence de laitance)...
11	Surface bullée	Réglet 20 cm et surfaces de référence du FD P 18-503	Un des paramètres supérieur aux valeurs ci-dessus (1)	Rebouchage	Remplissage des bulles avec un mortier de ragréage ou un mastic après une préparation de surface
12	Fissures de fâiencage retrait	Visuel	Réseau maillé de fissures très fine formant une mosaïque. Attention de bien identifier l'origine des fissures car l'alcali-réaction présente presque le même faciès	Traitement non nécessaire	Voir le n°7 (présence de laitance)...
13	Résidus de coffrage	Visuel	Fibres de bois ou morceaux de bois ou de plastique incrustés	Élimination des inclusions	Repiquage manuel (ciseau de maçon ou pointerolle et massette) ou mécanique (marteau-piqueur léger équipé d'un outil adapté) jusqu'à extraction, suivi d'un ragréage
14	Surface ragrées	Visuel	Différence de teinte	Vérification de l'adhérence	Sondage au marteau - Essai d'arrachement conforme à la norme NF EN 1542 pour vérifier l'adhérence

N°	Défauts constatés	Moyen de contrôle	Facès	Remède	Préconisations
15	Surface ayant des défauts de planéité générale	Règle de 2 m	Ondulations < 5 mm	Traitement non-nécessaire	Voir le n°7 (présence de laitance)...
16	Surface ayant des défauts de planéité générale	Règle de 2 m	Ondulations > 5 mm	Traitement non-nécessaire	Voir le n°7 (présence de laitance)...
17	Surface ayant des défauts de planéité locale	Réglet 20 cm	Creux locaux de flèche < 2 cm	Traitement non-nécessaire	Voir le n°7 (présence de laitance)...
18	Surface ayant des défauts de planéité locale	Réglet 20 cm	Creux locaux de flèche > 2cm	Traitement du défaut	Ragréage à l'aide d'un mortier après préparation de la surface
19	Humidité intrinsèque due à des sous-pressions	Visuel et humidimètre	Traces sombres sur les parements	Traitement de la cause	Traiter la venue d'eau par injections de blocage avant la préparation du support...
20	Condensation	Visuel, thermomètre et hygromètre et diagramme de Mollier	Formation de gouttelettes en surface	Traitement de la cause	Assurer un chauffage et une ventilation suffisante pour éviter le point de rosé.
21	Eau ruisselante	Visuel	Venues d'eau à la surface	Traitement de la cause	Dévier ou bloquer les venues d'eau
Défauts et désordres nécessitant des investigations plus ou moins lourdes pour aboutir à un diagnostic et au choix d'une technique de réparations					
22	pH. du béton	Se reporter à la norme d'essai NF EN 14630 (mesure du pH avec la phénolphthaléine)	Risque de dépassement des aciers si le pH. < 9	Traitement par les principes et méthodes relatifs à la corrosion des armatures des normes NF EN 1504-9 et NF EN 1504-10	Investigations nécessaires (mesures de la carbonatation, du taux de chlorures, mesure du potentiel d'électrode...) avant le choix de la méthode de réparation locale ou générale à appliquer
23	Coulures de rouille	Visuel	Rouille d'origine interne (corrosion des armatures)	Traitement de la corrosion et de ses causes (idem n°22)	Investigations nécessaires (idem n°22)
24	Fissure suivant le tracé des aciers et/ou éclatements en parties courantes	Visuel et auditif au marteau	Fissures et éclatement dus au foinnement des aciers corrodés	Traitement de la corrosion et de ses causes (idem n°22)	Investigations nécessaires (idem n°22)
25	Fissures	Fissuromètre, capteurs de déplacement...	Actives ou non et ouvertures comprises entre 0,3 et 2 mm	Traitement des causes et des fissures	Investigations nécessaires pour rechercher les causes avant le choix d'une méthode de réparation (cf. le guide FABEM 1...). Les techniques de traitement figurent dans le tableau n°4 du guide FABEM 4
26	Fractures	Fissuromètre, capteurs de déplacement...	Actives ou non et ouvertures > 2 mm	Traitement des causes et des fissures	Investigations nécessaires pour rechercher les causes avant le choix d'une méthode de réparation (cf. le guide FABEM 1...). Les techniques de traitement figurent dans le tableau n°4 du guide FABEM 4

Tableau n° 7 : identification et traitement des défauts de surface

NOTE : Le tableau n°27 du **guide FABEM 4** donne les domaines d'emploi des principales techniques de préparation d'un support en béton et le tableau n°30 du **guide FABEM 1** donne les avantages et les inconvénients de ces principales techniques.

5.5.3 COMPATIBILITÉ DE LA GÉOMÉTRIE DE LA PIÈCE À RÉPARER OU À RENFORCER

- la planéité de la surface doit satisfaire au minimum aux dispositions de l'article 52.2.1 du **fascicule 65 du CCTG** relatif aux parements simples (défauts mesurés avec la règle de 2 m et le réglet de 20 cm). Les flaches identifiées doivent être éliminées par rebouchage après une préparation de surface de façon à créer «une queue de billard» ;

NOTE : certaines des fiches **techniques fixent les flèches limites. Pour les composites :** ~10 mm à la règle de 2,00 m et ~3 mm au réglet de 20 cm. **Pour les tissus :** ~15 mm à la règle de 2,00 m.

- la courbure de la pièce doit être adaptée aux exigences du procédé utilisé fixées par le fabricant (voir la fiche technique du procédé). En particulier, les lamelles étant relativement raides, des dispositifs de maintien en place du renfort doivent parfois être prévus pendant le durcissement de la colle ;

NOTE : certaines des fiches techniques fixent les rayons limites. **Pour les composites :** ~5 m. **Pour les tissus :** ~3,30 m (d'autres fiches donnent des rayons nettement plus faibles). Ces valeurs correspondent aux flèches limites de la note ci-devant.

- les angles vifs doivent être abattus avec un congé de 1 cm au minimum ou un arrondi de 1 cm de rayon au minimum pour ne pas agresser le renfort (la fiche technique du procédé peut être plus exigeante). Suivant l'importance du remplissage à mettre en œuvre, une résine pure ou un mortier de résine sont à utiliser pour créer le congé ;
- la présence de décrochements, de balèvres est incompatible avec le collage des lamelles (pultrudés) qui sont relativement raides. Les tissus sont légèrement plus tolérants. Il convient de consulter **les fiches techniques** pour identifier les défauts à éliminer ;
- si la pièce présente un angle rentrant (cas des âmes des poutres de type VIPP), le renfort en tension peut **pousser au vide**. Dans un tel cas, soit un ancrage doit être mis en place pour équilibrer cette poussée au vide, soit le remplissage de l'angle par un mortier permet de satisfaire aux rayons limites visés ci-devant ;

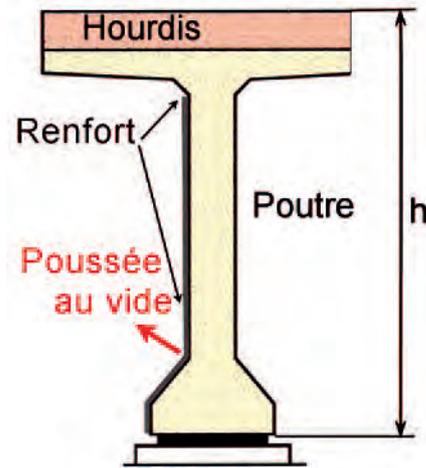


Figure n° 43 : poutre de type VIPP avec angles rentrants

- la pièce, après pose du matériau composite, ne doit pas présenter de zone où une **réretention d'eau** pourrait advenir, car une humidité permanente peut nuire à la durabilité du collage (par exemple, dans le cas de la figure 44, la chape d'étanchéité, à l'extrados de la poutre, doit être parfaitement étanche) ;
- dans le cas d'un renforcement vis-à-vis de l'effort tranchant, le renfort n'est pas efficace sur toute sa hauteur à cause de sa longueur d'ancrage et, si le renfort concerne une poutre en té ou en double té, il ne peut pas renforcer l'interface âme-table de compression, comme le montre la figure suivante.

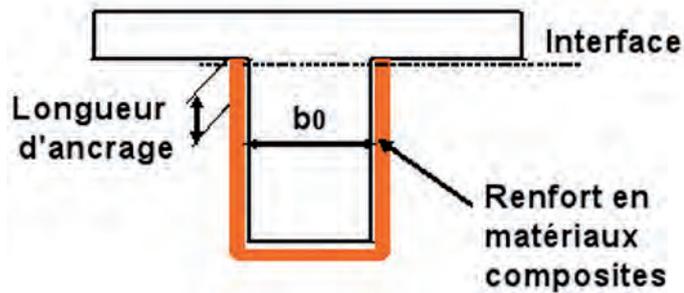


Figure n° 44 : schéma de principe d'un renforcement vis-à-vis de l'effort tranchant

Rappel : certains procédés proposent des solutions pour résoudre le problème susvisé dans les renforts d'âme vis-à-vis de l'effort tranchant.



Photo n° 43 : renforcement vis-à-vis de l'effort tranchant (crédit photo Freyssinet)

- aux abouts d'une poutre, lorsque le renfort est placé sous le talon de la poutre, la présence des appareils d'appui peut empêcher de prolonger le renfort jusqu'à l'about de la poutre de façon à ancrer le renfort sans risque de délamination et aussi d'ancrer correctement la bielle d'about. Il est cependant possible de disposer **des renforts localisés** sur les faces de l'âme et sur les flancs du talon comme le montre la figure suivante. Ces renforts ont également un effet bénéfique vis-à-vis des risques de **délamination**.

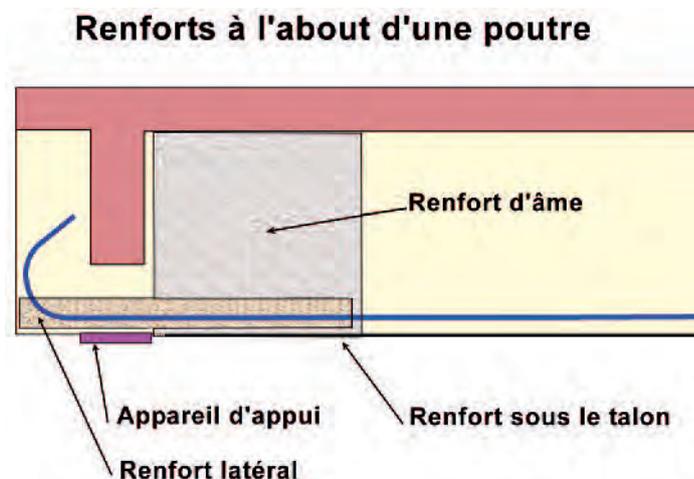


Figure n° 45 : renforts possibles à l'about d'une poutre

Le lecteur est invité à se reporter au paragraphe 5.4.7 ci-dessus qui traite des dispositifs accessoires disponibles avec certains des procédés de renforcement permettant d'ancrer les renforts.

5.5.4 PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT ET DES CHARGES DE FATIGUE SUR LA DURABILITÉ DE LA RÉPARATION OU DU RENFORCEMENT

5.5.4.1 Incidences de la température

Les colles associées aux matériaux composites ont une température de transition vitreuse (**T_v**) comprise entre 50 et 80°C. Cela veut dire que si la température ambiante s'élève à ce niveau pendant un certain temps, voire au-delà, ces colles voient leurs propriétés changer (positivement ou négativement suivant le produit utilisé), comme indiqué dans la partie consacrée au choix des produits (se reporter au paragraphe 5.6 ci-dessous). La sensibilité à l'eau et au fluage sous charges de longue durée d'application font aussi partie des caractéristiques à connaître.

> **L'encadré suivant donne le domaine d'emploi conseillé actuellement pour les matériaux composites :**

Domaine des températures d'utilisation des matériaux composites : de -20°C à (T_v-10°C). Pendant une courte période, la température peut dépasser la valeur limite supérieure.

Se reporter au paragraphe 5.2.2 ci-dessus qui détaille la méthodologie à suivre dans le cas où les risques d'incendie sont réels (**principalement celui des bâtiments**). En génie civil (tunnels, tranchées couvertes...), où le risque peut exister, il faut entreprendre **une analyse des risques** afin de prendre les bonnes décisions lors de la mise au point du projet de réparation ou de renforcement.

Il est également rappelé, pour des composites collés à l'extrados du tablier d'un pont, qu'il faut s'assurer que l'adhésif ne sera pas soumis à des températures excessives lors de la mise en place de la chape ou des enrobés des couches de roulement...

NOTE : *d'autres contraintes sur la température concernent la mise en œuvre des matériaux. Ce point est traité dans la partie du texte consacrée à la pose.*

5.5.4.2 Incidences du vieillissement des produits organiques

Les systèmes de renfort matériaux composites sont **des produits organiques** qui vieillissent plus ou moins bien en fonction de leur environnement. Par exemple, ces produits sont sensibles au rayonnement ultra-violet. Ils doivent donc être protégés par un revêtement adapté et faire l'objet d'une surveillance particulière pour détecter les pertes de qualité qu'ils peuvent subir.

5.5.4.3 Incidences des charges de fatigue

Les Recommandations provisoires de l'AFGC de 2007 (page 57) et les avis techniques du CSTB excluent les chargements de fatigue de leur domaine d'emploi (machines tournantes, passage intensifs et répétitifs de camions...).

La conception et les règles de calcul doivent être, si nécessaire, adaptées, **par le bureau d'études** en accord avec **le maître d'œuvre** en fonction de l'évolution des connaissances sur le comportement à la fatigue. Des essais spécifiques des effets de la fatigue sur l'adhésif sont visés par **la norme NF EN 1504-4**. De plus, des consignes de surveillance particulières sont à établir pour les structures ayant été réparées.

5.6.1 GÉNÉRALITÉS

Outre la nécessité d'une réparation ou d'un renforcement par armatures passives en matériaux composites collées à la surface du béton, la structure peut nécessiter des réparations structurales (présence de fissures, d'éclatements de béton, d'armatures corrodées...). De plus, les zones de collage peuvent imposer des réparations non structurales de la surface du béton (présence de bullage, de défauts de surfacage, de flaches, d'angles vifs...) pour la rendre apte à recevoir les plaques ou les tissus en matériaux composites.

5.6.2 CHOIX DES MATÉRIAUX ET PRODUITS DE RÉPARATION STRUCTURALE OU NON STRUCTURALE

Les fiches techniques des fabricants des matériaux composites collés donnent des indications sur le choix des produits d'injection, de bouche-pores, de surfacage, de réalisation de congés... utilisables.

Le choix des matériaux produits et systèmes de produits nécessaires à ces réparations peut s'appuyer sur les différents guides du STRRES de la famille FABEM auxquels le lecteur est invité à se reporter.

5.6.3 CHOIX DES ARMATURES COLLÉES EN MATÉRIAUX COMPOSITES

Le présent paragraphe définit les critères qui permettent de sélectionner les matériaux composites les mieux adaptés à la réparation ou au renforcement à effectuer.

5.6.3.1 Caractéristiques mécaniques des matériaux composites

> Le tableau ci-après compare les propriétés des différentes fibres, lesquelles assurent la résistance du produit :

Caractéristiques	Fibres de verre	Fibres d'aramides	Fibres de carbone
Résistance à la traction	+++	+++	+++
Résistance à la compression	++	0 (pas utilisables)	+++
Module d'élasticité	+	++	+++
Comportement à long terme	+	++	+++
Comportement à la fatigue	+	++	++++
Densité	+	++++	++
Résistance aux alcalins	0 (protection nécessaire)	++	+++
Prix	+++	+	+

Tableau n° 8 : comparaison des caractéristiques des différents produits

Légende : Excellent +++
Très bon ++
Bon +

REMARQUE : le fabricant, le processus d'élaboration d'une fibre et le domaine d'emploi (courant, génie civil, aviation...) ont une forte influence sur les caractéristiques finales du produit, lesquelles peuvent varier dans de grandes proportions.

ATTENTION : de plus, il ne faut pas confondre **les caractéristiques mécaniques d'une fibre** avec **celles du matériau composite** élaboré à l'aide de cette fibre. En effet, les caractéristiques du produit vont dépendre du nombre de fibres constituant le composite mais aussi du polymère d'enrobage. **Les tableaux suivants explicitent ces différences** (les caractéristiques mécaniques du tableau sont celles de fibres utilisées en génie civil).

Matériau ou produit	Module d'élasticité (MPa)	Résistance à la traction (MPa)	Allongement à rupture en %
Acier	210 000	275/355	12 à 26
Fibre d'aramide	70 000	3 100	2
Fibre de verre E	73 000	3400	4,8
Fibre de carbone	200 000/400 000	2 200/2 800	0,5/1

Tableau n° 9 : caractéristiques mécaniques des différentes fibres

Matériau ou produit	Module d'élasticité (MPa)	Résistance à la traction (MPa)	Allongement à rupture en %
Acier (tôles collées)	210 000	275/355	12 à 26
Tissu en fibre de verre	24 000/35 000	500/650	2,1/2,2
Tissu en fibres de carbone	75 000/180 000	800/2 200	1/1,5
Pultrudé en fibres de carbone	160 000/205 000	2 500/2 800	1,3/1,9

Tableau n° 10 : caractéristiques mécaniques des différents composites (plaques et tissus)

NOTE : les valeurs figurant dans le tableau sont données à titre indicatif. Il faut consulter la notice technique et l'avis technique d'un matériau composite pour connaître ses diverses caractéristiques.

Il faut remarquer les faibles allongements à rupture des différents matériaux composites. En effet, il s'agit, contrairement à l'acier, de «matériaux dits fragiles», car ils ne comportent pas de palier plastique.

> **Les tissus se présentent sous les trois types suivants :**

- **les tissus secs**, pour lesquels l'imprégnation se fait en place. Une couche de polymère est appliquée sur le béton, sur laquelle le tissu est ensuite posé. Un marouflage énergétique permet ensuite de faire pénétrer le polymère dans le tissu afin de constituer la matrice du composite ;
- **les tissus humides imprégnés sur le chantier** juste avant leur mise en œuvre avec environ 2 kg/m² de polymère. La matrice obtenue est homogène mais, en contrepartie, le poids des rouleaux et la durée pratique d'utilisation du polymère (fonction des conditions thermiques et hygrométriques) imposent des contraintes au chantier ;
- **les tissus humides pré-imprégnés en usine**. Pour empêcher la polymérisation du polymère constituant la matrice, **les rouleaux doivent être conservés dans un congélateur** jusqu'au moment de leur mise en œuvre. Ces tissus ne sont pas actuellement utilisés en France.



Photo n° 44 : différents matériaux composites (crédit photo Freyssinet - C. Tourneur)

5.6.3.2 Facteurs de choix

> Le type de matériau composite (plaque ou tissu) et la nature des fibres (verre, carbone...) à utiliser vont dépendre au moins des trois facteurs suivants :

- les exigences du bureau d'études qui est chargé de dimensionner la réparation ou le renforcement. Ces exigences portent principalement sur la résistance (contrainte de rupture) et la déformabilité (module d'élasticité) du composite ;
- les exigences relatives à la mise en œuvre, qui portent sur les conditions thermiques lors de l'encollage, la durée pratique d'utilisation de la colle (DPU), la géométrie de la pièce... ;
- les exigences de durabilité de la réparation et ou du renforcement, qui portent sur les conditions d'environnement et, en particulier thermiques, auxquelles peut être soumis le composite, les conditions de surveillance et d'entretien, la prise en compte de la fatigue...

> Par exemple :

1. pour le renforcement d'une structure précontrainte où il faut maîtriser l'allongement du béton et l'ouverture des fissures : un pultrudé à base de fibres de carbone à haut module d'élasticité peut être privilégié ;
2. pour le renforcement d'une structure de forme complexe : la mise en œuvre d'un tissu sera plus facile que celle d'un pultrudé ;
3. pour le renforcement vis-à-vis de la flexion d'une poutre : un pultrudé collé sous le talon de la poutre aura un excellent rendement mécanique (excentricité maximale du matériau). Si, en plus, un renforcement vis-à-vis de l'effort tranchant est nécessaire, un tissu plus souple sera à privilégier pour la mise en œuvre, d'autant qu'il peut aussi servir de verrou pour empêcher la délamination au niveau de la zone d'ancrage du pultrudé...

5.6.3.3 Méthodologie de comparaison des systèmes

Pour pouvoir faire des calculs de dimensionnement et pour comparer des systèmes constitués de fibres de même nature, la **fiche technique** du fabricant ou de l'entreprise détentricrice du procédé ne suffit pas toujours. Dans la pratique, il faut établir un tableau dans lequel on fait apparaître les caractéristiques des systèmes à comparer. De tels **tableaux** figurent dans les **recommandations provisoires de l'AFGC de 2007 (page 86)**.

En ce qui concerne les **produits de collage**, il faut, en plus, consulter la norme **NF EN 1504-4**.

ATTENTION : la liste ci-après n'est pas complète, **le lecteur** est invité à consulter les notices techniques, les avis techniques du CSTB et les recommandations provisoires de l'AFGC. Les normes **NF EN 1504-9** et **NF EN 1504-10** ne traitent que de la pose et du contrôle de la mise en œuvre de plaques collées (en acier ou matériau composite), elles ne traitent pas des caractéristiques que doivent présenter les matériaux composites.

> **1. Pour un composite, il faut connaître :**

- la nature de la fibre (carbone, verre...);
- le type de produit (pultrudé, tissu sec, tissu pré-imprégné);
- la disposition des fibres et leur section (unidirectionnelle, bidirectionnelle, multidirectionnelle);
- le nombre maximal de couches;
- le rayon de courbure limite (minimal);
- la contrainte de rupture (pas celle des fibres), le module d'élasticité, l'allongement à rupture... Ces caractéristiques mécaniques du produit sont nécessaires pour les calculs;
- etc.

Rappel : les caractéristiques mécaniques d'un composite sont celles du produit et non pas celles des fibres du renfort !

> **2. Pour un produit de collage, outre les documents susvisés, il faut se référer à la norme NF EN 1504-4 :**

Les produits et systèmes de collage pour le renforcement par plaque collée relèvent de la norme **NF EN 1504-4**.

Le **tableau suivant**, qui reprend une partie du **tableau n°1 de la norme**, montre la nécessité pour le **marché** d'imposer que les produits de collage aient été testés pour leur aptitude à être appliqués dans les mêmes conditions que les plaques et, si nécessaire, dans **des conditions thermiques inhabituelles**.

La mise en œuvre sur **substrat humide** ne relève pas des applications prévues. Dans un tel cas, des essais spécifiques seraient à effectuer lors d'une **épreuve d'étude** à prévoir dans le **marché**, **sauf si l'entrepreneur dispose des résultats de tels essais**.

Caractéristiques de performances	Principe de réparation n°4 : renforcement structural
	Méthode de réparation 4.3 : renforcement par plaque collée
Aptitude à l'application :	
Sur des surfaces verticales et des sous-faces	<input type="checkbox"/>
Par-dessus des surfaces horizontales	<input type="checkbox"/>
Par injection	<input type="checkbox"/>
Aptitudes à l'application et au durcissement dans des conditions ambiantes particulières suivantes :	
Température basse ou élevée	<input type="checkbox"/>
Substrat humide	NR
Adhérence :	
Plaque sur plaque	■
Plaque sur béton	■
Acier protégé contre la corrosion sur acier protégé contre la corrosion	<input type="checkbox"/>
Acier protégé contre la corrosion sur béton	<input type="checkbox"/>

Tableau n° 11 : extrait du tableau n°1 de la norme NF EN 1504-4

NOTA : ■ pour toutes les applications prévues, □ pour certaines utilisations prévues et **NR** (non renseigné).

Les essais auxquels sont soumis les produits et systèmes de collage pour plaques collées sont donnés par la suite du tableau n°1 de la norme.

Caractéristiques de performances	Principe de réparation n°4 : renforcement structural
	Méthode de réparation 4.3 : renforcement par plaque collée
Durabilité d'un système composite²⁸	
Cycles thermiques	■
Cycles d'humidité	■
Caractéristiques des matériaux pour le concepteur	
Temps ouvert	■
Durée pratique d'utilisation	■
Module d'élasticité en compression	■
Module d'élasticité en flexion	□
Résistance à la compression	NR
Résistance au cisaillement	■
Température de transition vitreuse (T _v)	■
Coefficient de dilatation thermique	■
Retrait	■

Tableau n° 12 : suite de l'extrait du tableau n°1 de la norme NF EN 1504-4

La norme **NF EN 1504-4**, dans son tableau n°2, donne aussi la liste des essais d'identification des produits de collage.

Ensuite, la norme **NF EN 1504-4**, dans son tableau n°3.1, donne les valeurs chiffrées des exigences de performances minimales que doivent présenter les produits de collage pour plaque collée. Certaines valeurs sont relativement faibles par rapport aux valeurs des fiches techniques des fabricants. C'est le cas, par exemple, de la température de transition vitreuse T_v (T_g en anglais) fixée seulement à ≥ 40°C.

Le marché doit donc imposer des niveaux de performances adaptés à la réparation et/ou au renforcement projeté. En particulier fixer une valeur raisonnable pour la température de transition vitreuse.

²⁸ ATTENTION, ne concerne que les plaques en acier !

Enfin, l'annexe A de la norme (**informative**) donne deux méthodes d'essai utilisables pour qualifier la **résistance à la fatigue d'un collage sous charge dynamique** appliquée, soit pendant le durcissement, soit après le durcissement.

Ce cas peut concerner, par exemple, les ponts-routiers. Il s'agit ici **d'une application particulière** qui relève des exigences du **marché**.

Rappel sur la notion de temps d'utilisation d'un produit après mélange : cf. le paragraphe 4.3.2 qui détaille cette notion.

Sur le **chantier**, des paramètres tels que : le volume de produit après mélange fonction du «kit» livré (récipients contenant les composants prédosés), les conditions thermiques et hygrométriques du site, l'humidité et la température du support..., jouent sur le **temps** pendant lequel un produit après mélange peut être mis en œuvre. Ce «**temps d'utilisation réel**» ne peut être évalué que dans le cadre d'une **ÉPREUVE DE CONVENANCE** et à condition que les paramètres susvisés ne changent pas du tout au tout.

ATTENTION, dans les normes de la série **NF EN 1504-**** figurent divers termes très voisins pour qualifier un **temps d'utilisation après mélange** :

Le délai maximal d'utilisation (DMU), la durée pratique d'utilisation (DPU), la durée de vie en pot et le temps d'utilisation.

Ces termes recouvrent en fait un **essai de durée de vie en pot** (pot life) effectué en laboratoire sur un volume de produit après mélange imposé et pour trois niveaux de température imposés.

Cet essai fait partie des différents essais destinés à mesurer divers paramètres pour identifier le produit. Il n'a pas pour but de fixer le «**temps d'utilisation réel**» susvisé.

Le lecteur est invité à consulter **les paragraphes 3.4 et 3.5 du guide FABEM 1** qui définissent les exigences générales imposées lors de ces opérations.

> Cas des matériaux composites :

- les exigences de la fiche technique en matière de transport et de stockage doivent être respectées ;
- l'emballage des matériaux composites doit empêcher leur détérioration pendant le transport ;
- pendant le transport, les conditions thermiques du stockage doivent être respectées ;
- les matériaux composites ainsi que les produits ou systèmes d'encollage et de protection doivent être stockés sous abri dans le même local dont la température reste comprise entre 10°C et 25°C.

> Cas des produits et systèmes d'encollage et de protection :

- les exigences de la fiche technique et de la fiche de sécurité (FDS) en matière de transport et de stockage doivent être respectées ;
- les produits doivent se présenter sous forme de «kits» comprenant, dans le même emballage, un pot de résine et un pot le durcisseur. De plus, l'emballage doit empêcher l'endommagement des pots pendant le transport ;
- pendant le transport, les conditions thermiques du stockage doivent être respectées ;
- les produits et systèmes d'encollage et de protection ainsi que les matériaux composites doivent être stockés sous abri dans le même local dont la température reste comprise entre 10°C et 25°C.

5.8.1 GÉNÉRALITÉS

Le présent paragraphe reprend quasiment dans son intégralité le texte du paragraphe 3.6.1 du guide FABEM 1 (généralités).

L'entrepreneur doit définir les techniques qu'il compte utiliser pour procéder aux réparations et/ou renforcements et préparer le support béton ainsi que le matériel nécessaire à ces opérations, les dispositifs de protection et les moyens de contrôle prévus, ainsi que les conditions de recyclage des produits utilisés (par exemple, en cas de sablage...). Les lieux de stockage ou d'évacuation des gravois doivent être précisés.

Dans le cadre de la procédure correspondant aux travaux à réaliser, l'entrepreneur propose à l'acceptation du maître d'œuvre les matériels qu'il compte utiliser dans le respect des dispositions du marché et conformément aux stipulations des documents rendus contractuels (normes, fascicules du CCTG, guides techniques...) et des fiches techniques des fabricants²⁹.

L'état et le bon fonctionnement des matériels doivent être contrôlés par l'entrepreneur qui s'assure également de la présence des fiches techniques et des carnets d'entretien, voire des procès-verbaux de tarage (manomètres, dispositifs de pesage...). Il présente ces documents au maître d'œuvre sur sa demande ou dans les conditions prévues par le marché ou les documents rendus contractuels.

> Les différents matériels à utiliser concernent :

- les réparations et/ou renforcements préliminaires avant toute mise en œuvre des matériaux composites collés ;
- la préparation du béton support avant mise en œuvre des matériaux composites collés ;
- la préparation des produits et systèmes de produits (matériaux composites, colles et produits de protection...) ;
- la mise en œuvre des matériaux composites collés et de leurs accessoires (verrous, mèches d'ancrage, cornières...), des colles et des produits de protection et de finition (peintures, revêtements, enduits...).

Avant tout commencement de la réparation, une protection contre le vent, le soleil, la pluie et les projections et poussières (en provenance d'autres parties du chantier) est à mettre en place. Ces exigences sont nécessaires lors de la mise en œuvre des plaques collées, des revêtements de protection et de finition et pendant la polymérisation des résines.

²⁹ Le marché vise en tant que de besoin les fiches techniques de fabricants, les normes, les fascicules du CCTG, les guides techniques en totalité ou en partie... **Rappel**, ce n'est pas une simple liste, il faut faire des choix qui s'imposent à l'entrepreneur.

5.8.2 MATÉRIELS NÉCESSAIRES AUX RÉPARATIONS ET/OU RENFORCEMENTS PRÉLIMINAIRES

Il s'agit des matériels nécessaires pour effectuer les réparations de tous les désordres (**désordres importants** : éclatements de béton, fissures, armatures corrodées, profondeur de carbonatation importante, taux de chlorures élevé... ou **désordres de surface** : nids de cailloux, bullage, flaches...) listés par **le marché** et constatés lors du **relevé contradictoire** effectué après l'ouverture du chantier. Ces opérations seront suivies par une préparation du support afin de permettre la mise en œuvre des matériaux composites collés.

Rappel : les matériaux de la structure ne doivent pas présenter de pathologie incompatible avec la durabilité de la réparation ou du renforcement. La cohésion superficielle du béton doit avoir une valeur au moins égale à 1,5 MPa. La surface totale des zones nécessitant un ragréage ne doit pas dépasser, normalement, 20% de la surface à encoller...

Les matériels nécessaires à ces opérations sont décrits notamment dans le **paragraphe 3.6 du guide FABEM 1**. Ce guide renvoie, si nécessaire, aux autres **guides du STRRES** comme le **guide FABEM 3**, qui traite des injections ou le **guide FABEM 4**, qui traite de la protection des bétons. Les **fiches techniques** relatives aux différents systèmes donnent aussi des indications sur les techniques de réparation à mettre en œuvre.

5.8.3 MATÉRIELS DE PRÉPARATION DU SUPPORT BÉTON

5.8.3.1 Généralités - Exigences de résultats

La **préparation du support béton** a pour but d'obtenir une surface apte à un encollage des renforts en matériaux composites (plaques ou tissus). Elle est effectuée après les réparations et/ou les renforcements préliminaires.

5.8.3.2 Matériels nécessaires

> La préparation du support béton fait appel, préférentiellement, aux matériels suivants :

- matériel par voie sèche :
 - meuleuse équipée d'un disque diamanté,
 - machine de sablage à sec utilisant des agrégats ne contenant pas de silice ;
- matériel par voie humide **nécessitant un séchage** avant la pose des matériaux composites :
 - machine de sablage humide,
 - lavage à l'eau sous haute pression de l'ordre de 300 à 500 bars, qui n'est utilisable que si les caractéristiques du béton sont homogènes sur toute sa surface et après un essai de convenance.

NOTE : certains de ces matériels imposent le recours à un équipement individuel de protection (ÉPI)

Le lecteur est invité à se reporter, d'une part, au paragraphe 4.2.1.2.2 du **guide FABEM 1** qui détaille les outils et matériels de préparation de surface utilisables avec leur domaine d'utilisation, leurs avantages et inconvénients et, d'autre part, au paragraphe 4.2 du **guide FABEM 4**.

ATTENTION, il faut éviter les procédés qui **traumatisent le béton**, comme le bouchardage...

5.8.4

MATÉRIELS DE PRÉPARATION DES PRODUITS DES SYSTÈMES D'ARMATURES COLLÉES EN MATÉRIAUX COMPOSITES

5.8.4.1 Généralités

Les **fiches techniques** des fabricants définissent, normalement, les matériels et outils nécessaires à la préparation des produits, qui sont des produits prêts à l'emploi.

> Il est possible de distinguer trois sortes de matériels et outils :

- ceux de préparation de l'armature (plaque ou tissu) ;
- ceux de préparation des produits du système (résine pour le collage et, pour certains systèmes, la couche de fermeture) ;
- ceux de préparation des revêtements de protection (enduit, flocage...) ou de finition (peinture).

5.8.4.2 Matériels et outils nécessaires à la préparation des armatures en matériaux composites

Il s'agit des outils utilisés pour la prise des mesures et la découpe des matériaux composites.

> Cas des plaques (pultrudés) :

- mètre, niveau, cordeau à tracer (trait bleu) et équerre ;
- une scie à denture fine ou au disque diamanté pour la mise aux dimensions ;
- chiffons et produit dégraissant si les plaques ne sont pas revêtues par un film de protection «stripable».

NOTE : des précautions sont à prendre, lors de la coupe des matériaux composites, pour éviter que les personnels d'inhalent des particules de fibres.

> Cas des tissus :

- mètre, niveau, cordeau à tracer (trait bleu) et équerre ;
- ciseau ou «cutter» pour la mise aux dimensions ;
- chiffons et produit dégraissant en cas de salissures.

5.8.4.3 Matériels et outils nécessaires à la préparation des adhésifs (résines)

Les résines de collage et de fermeture sont des produits à deux composants (la résine et le durcisseur) disponibles dans des récipients différents. Le durcisseur est versé dans le récipient contenant la résine dont la contenance doit être adaptée. Enfin, il faut mélanger les deux produits.

NOTE : le même produit sert, normalement, pour l'encollage et la fermeture.

Il est rappelé que, pour les produits et systèmes, la vitesse de rotation du malaxeur, la forme de l'hélice et la durée de malaxage, paramètres fixés par la notice technique du fabricant, doivent être scrupuleusement respectés pour obtenir un mélange homogène en consistance et couleur des composants et pour éviter l'inclusion d'air dans le mélange.

5.8.5 MATÉRIELS DE MISE EN ŒUVRE DES MATÉRIAUX COMPOSITES COLLÉS

Il est rappelé qu'il est impératif de consulter la fiche technique du système, qui indique quels sont les différents outils et matériels nécessaires à sa mise en œuvre, ainsi que leurs réglages.

> Cas des plaques (pultrudés) :

- spatule ou peigne pour la mise en place manuelle de l'adhésif ;
- appareil d'encollage pour une mise en place de l'adhésif mécanisée ;
- spatule de marouflage ou rouleau pour maroufler ;
- spatule chiffons et solvant pour le nettoyage.

Rappel : le dégraissage des plaques est nécessaire si elles ne sont pas protégées par un film «stripable».

> Cas des tissus secs :

- spatule, peigne ou rouleau pour la mise en place manuelle de l'adhésif sur le support ;
- spatule à maroufler ou rouleau pour le marouflage ;
- rouleau pour la couche de fermeture ;
- spatule chiffons et solvant pour le nettoyage.

> Cas des tissus pré-impregnés sur le chantier :

- appareil d'encollage du tissu pour une mise en place de l'adhésif mécanisée ;
- spatule, peigne ou rouleau pour la mise en place manuelle de l'adhésif sur le support ;
- spatule à maroufler ou rouleau pour le marouflage ;
- spatule chiffons et solvant pour le nettoyage.

> **Cas des accessoires :**

- perforateurs rotatifs équipés de mèches à béton ;
- carottiers au diamant...

Ces derniers matériels permettent de réaliser les ouvertures et les forages nécessaires pour la mise en place de mèches, de «coutures», d'ancrages métalliques... Il faut éviter les outils qui traumatisent le béton comme les marteaux-piqueurs.



Photo n° 45 : pose de bandes de tissu sec avec un appareil dérouleur de bandes (crédit photo Freyssinet)

5.8.5.1 Matériels de préparation de revêtements de protection et de finition

Les matériels à utiliser vont dépendre du type de revêtement à mettre en œuvre. **Le marché** définit les besoins à satisfaire et **l'entrepreneur** propose à l'acceptation **du maître d'œuvre** les matériels nécessaires. Le lecteur est invité à consulter **le guide FABEM 4**. Les fiches techniques des systèmes donnent également des indications sur la façon de procéder pour ajouter une peinture, un revêtement ou un enduit sur les matériaux composites, suivant qu'ils sont ou non compatibles avec les résines³⁰.

³⁰ Sur le matériau composite, après ponçage, une nouvelle couche d'adhésif est mise en place et sablée pour augmenter l'adhérence du revêtement de protection ou de finition.

Le présent paragraphe ne détaille que **les trois opérations** nécessaires à la mise en œuvre d'**armatures passives en matériaux composites collées à la surface du béton**.

Les opérations connexes de **réparation et/ou renforcement** à effectuer **avant cette mise en œuvre** ainsi que les opérations connexes de **mise en œuvre d'un revêtement de protection ou de finition** à effectuer après cette mise en œuvre sont simplement évoquées sans rentrer dans les détails d'exécution.

5.9.1 GÉNÉRALITÉS

Ce paragraphe est une adaptation du paragraphe 4.1 du **guide FABEM 1**.

> **La réparation et/ou le renforcement d'une structure par armatures passives en matériaux composites collées à la surface du béton présente un caractère structural, ce qui impose le respect des exigences générales listées ci-dessous :**

- l'état de la structure sur les plans chimique, électrochimique et physique doit être connu, les causes des désordres doivent être identifiées, les méthodes de réparation ou de renforcement doivent être fixées ; enfin, les contraintes d'accès aux ouvrages, leurs étaitements provisoires éventuels et les contraintes de mise en œuvre des matériaux doivent être définies par **l'étude préalable**. En particulier, il faut s'assurer par des **essais d'arrachement (NF EN 1542)** que la pose de matériaux composite est possible ;

ATTENTION, l'absence de la reconnaissance préalable de la cohésion de la surface du béton peut entraîner, par exemple si les résultats des essais d'arrachement sont mauvais, la remise en cause de la réparation, l'arrêt du chantier, des travaux supplémentaires...

- **l'entrepreneur** doit prendre en compte **les contraintes** que lui impose **le marché** concernant les emprises de chantier et la protection contre toute nuisance, pollution ou contamination, tant des parties de l'ouvrage laissées en l'état, que des tiers et d'autres ouvrages. **L'entrepreneur** doit mettre en place **les moyens nécessaires** pour assurer de façon efficace l'exécution des travaux. **Le marché** peut aussi, si cela est compatible avec les travaux prévus, imposer **le maintien de l'ouvrage en exploitation** pendant tout ou partie des travaux avec les conséquences qui en résultent, d'une part sur le plan de la sécurité des tiers et du personnel et, d'autre part, sur l'exécution des travaux (vibrations, déformations....) ;
- avant la mise en œuvre des produits et systèmes, **l'entrepreneur** doit préparer le support pour obtenir **l'état** requis (propreté, géométrie, texture...) ;

- **les armatures passives collées à la surface du béton doivent participer à la reprise des efforts appliqués à la structure.** Cette participation, suivant les exigences **du marché et des études** effectuées, concerne, soit uniquement la reprise des charges d'exploitation, soit à la fois la reprise des charges permanentes et des charges d'exploitation. Il peut en résulter la mise sur cintre de la structure, des opérations de vérinage... La reprise de charges permanentes implique un fluage très réduit du produit de collage ;
 - **les contraintes environnementales** qui règnent au moment des travaux doivent être prises en compte par **l'entrepreneur** afin d'obtenir les conditions requises (température, hygrométrie, vitesse du vent...) pour l'application des produits et systèmes. Si besoin est, des protections temporaires sont à mettre en place.
- > **La réparation et/ou le renforcement d'une structure par armatures passives collées à la surface du béton comportent normalement les trois phases principales suivantes (chaque phase pouvant comporter plusieurs opérations unitaires) :**
- la préparation de l'opération ;
 - la préparation du support béton ;
 - la conduite de l'opération.

5.9.2 PRÉPARATION DE L'OPÉRATION

- > **Le marché demande à l'entrepreneur de proposer à l'acceptation du maître d'œuvre la procédure et le cadre du document de suivi relatifs à la réalisation de l'opération qui comporte :**
- les opérations préalables que sont les réparations et/ou renforcements nécessaires avant la pose des matériaux composites ;
 - l'opération de mise en place des matériaux composites :
 - la préparation du support béton,
 - la mise en place par collage des armatures passives extérieures au béton y compris la mise en œuvre des accessoires,
 - les contrôles à effectuer (contrôle interne) ;
 - les opérations après la pose des matériaux composites que sont la mise en œuvre des revêtements de protection ou de finition.

Ces documents précisent également les techniques, le personnel ainsi que les moyens et produits à mettre en œuvre.

Ces propositions seront ensuite validées par l'épreuve de convenance correspondante qui peut être précédée par une épreuve d'étude sur les produits (par exemple, lorsque les produits normalisés ne satisfont pas à l'utilisation prévue et qu'il faut les adapter).

L'ensemble des opérations liées aux trois phases est effectué conformément aux dispositions de la procédure correspondant aux travaux à exécuter, qui reprend les exigences du marché, des normes associées, de la fiche technique du système et des règles de l'art (fascicules du CCTG, DTU...). Le document de suivi correspondant aux travaux à exécuter est complété au fur et à mesure du déroulement des travaux.

5.9.3

RÉPARATIONS ET/OU RENFORCEMENTS PRÉLIMINAIRES

Il s'agit des réparations de tous les désordres (importants : éclatements de béton, fissures, armatures corrodées... ou de surface : nids de cailloux, bullage, flaches...) listés par le marché et constatés lors du relevé contradictoire effectué après l'ouverture du chantier. Des renforcements structurels peuvent être aussi nécessaires. Ces opérations seront suivies par une préparation du support afin de permettre la mise en œuvre des matériaux composites collés.

Les réparations et/ou renforcements, sont décrits en détail dans le guide FABEM 1 auquel le lecteur est invité à se reporter. Ce guide renvoie, si nécessaire, aux autres guides du STRRES comme le guide FABEM 3, qui traite des injections. Les fiches techniques relatives aux différents systèmes donnent aussi des indications sur les techniques de réparation à mettre en œuvre.

5.9.4

PRÉPARATION DU SUPPORT BÉTON

5.9.4.1 Le relevé des défauts du support béton

Après les travaux de réparation et/ou renforcement préalables, le marché impose sur le chantier un nouveau relevé contradictoire de l'état du support.

Ce relevé contradictoire de l'état du support permet, en marquant et en métrant les défauts superficiels du béton dans les zones où seront collés les matériaux composites, de s'assurer que les surfaces où seront mis en place les matériaux composites ne présentent pas de défauts nécessitant des réparations locales complémentaires et aussi de choisir les techniques de préparation du support à mettre en œuvre qui devront être validées lors de l'épreuve de convenance de préparation du support béton.

Ce relevé comporte le sondage au marteau des surfaces pour détecter les parties décollées, le positionnement des balèbres, des mesures à la règle et au réglet de la géométrie des pièces, la réalisation de mesures de la cohésion de la surface du béton et des ragréages conformément à la norme NF EN 1542...³¹

³¹ L'ensemble des essais et mesures à effectuer figure dans la partie du présent guide consacrée aux contrôles.

NOTE IMPORTANTE : normalement, pour réaliser l'essai d'arrachement à l'aide d'un carottier, il faut pratiquer une **rainure circulaire**, puis coller à la surface du béton une pastille de **section circulaire**. Il est donc nécessaire de fixer la **carotteuse** sur la partie de la structure concernée par l'essai pour pouvoir réaliser la rainure. Cette fixation n'est pas toujours facile à réaliser et cela prend aussi beaucoup de temps.

Il est possible de remplacer la **pastille circulaire** par une **pastille de section carrée** et de réaliser quatre rainures linéaires avec une disqueuse. Cette façon de procéder permet un gain de temps appréciable et autorise, par la même, l'augmentation du nombre des essais d'arrachement. Bien que cette méthode avec des pastilles carrées n'ait pas fait l'objet d'une validation par des essais croisés avec la méthode normalisée, qui utilise des pastilles circulaires, elle peut être admise sur les chantiers



Photo n° 46 : mesure de la cohésion de la surface du béton avec une pastille carrée (crédit photo VSL France)

5.9.4.2 Techniques de préparation du support béton

Rappel : la surface du béton doit avoir une géométrie compatible avec la pose des renforts, elle doit être débarrassée des tous les anciens revêtements (flocages, peintures...), elle doit être propre physiquement et chimiquement (poussières, graisse, dépôts de fumée, traces de sels...) et présenter une rugosité suffisante caractérisée par l'enlèvement de la laitance.

Dans le cas où le relevé susvisé a détecté des défauts nécessitant un rebouchage local, la reprise d'un ragréage..., ces réparations sont effectuées conformément aux dispositions du paragraphe 5.9.3 ci-dessus avec un produit de réparation structurale conforme à la norme NF EN 1504-3.

La **préparation du support béton** fait appel, préférentiellement, à des techniques de préparation qui ne traumatisent pas le béton. Ces techniques font appel préférentiellement aux procédés par voie sèche. Les procédés par voie humide imposent un **séchage du support** avant l'encollage :

- ponçage au disque diamanté qui permet, en outre, l'enlèvement des balèbres, surépaisseurs... ;
- sablage à sec avec des agrégats ne contenant pas de silice ;
- sablage humide,
- lavage à l'eau sous haute pression de l'ordre de 300 à 500 bars qui n'est utilisable que si les caractéristiques du béton sont homogènes sur toute sa surface et après une épreuve de convenance.

Le **lecteur** est invité à se reporter, d'une part au paragraphe 4.2.1.2.2 du **guide FABEM 1** qui détaille les différentes techniques de préparation de surface utilisables avec leur domaine d'utilisation, leurs avantages et inconvénients et les résultats à obtenir et, d'autre part au paragraphe 4.2 du **guide FABEM 4**. **Plusieurs techniques peuvent être associées** lors de la préparation du support béton.

Normalement, après la préparation du support béton, **sa rugosité** est à évaluer, soit par un examen visuel, soit par un essai normalisé (**NF EN 1766, NF EN ISO 3274 et NF EN ISO 4288**). Il s'agit des normes visées par l'essai n°4 de la norme **NF EN 1504-10**).



Photo n° 47 : intrados d'une poutre avant et après sablage (crédit photo Freyssinet)

5.9.5 MISE EN PLACE DES MATÉRIAUX COMPOSITES

5.9.5.1 Conditions climatiques à respecter

Les travaux doivent se dérouler par temps calme pour éviter la présence de poussière sur les surfaces à encoller ou encollées. L'encollage doit se dérouler à l'abri de la pluie, des ruissellements et de la condensation. **La mise en place d'un abri de chantier est à prévoir** si les prévisions climatiques sont douteuses.

L'ensoleillement direct du béton risque de porter sa température au-delà de la température limite visée ci-après ; dans un tel cas, **l'entrepreneur met en place des écrans de protection**.

5.9.5.2 Conditions thermiques à respecter

Il est rappelé que les matériaux composites et les colles doivent être stockés dans le même local dont la température est comprise entre 10°C et 25°C.

La température minimale du support doit être au moins de +5°C et être supérieure **d'au moins 3°C au point de rosée** (le point de rosée est fonction de la teneur relative en humidité de l'air). De plus, au-dessus de 80% d'humidité relative, il faut, soit interdire la pose, soit faire de fréquents contrôles de condensation, car la borne des + 3°C ne garantit pas la non-condensation.

La température maximale du support doit être, normalement, inférieure à 35°C, car, au-delà, la durée de polymérisation devient trop rapide pour permettre d'effectuer la totalité du marouflage.

Normalement, le support doit être sec (quelques pour cent d'humidité sont tolérables). Cependant, **les fiches techniques de certains systèmes** peuvent permettre la pose sur support humide dans certaines limites.

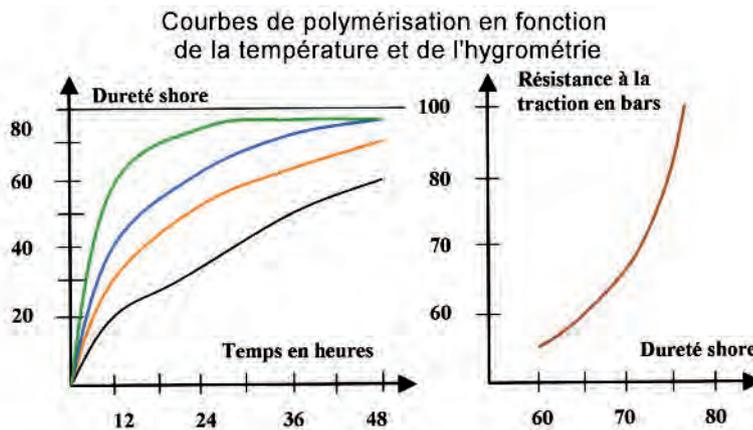


Figure n° 46 : courbes polymérisation

La **température ambiante** doit être comprise entre 10°C et 35°C pour faciliter la mise en œuvre des adhésifs, le marouflage des plaques ou des tissus. En effet, une température basse diminue la viscosité du produit, ce qui nuit à sa mise en œuvre et une température trop élevée réduit par trop la DPU. Enfin, la température et l'hygrométrie jouent sur la durée de polymérisation de la colle. Des essais de convenue doivent être effectués lors de **l'épreuve d'étude** si les courbes de polymérisation en fonction de la température et de l'humidité ne sont pas connues.

5.9.5.3 Préparation des matériaux composites (plaques et tissus)

5.9.5.3.1 Généralités

Les **plans d'exécution** doivent être basés sur un **relevé de la géométrie de la structure** à renforcer, à effectuer lors de l'expertise et de la mise au point du projet. Ces données doivent être contrôlées par **l'entrepreneur**.

À partir des plans fournis par **le bureau d'études**, les zones de collage sont implantées sur le support béton avec un cordeau à tracer. Prévoir, par exemple, un trait bleu parallèle aux armatures à coller et un trait bleu perpendiculaire au précédent situé au milieu du renfort. Une fois la géométrie des armatures ainsi définie, il est possible de procéder aux découpes.

5.9.5.3.2 Cas des plaques

Les plans donnent la longueur des différentes plaques, le trait de coupe est tracé avec une équerre et le milieu de la plaque est repéré. Ensuite, la plaque est découpée avec une scie à fine denture ou un disque diamanté. Si les plans prévoient plusieurs longueurs de plaques, il convient d'organiser le stockage afin de regrouper par lots, faciles à repérer, les plaques de même longueur.

Le film de protection des plaques côté adhésif doit être enlevé juste au moment de l'encollage. En l'absence de film, un dégraissage de la face côté adhésif doit être effectué. Il convient de s'assurer que le produit dégraissant n'altère pas le produit composite.

Rappel : des précautions sont à prendre lors de la coupe des matériaux composites pour éviter que les personnels d'inhalent des particules de fibres.

5.9.5.3.3 Cas des tissus

Les plans donnent les dimensions et le nombre des couches de tissu à appliquer. Ces dimensions sont reportées sur le rouleau de tissu afin de pouvoir procéder à la coupe des lés. Ensuite, les différents lés sont découpés au ciseau ou au «cutter».

ATTENTION, à bien tenir compte **du sens des fibres de chaîne et de trame**, aux éventuels recouvrements entre lés et au stockage des lés de dimensions différentes.

5.9.5.4 Préparation de l'adhésif

L'adhésif comporte deux composants (une résine ou base et un durcisseur) dont les pots doivent être entièrement vidés de leur contenu. Le pot de durcisseur est vidé dans le pot de résine dont la capacité doit être adaptée à cette opération. La vitesse de rotation du malaxeur (quelques centaines de tours par minute) et la forme de l'hélice doivent être adaptées pour permettre un mélange homogène en consistance et couleur des composants, qui sont plus ou moins visqueux et pour éviter l'inclusion d'air dans le mélange.

ATTENTION, toute négligence au cours de cette opération se traduira par une polymérisation retardée voire une absence de durcissement ou bien une polymérisation trop rapide.

5.9.5.5 Mise en place des matériaux composites

Rappel : les matériaux composites, compte tenu de la technicité nécessaire pour leur pose, doivent être mis en œuvre, soit directement par l'entreprise détentrice du système, soit par des entreprises autorisées par celle-ci (cf. les avis techniques du CSTB).

5.9.5.5.1 Généralités

Les **études d'exécution** d'une réparation et/ou d'un renforcement en matériaux composites collés comprennent la mise au point d'une **procédure de pose**, laquelle doit respecter à la lettre les dispositions de la **fiche technique** du fabricant. Cette **procédure** est complétée par des **plans** qui donnent la façon dont le tissu ou les lamelles doivent être découpés et assemblés. Ces matériaux composites sont, normalement³², mis en œuvre comme indiqué ci-après.

ATTENTION, le projet doit s'assurer que le matériau composite collé ne constitue pas des **zones de rétention d'eau**. En effet, le matériau composite constitue un film étanche à la surface de la pièce à réparer ou à renforcer. Si de l'eau peut s'infiltrer dans le béton faute, par exemple, d'une chape d'étanchéité efficace et si cette eau ne peut s'évacuer, elle provoquera des désordres dans le béton de la pièce (effets du gel-dégel, corrosion des armatures...).

Les **plats (pultrudés)** sont mis en œuvre, normalement, avec un double encollage qui concerne le support et la plaque. Puis, si nécessaire, ils reçoivent un **revêtement de protection** (par exemple, contre les rayonnements UV) ou de **finition** à caractère esthétique (par exemple une peinture).

³² Les diverses mises en œuvre du présent guide sont données à titre indicatif, elles ne doivent pas se substituer aux dispositions des fiches techniques des fabricants.

> **Les tissus sont mis en œuvre :**

- **cas des tissus secs** : le support béton reçoit un simple encollage. Ensuite, le marouflage permet de faire passer le polymère au travers du tissu pour constituer la matrice. Puis, si nécessaire, un revêtement de protection ou de finition est mis en œuvre.
- **cas des tissus humides** (pré-imprégnés sur le chantier) : le support béton reçoit un simple encollage ; puis, si nécessaire, un revêtement de protection ou de finition est mis en œuvre ;

Rappel : l'attention doit être attirée **sur les angles rentrants** (cas des talons des poutres en béton armé en double T et des talons à goussets des poutres pré-contraintes). Il y a **des poussées au vide dans ces zones** qui doivent être équilibrées par des dispositifs ad hoc (chanfreins, congés, mèches d'ancrage..).

5.9.5.5.2 Cas de la pose de pultrudés sous forme de plaques (lamelles ou bandes)

> **1) Procédure de pose en partie courante :**

- les plaques sont dégraissées pour éviter des défauts d'adhérence avec la colle, sauf si la surface à encollée est protégée par un film «stripable». Les deux faces peuvent être revêtues d'un film de protection ;
- le support est imprégné de résine et les plaques sont également encollées (c'est la méthode du double encollage classiquement utilisée aussi pour les tôles collées). Cependant, si le chantier dispose d'une machine à encoller et d'un rouleau à pression contrôlée, il est possible de n'encoller que la plaque de matériaux composites ;
- lors de la pose, une simple pression manuelle suffit pour que la plaque reste à sa place. En cas de vibrations, de formes courbes..., il peut être nécessaire de mettre des dispositifs de maintien des plaques (étais, serre-joints....).
- le marouflage soigné au rouleau manuel ou à pression contrôlée (~0,2 MPa) en partant du centre de la plaque vers les bords, qui suit la pose, a pour but d'expulser latéralement l'excédent de colle qui forme alors un cordon ;
- la durée de la mise en place des plaques et de leur marouflage ne peut excéder la durée pratique d'utilisation de la colle (DPU) ;

NOTE : pour augmenter **la température de transition vitreuse** (T_v) de certains adhésifs, un traitement thermique doit être réalisé après un début de polymérisation de quelques heures à la température normale. Les fiches techniques des fabricants explicitent le traitement thermique à effectuer.

- le nettoyage des plaques est à effectuer avant la polymérisation. Il consiste à enlever à la spatule ou au couteau de peintre les excès latéraux de colle et à nettoyer les bavures présentes sur la surface des plaques posées ;
- la quantité d'adhésif à mettre en œuvre varie entre 3 à 5 kg/m² suivant que l'encollage est mécanisé ou manuel ;
- l'application de la couche de finition, si nécessaire, termine l'opération (protection contre les UV, l'humidité, les chocs, le feu, ...) :
 - revêtement organique acrylique, peinture époxydique, polyuréthane (ou polyuréthane) compatible avec le support et adapté aux besoins à satisfaire :
 - un revêtement acrylique assure une protection du composite contre les UV,
 - un revêtement combiné époxy et polyuréthane assure à la fois une protection du composite contre les UV mais aussi celle du béton contre les agents agressifs externes,
 - autre revêtement, par exemple de protection contre les chocs avec une application préalable d'une couche de résine sablée d'accrochage,
 - renfort de protection contre le feu garantissant de maintenir une température inférieure à la température de transition vitreuse (T_v) (~ 80°C) à l'interface béton plaque si la stabilité au feu ne peut être justifiée en considérant uniquement les aciers passifs existants comme résistants en cas d'incendie (se reporter au paragraphe 5.2.2.10 ci-dessus qui décrit la méthodologie à appliquer).

> 2) Procédures particulières de pose :

- la pose de plaques côte-à-côte nécessite de laisser un intervalle entre les plaques pour permettre à la colle de s'échapper latéralement (se reporter à la fiche technique du procédé ; il est généralement d'au moins 5 mm) ;
- la pose de plaques superposées se déroule en deux temps. Tout d'abord, la première plaque est mise en place. Ensuite, en respectant le laps de temps prévu par le système (environ 12 h), la seconde plaque est posée après avoir enlevé le film de protection «stripable» de la face apparente de la première plaque ou avoir nettoyé et dégraissé cette face en l'absence de film de protection ;

ATTENTION, lorsque la face supérieure de la plaque est équipée d'un film de protection (plaques équipées d'un double film de protection), il faut veiller à bien nettoyer les bavures de colle pour pouvoir, après polymérisation de l'adhésif, retirer complètement le film. Il n'est en effet, pas possible d'enlever le film immédiatement

- la continuité d'une plaque peut être obtenue par une **plaque couvre-joint** dont la longueur minimale vaut deux fois la longueur de recouvrement l_p . La pose se déroule en deux temps, comme décrit ci-devant dans le cas de plaques superposées,

NOTE : il est cependant possible de réaliser la continuité d'une plaque par un recouvrement comme indiqué sur la figure ci-après à condition de réaliser un chanfrein de raccordement de longueur suffisante et de respecter les longueurs de recouvrement « l_r ». Avec les tissus, un tel recouvrement est plus facile à réaliser, les tissus étant souples et de très faible épaisseur.

NOTE : dans la mesure du possible, il est souhaitable de ne pas multiplier les recouvrements et de ne pas les disposer dans les mêmes sections. Il est donc préférable d'approvisionner des rouleaux de pultrudés de longueur adaptée aux travaux à effectuer.

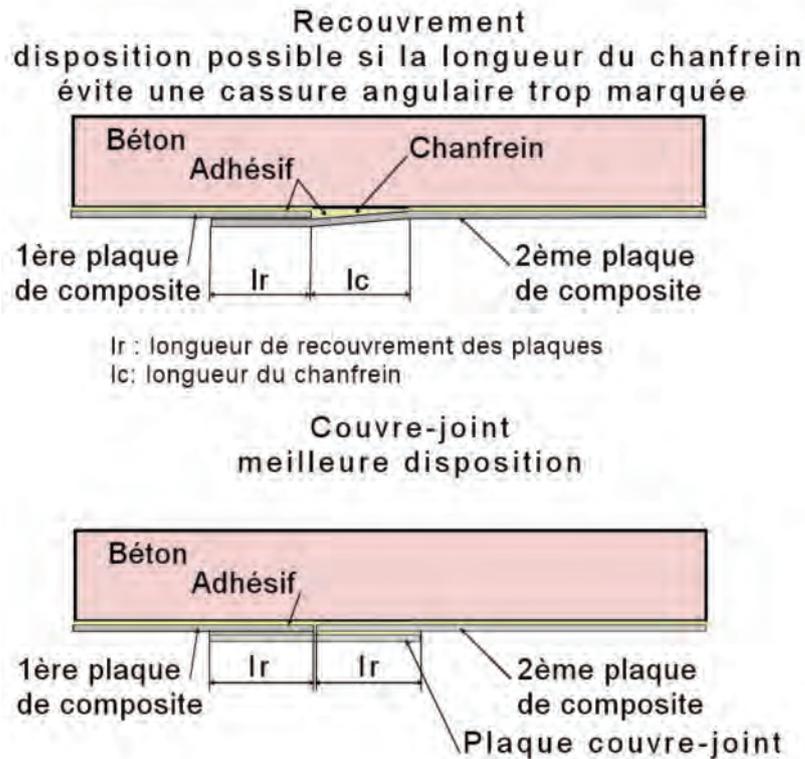


Figure n° 47 : schéma d'un couvre-joint et d'un recouvrement

- le croisement de plaques peut nécessiter d'isoler les deux plaques dans leur zone de croisement par un film plastique de désolidarisation. Lors de la pose du premier plat, il faut créer deux chanfreins de raccordement dont la longueur l_c respecte **les exigences de planéité du système** (se reporter à la fiche technique du procédé). La pose de la seconde plaque doit avoir lieu en respectant le laps de temps susvisé. La figure suivante montre les dispositions à respecter.

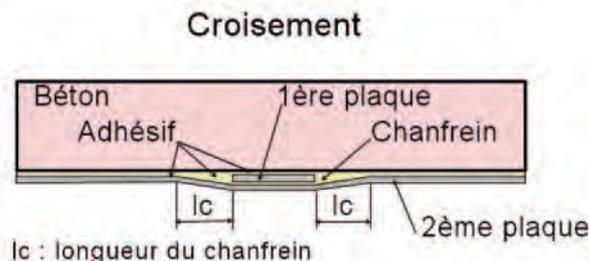


Figure n° 48 : schéma d'un croisement

REMARQUE : il est possible de mettre en œuvre sur la même poutre **un pultrudé en renfort vis-à-vis de la flexion longitudinale** sous le talon et **un tissu en renfort vis-à-vis de l'effort tranchant** sur les âmes et le talon qui assure également la résistance à la **délamination**. Les dispositions à respecter sont traitées dans la suite du présent guide.

5.9.5.5.3 Cas de la pose de tissu sec

> 1) Procédure de pose en partie courante :

ATTENTION au sens de pose lorsque le tissu possède des nappes de fibres de section différentes en chaîne et en trame. Certains systèmes ont des nappes de fibres de sections identiques disposées à $\pm 45^\circ$, ce qui limite les risques d'erreur de pose. Certains autres tissus n'ont pas de fibres en trame.

- le support béton est recouvert de résine avec un rouleau à poils ras ou avec un rouleau autoalimenté. Puis le tissu sec est appliqué sur le support béton. La pose se fait manuellement sans faire de plis et sans trop étirer le tissu. Il n'est pas nécessaire de prévoir de maintenir le tissu après la pose ;



Photo n° 48 : encollage du support béton – Renforcement du pont sur le CD 126 à Arcueil (crédit photo D. Poinéau)

- juste après la pose, il faut soigneusement maroufler le tissu avec une spatule à maroufler ou un rouleau pour bien imprégner les fibres d'adhésif et éliminer les bulles d'air ;
- suivant le procédé (se reporter à la fiche technique du système), il peut être nécessaire de mettre en place une **couche de fermeture**. Elle est mise en œuvre sous la forme d'une couche d'adhésif appliquée sur le tissu posé avant la polymérisation du produit de collage du tissu ;
- la durée totale de la mise en place du tissu, de son marouflage et de la réalisation de la couche de fermeture ne peut excéder la durée pratique d'utilisation de la colle (DPU) ;
- la quantité d'adhésif à mettre en œuvre varie suivant le système à mettre en œuvre. Elle varie entre 1,2 à 1,5 kg/m². Environ la moitié du dosage est utilisée pour l'encollage du support et l'autre moitié pour la couche de fermeture ;
- enfin a lieu, si nécessaire, l'application de la couche de finition.



Photo n° 49 : pose de tissu en matériau composite (crédit photo Freyssinet)



Photo n° 50 : suite de la pose d'un tissu en matériaux composites (crédit photo Freyssinet)

> 2) Procédures particulières de pose :

- dans le cas où deux nappes de tissu sont à placer côte-à-côte, il n'est généralement pas nécessaire de laisser un intervalle entre celles-ci, comme pour les plaques. En effet, la colle peut passer au travers du tissu et n'a donc pas à baver sur les bords ;
- la superposition de plusieurs couches de tissu se déroule de comme suit :
 - soit l'adhésif n'a pas encore commencé sa polymérisation. Dans ce cas, la seconde couche de tissu est appliquée directement sur la première,
 - soit l'adhésif a commencé à polymériser (dépassement de la DPU). Dans ce cas, il faut attendre le durcissement de l'adhésif. Puis poncer la surface, sans attaquer les fibres, avec un papier abrasif. Ensuite, dépoussiérer et dégraisser au solvant la surface ainsi avivée. Enfin, appliquer une couche de colle et poser la seconde couche de tissu ;

NOTE : la procédure de **réparation** d'une zone où le matériau composite a été endommagé fait appel à la méthodologie susvisée (ponçage, dépoussiérage, dégraissage...).

- la longueur de recouvrement l_r entre deux nappes de tissu est, normalement, plus importante dans le sens longitudinal (sens des fibres de chaîne) que dans le sens transversal (sens des fibres de trame de section moins importante).

ATTENTION : pour certains systèmes, le recouvrement transversal n'est pas autorisé par la fiche technique du fabricant.

> Cas d'un renforcement mixte plaques et tissu :

Le croquis ci-après montre les dispositions à réaliser suivant que les plats sont ou non rapprochés les uns des autres. Les plats sont posés en premier, puis, après polymérisation, il faut poncer leur surface, la dépoussiérer et enfin la dégraisser. Ensuite, la pose du tissu est réalisée comme dans la **procédure** susvisée. Une telle disposition assure également une bonne sécurité vis-à-vis des risques de **délamination**.

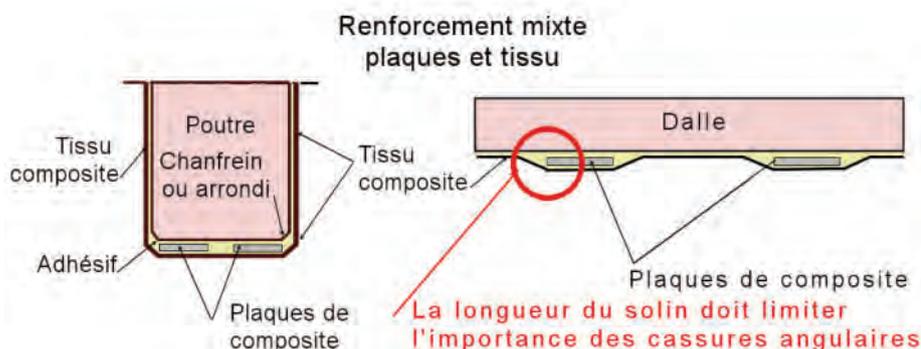


Figure n° 49 : pose mixte : pultrudé et tissu en matériaux composites

5.9.5.5.4 Cas de la pose de tissu dit «pré-imprégné» sur le chantier

> 1) Procédure de pose en partie courante :

ATTENTION au sens de pose lorsque le tissu possède des nappes de fibres de section différentes en chaîne et en trame. Certains systèmes ont des nappes de fibres de sections identiques disposées à $\pm 45^\circ$, ce qui limite les risques d'erreur de pose. Certains autres tissus n'ont pas de fibres en trame.

- le tissu est imprégné d'adhésif avec l'aide d'une machine à rouleaux juste avant sa pose ;
- le support béton est imprégné d'adhésif avec l'aide d'un rouleau à poils ras, puis le tissu est appliqué sur le support béton imprégné d'adhésif. La pose se fait manuellement sans faire de plis et sans trop étirer le tissu. Il n'est pas nécessaire de prévoir de maintenir le tissu après la pose ;
- juste après la pose il faut maroufler le tissu avec une spatule à maroufler ou un rouleau pour bien éliminer les bulles d'air ;
- la durée de la mise en place du tissu et de son marouflage ne peut excéder la durée pratique d'utilisation de la colle (DPU) ;
- suivant le procédé (se reporter à la fiche technique du système), il peut être nécessaire de mettre en place une **couche de fermeture**. Elle est mise en œuvre sous la forme d'une couche d'adhésif appliquée sur le tissu posé avant la polymérisation du produit de collage du tissu ;
- la quantité d'adhésif à appliquer par couche de tissu dépend du système à mettre en œuvre, généralement, la moitié du dosage est utilisée pour l'encollage du support et l'autre moitié pour la couche de fermeture ;
- enfin a lieu, si nécessaire, l'application de la couche de finition.

> 2) Procédures particulières de pose :

- dans le cas où deux nappes de tissu sont à placer côte-à-côte, il n'est généralement pas nécessaire de laisser un intervalle entre celles-ci, comme pour les plaques. En effet, la colle peut passer au travers du tissu et n'a donc pas à baver sur les bords ;
- la superposition de plusieurs couches de tissu se déroule de comme suit :
 - soit l'adhésif n'a pas encore commencé sa polymérisation. Dans ce cas, la seconde couche de tissu est appliquée directement sur la première,
 - soit l'adhésif a commencé à polymériser (dépassement de la DPU). Dans ce cas, il faut attendre le durcissement de l'adhésif. Puis poncer la surface, sans attaquer les fibres, avec un papier abrasif. Ensuite, dépoussiérer et dégraisser au solvant la surface ainsi avivée. Enfin, appliquer une couche de colle et poser la seconde couche de tissu.

5.9.5.5.5 Cas de la pose des dispositifs accessoires

> **Rappel, il s'agit par exemple :**

- d'équerres de liaison entre des plaques de renfort longitudinale et transversale ;
- de mèches d'ancrage entre un tissu et le béton de la structure ;
- de «coutures d'ancrage»...

Se reporter **aux fiches techniques des fabricants** pour voir les détails constructifs et des schémas de pose.



Photo n° 51 : collage d'une mèche sur une bande de tissu (crédit photo Freyssinet)

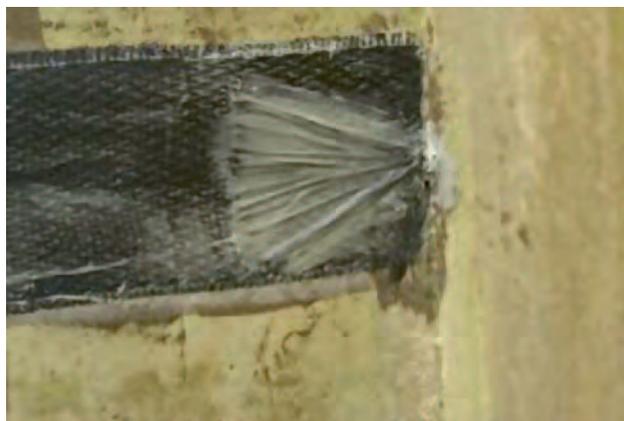


Photo n° 52 : mèche en place (crédit photo Freyssinet)

5.9.5.6 Revêtements de protection et de finition

En fin de travaux, s'il est prévu la mise en place d'un produit ou d'un système de produits de protection sur tout ou partie de la surface de la structure réparée ou renforcée, une nouvelle préparation de la surface du béton est à réaliser. Il convient de se reporter aux fiches techniques de fabricants qui définissent la couche d'interface à créer, si nécessaire, et au guide FABEM 4.

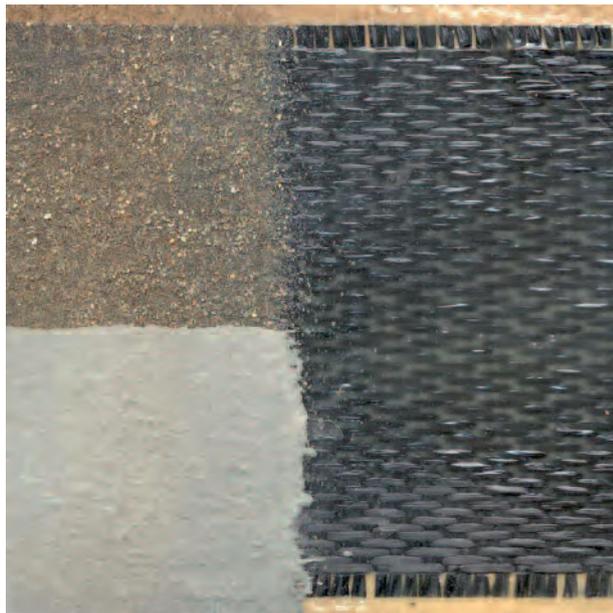


Photo n° 53 : tissu composite brut de pose - tissu composite après application d'une résine sablée revêtement de protection sur la résine sablée (crédit photo Freyssinet)

Il est vivement conseillé d'apposer, sur les armatures passives en matériaux composites collées, une ÉTIQUETTE indiquant leur présence et interdisant leur décollage, leur perçage, leur exposition à leur chaleur...

La partie du présent guide relative aux essais et contrôles porte essentiellement sur **les opérations liées à la préparation de la surface des zones à encoller et à la mise en place des matériaux composites collés**. Les autres opérations qui doivent se dérouler avant et après sont évoquées mais sans rentrer dans les détails, car elles sont développées dans la première partie du présent guide ou dans **les autres guides du STRRES**.



Figure n° 50 : réception par le contrôleur des produits de réparation

5.10.1 GÉNÉRALITÉS

Les généralités sur les essais et contrôles pour les armatures additionnelles collées à la surface du béton sont identiques à celles concernant les armatures passives additionnelles internes au béton. Se reporter au paragraphe 4.7.1 ci-dessus.

5.10.2 ÉPREUVE D'ÉTUDE

Le texte sur l'épreuve d'étude pour les armatures additionnelles collées à la surface du béton est presque identique à celui concernant les armatures passives additionnelles internes au béton. Seul le paragraphe relatif aux produits non normalisés ou fabriqués sur le chantier n'a pas à être repris. Se reporter au paragraphe 4.7.4.2 ci-dessus.

Il s'agit d'un extrait du paragraphe 3.3.6 du **guide FABEM 1** sur les généralités relatives aux essais et contrôles.

Les produits prêts à l'emploi et conformes aux normes en vigueur, admis à une **marque de certification telle que la Marque NF : Produits spéciaux** destinés aux constructions en béton hydraulique ou une marque équivalente, dans le mesure où le champ d'application de celles-ci couvre les besoins du chantier ou encore faisant l'objet d'un **Avis Technique, ne font, normalement, pas l'objet d'une épreuve d'étude.**

> **Cette épreuve est cependant requise (voir le tableau suivant) :**

- si les conditions de contrôle ne sont pas adaptées ;
- si les conditions de mise en œuvre du produit, en particulier la géométrie et l'orientation du support, les sollicitations imposées, les conditions climatiques et hygrométriques, ne correspondent pas à celles fixées dans les normes produits (**applications particulières ou non prévues**) ;
- pour obtenir les courbes de polymérisation en fonction de la température et de l'hygrométrie ;
- si ces produits, une fois mis en œuvre, seront soumis à des sollicitations mécaniques spécifiques ou en contact avec un milieu agressif particulier...

Les résultats **d'une épreuve d'étude récente** (quelques mois) effectuée **sur un chantier identique** peuvent servir de référence si **le marché** l'autorise.

Dans le cas où **une épreuve d'étude** doit avoir lieu, elle est fixée par **le marché**. Sa consistance s'inspire des essais visés par les normes en vigueur et des conditions de mise en œuvre des produits.

L'acceptation de **l'épreuve d'étude** par **le maître d'œuvre** fait l'objet d'un **POINT D'ARRÊT**.

5.10.3 CONTRÔLE DES PRODUITS ET MATÉRIAUX

5.10.3.1 Généralités

Les **contrôles de réception** ont pour but de vérifier que les produits et matériaux livrés sont conformes et qu'ils sont transportés et stockés conformément aux exigences **du marché**. Ils consistent notamment à vérifier les bordereaux de livraison, le marquage des produits, les dates de péremption et le bon état des emballages.

Dans le cas où les produits font l'objet d'une certification reconnue par le marché, aucun essai n'est nécessaire. Dans le cas contraire **le marché** définit **la procédure** à suivre et les essais à effectuer.

5.10.3.2 Réception des produits prêts à l'emploi normalisés

ATTENTION, ce paragraphe diffère légèrement du paragraphe 5.2.2 du **guide FABEM 1** à cause de la suppression récente de certains textes à caractère normatif.

5.10.3.2.1 Généralités

La norme homologuée **NF P 18-800** (réception à l'usine ou sur le chantier) et le fascicule de documentation **FD P 18-802** (contrôles sur chantier) **ont été supprimées**. De plus, le règlement de la **Marque NF : Produits spéciaux ([NF 030])** ne traite pas des conditions de la réception des produits.

La norme **NF EN 1504-8** ne traite que du contrôle des produits en usine (**CPU**) et, pour la norme **NF EN 1504-10** qui traite des contrôles sur le chantier, l'identification est réduite à la production **d'un document attestant de la certification des produits**.

Sauf disposition contraire du marché, les produits bénéficiant du droit d'usage de la **Marque NF** (ou d'une marque équivalente) sont réputés conformes aux normes qui les concernent. Il n'est donc pas nécessaire de procéder à des **essais d'identification et à des essais d'efficacité**³³. Les autres contrôles de la liste ci-après restent applicables, y compris les **prélèvements conservatoires**.

Le même principe est applicable aux produits et systèmes bénéficiant du **marquage CE** et d'un système d'attestation de conformité d'au moins du **niveau 2+**.

Le marché doit préciser que les **contrôles de réception** sont étendus **aux conditions de transport et à celles de stockage**, qui ne sont pas généralement visées par les normes.

> Les contrôles portent sur :

- les conditions de transport (conditions de protection des produits contre la chaleur et/ou le froid) ;
- l'état des emballages (tout récipient présentant des fuites, ouvert, sans étiquette doit être refusé et immédiatement évacué du chantier) ;
- le poids des produits prédosés ;
- la comparaison entre le bon de commande et le bordereau de livraison. La concordance porte également sur les étiquettes, emballages, containers, etc., le tout en conformité avec les documents techniques et contractuels ;
- **la remise d'un document** attestant que le produit bénéficie bien du droit d'usage d'une marque pour les produits certifiés et, en particulier, pour le marquage CE ;
- la conformité du marquage et, en particulier, les dates de péremption des produits et les classes ou catégories des produits (niveaux de performance) ;
- **l'exécution de prélèvements conservatoires**³⁴ ;
- les conditions de stockage (le local doit être équipé d'un thermomètre à maxima et minima) ;
- la température du local dont la mesure est à renouveler pendant la durée du chantier en fonction de l'évolution des conditions météorologiques (en général la température du local doit rester comprise entre 10 et 25°C). ATTENTION, au respect du point éclair pour certains produits ;
- etc.

³³ Dans le cas où les **conditions climatiques** de mise en œuvre des produits sur le chantier diffèrent nettement de celles de la norme, il est nécessaire de faire des essais spécifiques lors de l'épreuve d'étude.

³⁴ Ces prélèvements sont utiles pour effectuer des essais d'identification ou de performance lors de la réception, pendant le déroulement du chantier...

NOTE : après préparation et mélange, ces produits frais ou durcis doivent être soumis, si nécessaire, à des essais spécifiques développés ci-après pendant l'épreuve de convenance ou lors de leur mise en œuvre.

En cas de doute sur les produits livrés ou si le marché le prévoit, des essais d'identification et/ou des essais d'efficacité peuvent être effectués. Les essais sont à effectuer par un laboratoire accepté par le maître d'œuvre.

NOTE : la réalisation d'essais d'identification ou d'efficacité est réservée à des cas particuliers (chantier important, structure exceptionnelle...) à cause du délai nécessaire pour obtenir les résultats.

Il est préférable, si c'est nécessaire, de commencer par procéder à des essais d'identification, ce qui évite d'avoir à effectuer immédiatement les essais de vérification des caractères normalisés, à cause de la durée plus importante de ces derniers. Bien entendu, si les essais d'identification ne sont pas satisfaisants, il est procédé à une analyse chimique complète et à des essais spécifiques d'efficacité qui portent sur certains des caractères normalisés. Dans un tel cas, les produits ne pourront être utilisés qu'à partir du moment où les résultats des essais seront connus et favorables. Un POINT D'ARRÊT est lié aux essais d'identification.

Le marché peut aussi prescrire des essais d'efficacité spécifiques lors de l'épreuve d'étude, voire de convenance :

- pour **certaines utilisations prévues par la norme**, mais lorsque ces essais n'ont pas été effectués par le fabricant ;
- pour **des applications non prévues par la norme** (par exemple, lorsque les conditions environnementales [humidité, température...] risquent de différer des conditions des essais normalisés).

Il est conseillé d'y associer **le fabricant** ou **l'entreprise détentrice du système**.

5.10.3.3 Réceptions des composants des matériaux composites (adhésifs, plaques, tissus et accessoires)

5.10.3.3.1 Cas des adhésifs

Les adhésifs pour plaques et tissus collés à la surface du béton relèvent de la norme NF EN 1504-4 et du marquage CE et, normalement, car il s'agit de réparations ou de renforcements structuraux, d'un système d'attestation de conformité de niveau 2+.

Le tableau qui suit et qui fait référence au tableau n°2 de la norme NF EN 1504-4, propose, pour les contrôles, les essais d'identification et les essais spécifiques d'efficacité qui peuvent être prescrits par le marché ou réalisés en cas de doute lors de la réception des produits ou dans le cas où des problèmes se posent lors des travaux. Ces essais sont effectués, soit sur les composants, soit sur les adhésifs après mélange. D'autres essais peuvent être prescrits si nécessaire.

Rappel : certains des essais spécifiques d'efficacité sont à prescrire et à effectuer lors de l'épreuve d'étude, voire de convenance, pour certaines utilisations prévues par la norme mais dans le cas où ces essais n'ont pas été effectués par le fabricant, ou pour des applications non prévues par la norme.

ATTENTION, les essais d'identification se déroulent au laboratoire sur des prélèvements effectués sur le chantier et les résultats ne sont pas obtenus immédiatement.

Essais d'identification	Normes d'essai
Produits à base des résines synthétiques (P)	
Aspect général et couleur des composants (résine et durcisseur).	Conformité à la fiche technique du fabricant et à l'étiquetage.
Contrôle du poids de chaque composant.	
Masse volumique.	NF EN ISO 2811-1 et NF EN ISO 2811-2
Granulométrie des fillers des produits de collage polymères.	NF EN 12192-2
Teneur en cendres par calcination directe.	NF EN ISO 3451-1
Thermogravimétrie des polymères, méthode par balayage des températures.	NF EN ISO 11358
Analyse infrarouge de la résine et du durcisseur.	NF EN 17676
Durée pratique de vie en pot (DPU).	NFP – 18-810 ou NF EN ISO 9514
Résistance à la compression.	NF EN 12190
Contrôles spécifiques d'efficacité	
Produits de collage pour plaques et tissus en matériaux composites (1504-4)	
Module d'élasticité en flexion.	NF EN ISO 178
Résistance au cisaillement.	NF EN 12188
Temps ouvert.	NF EN 12189
Durée pratique d'utilisation.	NFP – 18-810 ou NF EN ISO 9514
Module d'élasticité en compression.	NF EN 13412
Température de transition vitreuse.	NF EN 12614
Coefficient de dilatation thermique.	NF EN 1770
Retrait total pour les produits de collage structural.	NF EN 12617-1 ou NF EN 12617-3
Aptitude à l'application sur des surfaces verticales ou des sous-faces.	NF EN 1799
Aptitude à l'application sur des surfaces horizontales.	NF EN 1799
Aptitude à l'injection	NF EN 12618-2
Aptitude à l'application et au durcissement dans des conditions particulières.	NF EN 12188 (températures à fixer si différentes de celles de la norme)
Dureté Shore D (à 7 jours).	NF EN ISO 868
Fatigue sous charge dynamique pendant et/ou après le durcissement	NF EN 13894-1 et/ou NF EN 13894-2

Tableau n° 13 : essais d'identification et de performance

NOTE : certains des essais visés par la norme **NF EN 1504-4** concernent les adhésifs destinés au collage de plaques métalliques. Ils ne figurent pas dans le tableau ci-dessus.

5.10.3.3.2 Cas des plaques et des tissus en matériaux composites

Le marché peut demander la fourniture d'un certificat de conformité des fournitures aux stipulations du contrat conformément à la norme **NF L 00-015 (la norme fixe le cadre à respecter)**, le certificat de contrôle en usine (CCU) relatif au lot livré, voire les résultats des essais effectués par le **contrôle** extérieur lors de la fabrication.

Les produits livrés ne doivent pas présenter de défauts de fabrication, comme des inclusions parasites, des délaminations, des fissures, un manque local de fibres...

> **Les principaux essais de contrôles des plaques et tissus pouvant être utilisés sont les suivants :**

- **radiographie** : elle permet de compter le nombre des fibres et de détecter les inclusions parasites ;
- **traceurs** (iodure de zinc en solution, eau et alcool isopropylique...) : ils permettent de détecter les fissures ;
- **stéréophotographie** : elle permet de détecter la présence de plis sur des photos prises sous deux angles différents ;
- **thermographie infrarouge** : elle permet de détecter des inclusions parasites ;
- **échographie par ultrasons** : elle permet de détecter les défauts placés sur le trajet du faisceau ultrasonique et aussi les délaminations...

Les différentes caractéristiques des plaques et des tissus figurent dans la fiche technique du fabricant ou de l'entreprise propriétaire du système. Le marché peut imposer la vérification de tout ou partie de ces propriétés sur **des prélèvements** effectués lors de la réception **en sus des prélèvements conservatoires** (par exemple, la résistance à la traction, le module d'Young en traction, l'allongement à rupture, le pourcentage de fibres, le grammage...).

NOTE : les caractéristiques d'un matériau composite mis en place ne sont pas contrôlées lors de la réception. Cette vérification relève **de l'épreuve d'étude ou de l'épreuve de convenance**. Normalement, ce type de contrôle n'est fait que si les conditions de mise en œuvre sortent du domaine classique (travaux sous l'eau, conditions thermiques particulières...). Le lecteur est invité à se reporter aux recommandations provisoires de l'AFGC qui détaillent les essais pouvant être exécutés. Des adaptations peuvent être nécessaires.

5.10.3.3.3 Cas des accessoires

Le contrôle de réception des accessoires (équerres, mèches...) porte sur la conformité aux indications de la **fiche technique**.

5.10.3.4 Réception des autres produits, matériaux et composants

Divers produits, systèmes de produits, matériaux traditionnels et composants divers sont livrés sur un chantier de réparation et/ou renforcement. Il s'agit :

- des produits et matériaux destinés **aux réparations et/ou renforcements** avant pose des armatures passives extérieures au béton (produits de réparation structurale, produits d'injection, armatures de béton armé, ...)
- des produits nécessaires **aux réparations de la surface du béton** (produits bouche-pores, produits de ragréage en couche mince...)
- des produits destinés à **la préparation de la surface des zones d'encollage** (divers abrasifs...)
- des produits nécessaires à **la réalisation des revêtements de protection et de finition** (enduits, peintures, flocages...)
- etc.

Tous ces produits et matériaux relèvent **de normes** et/ou de documents d'exécution comme le **DTU 21 (norme NF P 18-201)** ou le **fascicule 65 du CCTG**, mais aussi de la première partie du présent guide et des autres guides du STRRES.

Le marché peut donc s'appuyer sur ces documents en les complétant suivant les spécificités des travaux à exécuter.

5.10.4 ÉPREUVE DE CONVENANCE

5.10.4.1 Généralités

La norme homologuée **NF P 95-101** rappelle qu'une **épreuve de convenance** a pour but de vérifier la conformité de la mise en œuvre des matériaux et produits de réparation par **l'entrepreneur** dans les conditions de réalisation des travaux. Les essais prévus **au marché** sont réalisés sur le site dans les conditions du chantier.

La norme **NF EN 1504-10** ne prévoit aucune **épreuve de convenance** mais uniquement **des contrôles d'exécution**. La norme **NF P 95-101** impose **deux épreuves de convenance**, l'une sur le traitement de surface et l'autre sur la mise en œuvre des produits.

L'**épreuve de convenance (qui peut comporter plusieurs parties)** développée ci-après a été élaborée à partir de l'ossature des différents documents susvisés et s'applique à **la réparation et/ou renforcement par armatures passives collées à la surface du béton** du présent guide.

Le marché détaille la consistance de l'épreuve de convenueance et fixe ce qui relève des différents contrôles (interne et extérieur voire externe).

Les stipulations du marché sont reprises et complétées, si nécessaire, dans le Plan d'Assurance de la Qualité (PAQ), les procédures et les documents de suivi.

Toute épreuve de convenueance se déroule en présence du maître d'œuvre et/ou de son représentant, qui assurent la part des opérations liées au contrôle extérieur. L'entrepreneur effectue son contrôle interne défini par le PAQ et les stipulations du marché.

La réalisation des travaux ne peut commencer tant que les épreuves de convenueance ne sont pas jugées satisfaisantes. Elles font partie du POINT D'ARRÊT dont la levée conditionne l'exécution des travaux.

L'ensemble des constatations effectuées lors des épreuves de convenueance doit faire l'objet d'une synthèse, qui doit permettre de conclure sur la validité ou non des épreuves et sur les modifications éventuelles à apporter au Plan d'Assurance de la Qualité (procédures et document de suivi). Il appartient à l'entrepreneur de rédiger cette synthèse et de la remettre au maître d'œuvre qui, après examen, lève ou non le POINT D'ARRÊT relatif à l'exécution des travaux.

> Pour la réparation et/ou renforcement par armatures passives collées à la surface du béton, l'épreuve de convenueance concerne essentiellement les deux opérations suivantes :

- la préparation du support béton ;
- la mise en œuvre des systèmes.

La zone de référence où est effectuée l'épreuve de convenueance doit rester visible tout le temps du chantier.

Rappel : la consistance des épreuves de convenueance concernant les autres opérations, comme des réparations structurales, des injections, des ragréages de surface, des revêtements de protection ou de finition..., figurent dans la première partie du présent guide ou dans les différents guides du STRRES auxquels le lecteur est invité à se reporter.

Les essais qui sont effectués au cours d'une épreuve de convenueance étant identiques à ceux effectués lors des contrôles, le présent guide fait donc les renvois nécessaires sans développer dans le détail l'épreuve de convenueance relative à chaque opération.

Ces deux opérations de convenueance sont nettement séparées dans le présent paragraphe, mais sur le chantier, si cela est nécessaire, elles peuvent être enchaînées. Les résultats de ces deux épreuves doivent être positifs. Ils permettent au maître d'œuvre de prendre la décision de lever le POINT D'ARRÊT qui permet la réalisation des travaux.

5.10.4.2 Épreuve de convenance de préparation du support béton

La consistance de **cette épreuve de convenance** est normalement fixée par le marché, qui complète, si nécessaire, les dispositions du présent guide. Elle est, en final, mise au point dans la procédure de réparation. Elle fixe, en particulier, les types et le nombre des essais à effectuer.

Les essais qui peuvent être exécutés lors de l'épreuve de convenance sont les mêmes que ceux à faire lors des contrôles d'exécution. Ces essais figurent dans le paragraphe 5.10.5.2 ci-dessous.

L'entrepreneur propose à l'acceptation du maître d'œuvre les surfaces de référence sur lesquelles sont appliquées les techniques de préparation du support béton.

> **L'épreuve de convenance comporte deux parties :**

- la reconnaissance de l'état du support au droit des surfaces proposées avant sa préparation.

Si la reconnaissance montre que les défauts relevés doivent pouvoir être traités par les techniques de préparation du support béton (sablage, ponçage...), **le maître d'œuvre accepte les surfaces proposées**. Dans le cas contraire, **des réparations de surfaces, voire structurales**, sont à mettre en œuvre et d'autres surfaces doivent être choisies.

NOTE : normalement, seuls les deux premiers contrôles de la liste sont à effectuer. En effet, **l'expertise préalable et le relevé contradictoire** effectués au début des travaux ont permis de repérer les désordres relevant de réparations structurales et les défauts relevant de réparations de surface. Ces deux sortes de réparations doivent avoir été effectuées. De plus, les contrôles d'exécution effectués au cours de ces réparations doivent avoir permis de s'assurer que la structure ne nécessite plus de réparations autres que la préparation des surfaces et la mise en place des matériaux composites.

- la reconnaissance de l'état du support au droit des surfaces proposées après sa préparation.

Si la reconnaissance montre que les surfaces traitées ne présentent pas de défauts incompatibles avec la mise en œuvre des matériaux composites collés, **le maître d'œuvre accepte les surfaces traitées et valide l'épreuve de convenance**. Dans le cas contraire, **des réparations de surfaces, voire structurales**, sont à mettre en œuvre et d'autres surfaces doivent être choisies.

*Cette épreuve de convenance permet, si les résultats sont satisfaisants, de connaître **visuellement l'état de surface que doit présenter le béton**. Cela peut permettre d'alléger les contrôles à effectuer sur les autres surfaces une fois leur préparation effectuée.*

5.10.4.3 Épreuve de convenance de mise en œuvre de plaques ou de tissus

La consistance de **cette épreuve de convenance** est normalement fixée **par le marché**, qui complète, si nécessaire, les dispositions du présent guide. Elle est, en final, mise au point **dans la procédure de réparation. Elle fixe, en particulier, les types et le nombre des essais à effectuer sur les produits frais ou durci.**

Les surfaces de référence sur lesquelles ont été effectués les tests de préparation du support béton servent pour **l'épreuve de convenance de mise en place des matériaux composites.**

> Chaque épreuve de convenance porte sur les quatre phases suivantes :

- 1. la préparation de l'opération ;
- 2. la préparation des produits ;
- 3. la réalisation de l'opération ;
- 4. l'après réalisation de l'opération.

REMARQUE : *l'épreuve de convenance sur la préparation des surfaces est traitée dans le paragraphe précédent ; il est possible de l'intégrer ici entre la phase 1 et la phase 2 ci-devant.*

Les 2 premières phases concernent les contrôles généraux, la 3^{ème} l'essai de convenance proprement dit et la 4^{ème} les contrôles après mise en œuvre des produits.

Les essais qui peuvent être exécutés lors de **l'épreuve de convenance** sont les mêmes que ceux à faire lors **des contrôles d'exécution**. Ces essais figurent dans les paragraphes 5.10.5.3, 5.10.5.4 et 5.10.5.5 ci-dessous.

5.10.5 CONTRÔLES D'EXÉCUTION

5.10.5.1 Généralités

Les contrôles d'exécution des travaux ont pour but de vérifier, qu'à tout instant du chantier, l'exécution des travaux est conforme aux spécifications **du marché**, complétées par les enseignements tirés **des épreuves de convenance**.

La majeure partie des contrôles d'exécution à effectuer est définie dans le tableau 4 de la norme NF EN 1504-10, qui renvoie aux normes d'essai, voire aux autres normes de la série.

Les résultats des contrôles effectués lors de l'exécution d'une opération et/ou après l'exécution de cette opération sont validés par le **maître d'œuvre**. Dans le cas où les résultats ne correspondent aux performances prescrites, **les non-conformités** détectées doivent faire l'objet d'un traitement. **L'entrepreneur** propose à l'acceptation du **maître d'œuvre** les mesures correctives qu'il compte appliquer et procède à la mise en conformité.

La levée du **POINT D'ARRÊT** avant réception des travaux est liée à l'acceptation des résultats des différents contrôles effectués pendant et après l'exécution des travaux.

> **Le tableau 4 susvisé (norme NF EN 1504-10) liste les contrôles à effectuer lors de réparations et/ou renforcements, en utilisant «la méthode de collage de plaques», pendant les différentes étapes de l'opération :**

- préparation du support en béton (contrôles avant et après la préparation) ;
- réception des produits et systèmes de produits, matériaux et composants (pour mémoire, se reporter au paragraphe correspondant ci-devant) ;
- préparation et mise en œuvre des matériaux composites et des accessoires (contrôles avant et juste après l'application) ;
- après la mise en œuvre (contrôles après polymérisation des adhésifs...).

Rappel : la norme oublie certains contrôles. De plus, elle ne précise pas le nombre des contrôles à effectuer, ni qui en est chargé. Il est donc indispensable que **le marché** précise ce qui relève **du contrôle interne** et ce qui relève **du contrôle extérieur**.

La consistance de **ces contrôles d'exécution** est normalement fixée **par le marché**, qui complète, si nécessaire, les dispositions du **présent guide**. Elle est, en final, mise au point **dans la procédure relative à l'opération**. **Sont fixés, en particulier, les types et le nombre des essais à effectuer.**

> **Ces différents contrôles sont les mêmes que ceux effectués lors des différentes épreuves de convenue visées dans le paragraphe 5.10.4 ci-dessus. Ils portent sur les points suivants :**

- la préparation du support béton et des armatures ;
- l'opération qui comporte quatre phases :
 - la préparation de l'opération,
 - la préparation des produits,
 - l'exécution de l'opération (mise en œuvre des matériaux composites),
 - l'après exécution de l'opération.

Rappel : les contrôles de réception des produits sont effectués lors de leur arrivée sur le chantier. Ils figurent dans le paragraphe 5.10.3 ci-dessus.

La levée du **POINT D'ARRÊT** relatif à la réalisation de l'opération a lieu lorsque **le maître d'œuvre** valide les contrôles liés **aux épreuves de convenances**, ceux de préparation du support (béton et armatures) et ceux relatifs à la préparation de l'opération. La mise en œuvre des produits n'est autorisée qu'après la validation des contrôles sur la préparation des produits.

5.10.5.2 Contrôles d'exécution de la préparation du support béton

Rappel : la préparation du support béton visée ci-après précède la mise en place des matériaux composites.

5.10.5.2.1 Généralités

Les surfaces de référence de l'essai de convenance de préparation du support peuvent servir pour les contrôles visuels de préparation du support béton.

La qualité du support béton à obtenir après sa préparation est fixée par le paragraphe 5.5 ci-dessus qui traite des limites d'emploi des matériaux composites collés à la surface du béton. Les contrôles à effectuer doivent porter sur le respect des exigences développées dans ce paragraphe. Les paragraphes qui suivent listent les points à contrôler en s'appuyant sur les exigences à satisfaire.

Les essais sur le support béton et/ou les armatures pour détecter des phénomènes de corrosion figurent dans le paragraphe 4.7.5.2.4 ci-dessus. Dans la pratique, ils sont à effectuer en même temps que ceux concernant le support béton.

5.10.5.2.2 Contrôles d'exécution sur la préparation du support béton

La consistance des contrôles est normalement fixée par le marché, qui complète, si nécessaire, les dispositions du présent guide. Elle est, en final, mise au point dans la procédure de réparation en tenant compte des enseignements tirés de l'épreuve de convenance. Elle fixe, en particulier, les types et le nombre des essais à effectuer.

> **Les contrôles portent sur les quatre parties de l'opération, à savoir :**

1. la préparation de l'opération. Les contrôles portent sur les points suivants :

- la validation par le **maître d'œuvre de l'épreuve de convenance de préparation du support béton** ;
- l'acceptation par le **maître d'œuvre de la procédure** et des cadres des **documents de suivi** relatifs à l'opération ;
- la présence et la prise de connaissance de tous les documents nécessaires (**procédure d'exécution, documents de suivi**, fiches techniques et de sécurité, modes d'emploi et d'entretien des matériels...) ;
- l'existence des documents donnant l'état de surface du support relevé contradictoirement (avec les résultats des essais effectués à cette occasion) et l'état de surface à obtenir. Ces documents sont à annexer à **la procédure** ;
- la mise en place des moyens d'accès et leur contrôle, suivant leur importance et si nécessaire, par les organismes habilités et, en particulier, **le coordonnateur SPS** ;
- la mise en place des dispositifs de protection pour assurer la préservation de l'environnement, la sécurité et la santé des usagers et des tiers ;
- la mise en place des dispositifs de protection pour éviter la pollution par la poussière, les salissures... des surfaces déjà traitées ;
- l'approvisionnement, la mise en place et la vérification du bon état, du bon fonctionnement et de l'étalonnage (si besoin est) du matériel nécessaire à l'opération ;
- l'approvisionnement des matériaux et produits et la validation des contrôles de leur réception ;
- la présence des fiches techniques et des fiches de données de sécurité des produits à utiliser ;
- la présence d'un personnel qualifié et informé des travaux à effectuer, ainsi que des consignes à respecter, conformément à **la procédure** ;
- la présence des équipements d'hygiène et de sécurité collectifs ou individuels ;
- la présence des instruments nécessaires aux mesures, contrôles et essais à effectuer, en particulier pour le contrôle des soudures des armatures de béton armé ;
- la présence, si besoin est, **du laboratoire** chargé des contrôles et des essais ;
- la vérification que toutes les personnes pouvant se trouver dans l'environnement du chantier ont été informées des consignes de sécurité à respecter ;
- les conditions climatiques permettent d'effectuer l'opération ;
- etc.

2. la reconnaissance de l'état du support au droit des surfaces à encoller avant leur préparation. Les contrôles portent sur les points suivants :

- le repérage et le marquage des surfaces à traiter ;
- le sondage au marteau pour détecter des éventuels décollements ;
- la régularité visuelle du support présence de balèvres, bullage... La présence de flaches impose des mesures de flèches à la règle de 2 m et au réglet de 20 cm ;
- le repérage d'éventuelles fissures ou de fissures injectées. Leurs éventuels mouvements doivent être mesurés ;
- la mesure de la profondeur de carbonatation ;
- la mesure de la teneur en chlorures...

Si la reconnaissance montre que les défauts relevés doivent pouvoir être traités par les techniques de préparation du support béton (sablage, ponçage...), **le maître d'œuvre accepte les surfaces proposées**. Dans le cas contraire, **des réparations de surfaces, voire structurales**, sont à mettre en œuvre et d'autres surfaces doivent être choisies.

NOTE : normalement, seuls **les deux premiers contrôles de la liste** sont à effectuer. En effet, **l'expertise préalable et le relevé contradictoire** effectués au début des travaux ont permis de repérer les désordres relevant de réparations structurales et les défauts relevant de réparations de surface. Ces deux sortes de réparations doivent avoir été effectuées. De plus, les contrôles d'exécution effectués au cours de ces réparations doivent avoir permis de s'assurer que la structure ne nécessite plus de réparations autres que la préparation des surfaces et la mise en place des matériaux composites.

3. la mise en œuvre des techniques de préparation du support béton. Les contrôles portent sur les points suivants :

- le respect de **la procédure** lors de l'utilisation des matériels et des outils, afin de réaliser la préparation des surfaces sans provoquer leur endommagement ;
- le respect des règles de sécurité (utilisation des ÉPI et précautions lors de l'utilisation des matériels et des outils) ;
- la réalisation du traitement de toutes les surfaces à traiter ;
- la réalisation du nettoyage des surfaces traitées...

4. la reconnaissance de l'état du support au droit des surfaces après leur préparation. Les contrôles portent sur les points suivants :

- le sondage au marteau pour détecter des éventuels décollements ;
- la propreté visuellement et/ou par essuyage ;
- la régularité visuelle du support qui ne doit pas comporter de balèvres, du bullage... La présence de flaches impose des mesures à la règle de 2 m et au réglet de 20 cm ;
- la rugosité du support (se reporter aux normes **NF EN 1766**, **NF EN ISO 3274** et **NF EN ISO 4288**) ;
- la cohésion de surface (se reporter à la norme **NF EN 1542**) ;
- la mesure des éventuelles vibrations (cas où l'ouvrage n'est pas fermé au trafic) ;
- la mesure de l'humidité du support ;
- la mesure de la température de l'air et du support...

NOTE : les mesures d'humidité et des températures (air et support) sont à réaliser juste avant la pose.

Des indications complémentaires peuvent être trouvées dans l'article A 9 de l'annexe A informative de la norme **NF EN 1504-10**, qui explicite comment procéder aux observations et essais. De plus, il faut se reporter au **tableau 4** de la norme pour identifier les contrôles utiles dans **certaines utilisations prévues ou dans des applications spéciales (particulières)**. Par exemple :

- **l'absence de décollements** (délamination, vides...) est à mesurer par sondage au marteau de la pièce endommagée à réparer, avant la préparation de la partie à réparer et/ou renforcer (détection de désordres non repérés lors des études préalables (se reporter à l'essai n°1 de la norme **NF EN 1504-10**) ;

NOTA : d'autres techniques nécessitant l'aide d'un laboratoire comme l'impact-écho, la thermographie infrarouge, les techniques ultrasonores..., qui permettent un contrôle rapide de surfaces importantes, peuvent être utilisées pour repérer les zones de délamination, les feuilletages, les couches de qualités différentes, les vides, les nids de cailloux et les inclusions.

- **la méthode de nettoyage** (brossage, aspiration, soufflage, lavage, etc.), après le repiquage ou l'enlèvement du béton, doit être compatible avec l'état du support sec ou humide imposé par la fiche technique du produit ou système à appliquer, ainsi que par les normes ou les documents à caractère normatif. Ce contrôle comporte donc aussi un examen visuel des surfaces nettoyées ;

- **la propreté du support** béton est à mesurer par un examen visuel et un essuyage ayant pour but de détecter, après la préparation et juste avant la mise en œuvre du mortier ou du béton de réparation et/ou renforcement (se reporter à l'essai n°2 de la norme) :
 - la poussière,
 - les détritrus,
 - les salissures,
 - les traces de graisse...
- **la rugosité du support** est à mesurer, soit par un examen visuel, soit par un essai normalisé (**NF EN 1766**, **NF EN ISO 3274** et **NF EN ISO 4288**). La rugosité est à mesurer si les essais d'adhérence lors de l'épreuve de convenance en ont montré sa nécessité (se reporter à l'essai n°4 de la norme **NF EN 1504-10**) ;
- **la résistance à la traction du béton support** est à mesurer par des essais normalisés de la norme **NF EN 1542**. Cette résistance doit être connue à cause des exigences structurales liées à la réparation et/ou au renforcement et en cas de doute sur la qualité du support (se reporter à l'essai n°5 de la norme **NF EN 1504-10**). Le nombre et les emplacements des essais à effectuer sont fixés par **le marché** et adaptés après le relevé contradictoire effectué par le **maître d'œuvre** et l'**entrepreneur** ;



Photo n° 54 : essai de traction de surface (crédit photo VSL France)

> **Interprétation de l'essai 5 de la norme susvisé :**

Lorsqu'on mesure la cohésion du béton support avant ou après les travaux de réparation de celui-ci, il faut (rappel) que les valeurs mesurées sur site soient au moins égales à 1,5 MPa pour pouvoir poser le matériau composite.

- **les vibrations de la structure** sont à mesurer au moyen d'un accéléromètre si les travaux d'application du produit ou du système doivent se dérouler en maintenant l'ouvrage en activité (se reporter à l'essai n° 8 de la norme **NF EN 1504-10**). Dans un tel cas, le produit de collage doit avoir subi avec succès les essais de fatigue visés dans **l'annexe A** (informative) de la norme **NF EN 1504-4**. En outre, il faut s'assurer que les deux essais visés par l'annexe A sont bien représentatifs des effets dynamiques subis par la structure et, si besoin est, fixer le seuil de vibration à ne pas franchir ;
- **la teneur en eau du support** est à mesurer au moyen d'un essai de résistivité, de sondes d'humidité... dans le cas ou la fiche technique du produit ou du système à appliquer limite son emploi en présence d'humidité (se reporter à l'essai n° 9 de la norme **NF EN 1504-10** et au guide **FABEM 4**).

5.10.5.3 Contrôles d'exécution lors de la préparation de l'opération de mise en œuvre de matériaux composites collés

> **Les contrôles d'exécution relatifs à la préparation de l'opération de mise en œuvre des matériaux composites collés portent sur les points suivants :**

- le constat de la réalisation, avec succès, de l'épreuve de convenance relative à l'opération à effectuer ;
- l'acceptation par **le maître d'œuvre du support (béton) après sa préparation et au vu des résultats des contrôles effectués** ;
- la présence et la prise de connaissance de tous **les documents** nécessaires (**procédure d'exécution, documents de suivi**, fiches techniques et de sécurité des produits et systèmes, modes d'emploi et d'entretien des matériels...) ;
- l'acceptation par **le maître d'œuvre de la procédure et des cadres des documents de suivi** relatifs à l'opération ;
- la mise en place des moyens d'accès et leur contrôle, suivant leur importance et si nécessaire, par les organismes habilités et, en particulier, le coordonnateur SPS, voire le chargé des ouvrages provisoires (COP) ;
- la mise en place des dispositifs de protection pour assurer la préservation de l'environnement, la sécurité et la santé des usagers et des tiers ;
- la mise en place des dispositifs de protection pour éviter la pollution par la poussière, les salissures... des parties en cours de traitement ou déjà traitées et tout particulièrement des zones encollées et non polymérisées ;

- l'approvisionnement, la mise en place et la vérification du bon état, du bon fonctionnement et de l'étalonnage (si besoin est) du matériel nécessaire à l'opération ;
- l'approvisionnement des matériaux et produits ;
- la présence des fiches techniques et des fiches de données de sécurité des produits à utiliser ;
- la présence d'un personnel qualifié et informé des travaux à effectuer, ainsi que des consignes à respecter, conformément à la **procédure**.
- la présence des équipements d'hygiène et de sécurité collectifs ou individuels ;
- la présence des instruments nécessaires aux mesures, contrôles et essais à effectuer ;
- la présence, si besoin est, du laboratoire chargé des contrôles et des essais ;
- la vérification que toutes les personnes pouvant se trouver dans l'environnement du chantier ont été informées des consignes de sécurité à respecter ;
- la constatation du respect **des exigences en matière de température et d'hygrométrie de l'atmosphère et du support**. Ces mesures sont à renouveler durant **toute l'application** de la protection, **à chaque reprise du travail et en cas de changement climatique**. Les moyens de protection contre les précipitations, l'ensoleillement direct... doivent être disponibles sur le chantier et mis en œuvre, si nécessaire ;
- etc.

> **Le tableau A2 de la norme européenne harmonisée NF EN 1504-10 résume les exigences en matière de température et d'hygrométrie pour l'application des systèmes. Ces exigences, qui recourent les exigences du paragraphe 5.9.5.2 ci-dessus, sont les suivantes :**

- **la température du support** est à mesurer avec un thermomètre de surface. Celle-ci doit normalement être comprise entre +5°C et +35°C (se reporter à l'essai n°10) ;
- en cas de précipitations, le chantier doit mettre en œuvre les **dispositifs de protection**, sauf si le marché autorise que les produits et systèmes peuvent être appliqués sur des supports humides mais non ruisselants, à condition que la fiche technique du produit le permette (se reporter à l'essai n°23) ;
- **la vitesse du vent** est à mesurer avec un anémomètre présent en permanence sur le chantier. La vitesse à ne pas dépasser est d'environ 8m/s, soit 30 km/h, afin d'éviter une évaporation trop rapide (se reporter à l'essai n°24) ;
- **pour éviter des problèmes de condensation**, la température du support doit être > +3°C au point de rosée. La température de l'air est à mesurer avec un thermomètre disponible en permanence sur le chantier (se reporter à l'essai n° 25) et l'humidité relative de l'air par les moyens visés par les normes ISO 4677-1 et ISO 4677-2 (se reporter à l'essai n°22) ;
- **la température de l'air** doit être comprise entre +10°C et 30°C. Cette température est à mesurer avec un thermomètre disponible en permanence sur le chantier (se reporter à l'essai n° 25) ;

- **la teneur en eau** du support est à contrôler, soit visuellement (support sec, humide ou mouillé), soit à l'aide de sondes d'humidité. La présence ou non d'humidité est fonction de la nature du produit (se reporter à l'essai n°9) ;
- etc.

5.10.5.4 Contrôles d'exécution de la préparation des matériaux composites (adhésif, plaques, tissus et accessoires)

5.10.5.4.1 Généralités

> **Ce paragraphe concerne les contrôles qui sont opérés sur le chantier lors :**

- de la préparation de l'adhésif ;
- de la préparation des plaques et tissus ;
- de la préparation des accessoires.

> **Pour ces deux opérations, il faut s'assurer :**

- de la validation de **l'épreuve de convenance** ;
- de la présence de la **procédure**, des **documents de suivi**, des fiches techniques et des fiches de données de sécurité ;
- de l'amenée des composants nécessaires à la fabrication ;
- du bon état de fonctionnement, y compris le tarage des matériels nécessaires à la préparation des produits. Est également concerné le matériel de secours en cas de panne ;
- de la présence du personnel chargé de la fabrication et de sa qualification ;
- de la présence des moyens de contrôle et de leur étalonnage ;
- de la présence du laboratoire chargé des contrôles ;
- du respect des conditions climatiques requises pour la fabrication et la mise en œuvre des produits.

Le marché fixe les contrôles à opérer ainsi que le nombre des essais à effectuer en fonction des exigences de performance recherchées en se basant sur les normes et autres documents de référence.

5.10.5.4.2 Contrôle de la préparation de l'adhésif

La fabrication consiste à mélanger la base (résine) et le durcisseur. Il faut s'assurer du respect des prescriptions de **la procédure** basée sur la fiche technique de l'adhésif.

Ces produits ayant un temps d'utilisation limité, fonction des conditions thermiques et hygrométriques et des quantités fabriquées, il faut s'assurer que ce temps est respecté.

Les normes **NF EN 1504-4** et la norme **NF EN 1504-10** donnent les essais qui peuvent être effectués sur l'adhésif frais ou durci. **Le marché** fixe la consistance des contrôles et le nombre des essais à effectuer.

> Les contrôles d'exécution lors de la préparation de l'adhésif portent sur :

- les exigences en matière de température et d'hygrométrie de l'air et du support (voir les paragraphes 5.9.5.1 et 5.9.5.1 ci-dessus) ;
- le respect des règles de sécurité liées aux fiches techniques ;
- l'étiquetage des pots ou des bidons pour vérifier que le produit est bien celui à mettre en œuvre (nature et couleurs) et que la date de péremption n'est pas dépassée ;
- la présence des composants nécessaire à l'élaboration de l'adhésif (base + durcisseur) ;
- la qualité apparente des différents composants à l'ouverture des récipients ;
- le transvasement de la totalité des composants dans le récipient réservé au mélange (en général celui qui contient la base) et dans l'ordre fixé par la fiche technique. Toute erreur à ce niveau risque d'entraîner un défaut de durcissement du produit et la perte de ses performances ;
- l'outil de mélange des composants, qui doit être identique ou le même que celui utilisé durant l'épreuve de convenance (même puissance, même vitesse...) afin de minimiser l'inclusion de bulles d'air, l'échauffement du mélange ;
- le temps de mélange ;
- l'homogénéité du produit (absence de grumeaux) et de sa teinte à la fin du mélange ;
- le temps de mûrissement avant utilisation ;
- la réalisation des prélèvements qui peuvent être nécessaires pour effectuer les essais prévus :
 - un test d'étalement sur la surface (verticale, horizontale...),
 - la durée de vie en pot ou durée pratique d'utilisation (DPU),
 - la dureté Shore D pour les produits rigides (≥ 60) après polymérisation (**NF EN ISO 868**),
 - l'adhérence par arrachement (**NF EN 1542**) ;
 - etc.

NOTE : en cas de problèmes survenant lors de la préparation, de l'application ou après durcissement de l'adhésif, des essais de performances sont à réaliser.

5.10.5.4.3 Contrôle de la préparation des plaques ou des tissus

> **Les contrôles à effectuer portent sur les points suivants :**

■ **Cas des plaques :**

- l'absence d'endommagement des plaques après découpe ;
- le respect des dimensions des plaques après découpe ;
- l'enlèvement du film de protection de la partie à encoller ;
- l'absence de salissures (poussière, graisse...) ;
- etc.

■ **Cas des tissus :**

- l'absence d'endommagement des tissus après découpe ;
- le respect des dimensions des morceaux de tissu après découpe ;
- le respect du sens des fibres de chaîne et de trame lors de la découpe ;
- l'absence de salissures (poussière, graisse...) ;
- etc.

5.10.5.4.4 Contrôle de la préparation des accessoires

> **Les contrôles à effectuer portent sur les points suivants :**

- l'absence d'endommagement des accessoires ;
- le respect des dimensions et du nombre des accessoires à mettre en place ;
- l'absence de salissures (poussière, graisse...) ;
- etc.

5.10.5.5 Contrôles d'exécution lors de la mise en œuvre de matériaux composites collés

La norme **NF EN 1504-4** donne des indications sur les essais qui peuvent être effectués sur l'adhésif. La norme **NF EN 1504-10** donne dans son tableau n°4 la liste des contrôles pouvant être exécutés avant, pendant et après la pose des matériaux composites. Les fiches techniques donnent des essais et contrôles complémentaires.

Les listes d'essais de ces différents documents ne sont pas strictement identiques ; aussi le présent guide a fait la synthèse des différentes exigences et propose une liste des essais et contrôles à effectuer.

> Le marché fixe le nombre des essais et contrôles à effectuer en se basant sur la liste suivante des exigences d'exécution et des essais et contrôles qui en découlent :

- Avant et lors de la mise en place du matériau composite :

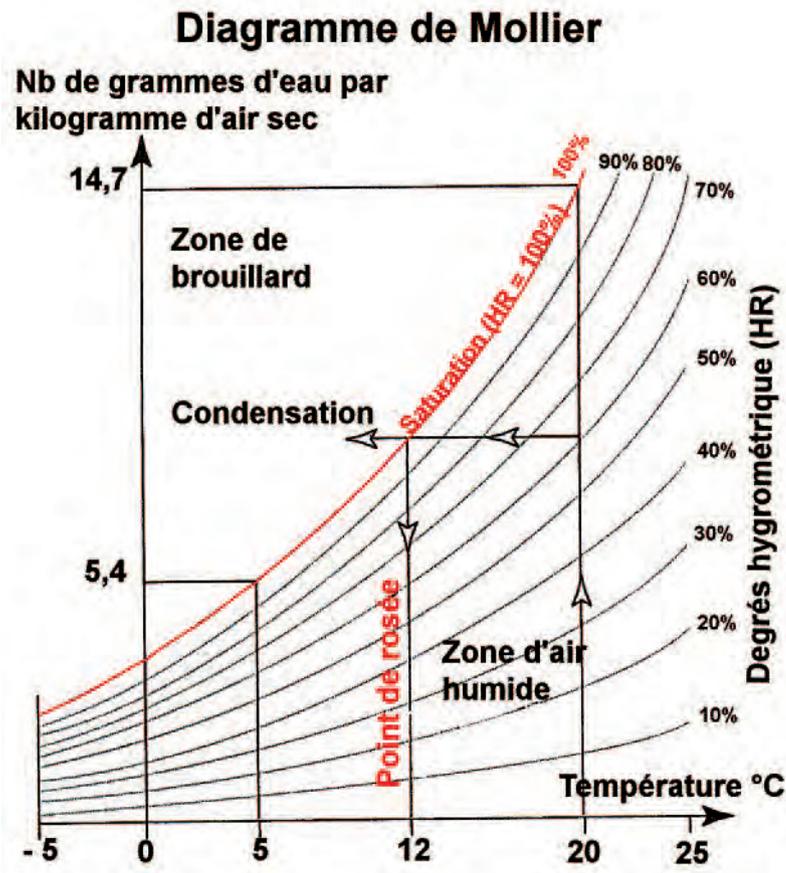


Figure n° 51 : détermination du point de rosée

- respect des exigences en matière de température et d'hygrométrie de l'air et du support (voir les paragraphes 5.9.5.1 et 5.9.5.1 ci-dessus). Ces contrôles sont à faire au début de la pose, pendant la journée, après chaque interruption de pose, en cas de changement climatique ;
- respect du sens de positionnement des plaques ou des morceaux de tissus ;
- respect de la **procédure** d'encollage (simple ou double) et contrôle de la quantité d'adhésif mis en œuvre ;
- contrôle de l'absence de plis pour les tissus et de décollements pour les plaques pendant la pose et juste après ;

- contrôle de la bonne exécution du marouflage par la présence des bourrelets de colle et aussi de l'imprégnation de toutes les fibres pour les tissus ;
- respect des délais à respecter entre les couches en cas de superposition de couches (plaques ou tissus) ;
- contrôle de la mise en place de la couche de fermeture, si prévue par le système ;
- respect des dispositions constructives de la fiche technique en cas de pose côte à côte (cas des plaques), de recouvrements, de croisements ;
- respect des dispositions constructives de la fiche technique en cas de pose d'accessoires mèches d'ancrage, coutures d'ancrage, équerres... ;
- etc.

■ Après la mise en place du matériau composite et durcissement des produits :

- contrôle de la dureté shore D (**NF EN ISO 868**), sur prélèvement d'adhésif en coupelle (épaisseur minimale ≥ 6 mm) ;
- contrôle de l'absence de décollement du matériau composite. La recherche des vides peut se faire par :
 - sondage au marteau (ne permet pas d'évaluer avec précision la surface du défaut),
 - ultra-sons,
 - impact-écho,
 - caméra thermique (contrôle rapide et efficace) ;
- contrôle de l'absence de plis dans le cas des tissus ;
- respect des dispositions constructives de la fiche technique en cas de pose d'accessoires (mèches d'ancrage, coutures d'ancrage, équerres...) ;
- contrôle de l'adhérence par un essai d'arrachement (**NF EN 1542**) ;
- etc.

■ En cas de défaut constatés :

L'**entrepreneur** propose à l'acceptation du **maître d'œuvre** la ou les solution (s) de reprise des défauts dans le respect des exigences **de la fiche technique du système**, cette reprise pouvant aller jusqu'au décollement et au remplacement du matériau composite posé.

5.10.5.6 Contrôles d'exécution lors de la mise en charge de la zone réparée ou renforcée

La mise en œuvre de matériaux composites collés à la surface du béton, relève **d'une réparation structurale et/ou d'un renforcement structural**. Il appartient **au marché** de fixer **les contrôles spécifiques** à mettre en œuvre qui relèvent de la topométrie, de l'extensométrie... Ces contrôles sont normalement du domaine du **contrôle extérieur**.

Si **le projet** impose de faire participer les armatures passives, collées à la surface du béton de la zone réparée ou renforcées, à la reprise **des charges permanentes** appliquées à la structure, il est nécessaire de mettre en charge cette zone. Il appartient **au marché** de fixer **les contrôles spécifiques complémentaires** à mettre en œuvre (topométrie et extensométrie).

Se reporter **au guide FABEM 8** relatif aux réparations et renforcements par précontrainte et au **guide FAEQ 5** relatif aux appareils d'appui (vérinage), qui précisent les contrôles qu'il est possible d'effectuer.

5.10.5.7 Contrôles d'exécution lors de la mise en place d'un produit de protection ou d'aspect sur les matériaux composites collés à la surface du béton (p.m.)

- **pour des raisons de durabilité vis-à-vis de l'agressivité de l'environnement**, la mise en place **d'un produit de protection** peut être nécessaire sur les plaques ou les tissus de la zone réparée ou renforcée, voire sur l'ensemble de la structure ;
- **pour des raisons d'aspect** la mise en place **d'un revêtement ou d'un système de peinture** est souvent nécessaire, car une réparation ou un renforcement localisé ont rarement un aspect esthétique.

Il appartient **au marché** de fixer **les contrôles spécifiques complémentaires** à mettre en œuvre en fonction des indications de la **fiche technique du système**. Il convient également de se reporter au **guide FABEM 4** qui liste les contrôles à effectuer lors de la mise en œuvre **d'une peinture, d'un revêtement...**

La réception des travaux, dans le cadre de la législation en vigueur, obéit aux exigences **du maître de l'ouvrage**, qui en fixe la consistance et le calendrier **dans le marché**.

À la fin des travaux, **l'entrepreneur** remet **au maître d'œuvre** l'ensemble des essais réalisés ainsi que l'ensemble des documents du **PAQ**, même si **le marché** a prévu qu'une photocopie de ces documents soit remise **au maître d'œuvre** au fur et à mesure de l'exécution (facilité d'organisation du contrôle extérieur et **sauvegarde de sécurité** des documents).

Parmi les documents, doivent figurer les plans sur lesquels toutes les réparations doivent avoir été reportées, ainsi que les résultats des essais effectués et interprétés.

Les travaux concernant **une réparation et/ou un renforcement structural**, **la réception des travaux** nécessite de vérifier que le renforcement participe effectivement à la reprise des efforts. **Le marché** doit donc spécifier les essais à effectuer pour en apporter la preuve.

La partie du présent guide relative aux contrôles des méthodes de réparation et/ou renforcement par armatures passives internes au béton, à laquelle le lecteur est invité à se reporter, liste les essais qui peuvent être exécutés dans le **cadre de la réception des travaux**.



Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles

6

Maintenance des tôles métalliques collées à la surface du béton

- 6.1 Documents de référence
- 6.2 Désordres pouvant affecter les tôles collées
- 6.3 Techniques d'entretien et de réparations des tôles collées
- 6.4 Méthodologie de pose des tôles collées

Retour au sommaire

La présente partie du guide traite de la maintenance des tôles métalliques collées à la surface du béton.

Le lecteur est invité à consulter l'**appendice** situé à la fin du présent guide.

> **Les tôles collées sont susceptibles d'être affectées par les désordres suivants :**

- la corrosion, comme tous les éléments en acier, si :
 - la protection des tôles contre la corrosion a été endommagée par des frottements, des petits chocs...,
 - la protection n'a pas été entretenue ou remplacée en temps utile (absence de surveillance et d'entretien) ;
- des défauts locaux de collage liés, le plus souvent, à une mauvaise mise en œuvre due à un serrage insuffisant des tôles pendant la durée de la polymérisation de l'adhésif ;
- des décollements partiels ou totaux dus à des chocs (cas classique des véhicules hors gabarit, travaux exécutés à proximité des renforcements...). Les chocs peuvent aussi provoquer des déchirements et des déformations des tôles ;
- des décollements dus à un échauffement de l'adhésif au-delà de sa température de transition vitreuse causé par un incendie, par l'utilisation d'un chalumeau pour des travaux de décapage...



Photo n° 55 : désordres de tôles collées (crédit photo Sika)

Les actions de surveillance programmées permettent de repérer et d'identifier les désordres des tôles collées. Cependant, les décollements localisés ne peuvent être détectés que si cette surveillance comporte, au minimum, des sondages au marteau.

Pour déterminer l'importance des décollements locaux repérés, il faut utiliser d'autres techniques, comme les ultra-sons, l'impact-écho...

La corrosion localisée ou généralisée des tôles, à condition que l'épaisseur des tôles ne soit pas réduite par ce phénomène, relève des opérations de remise en peinture des structures métalliques développées dans le **guide STRRES FAME 1**.

Un décollement très localisé peut faire l'objet d'une injection d'une résine très fluide par gravité, quasiment sans pression. Cette opération nécessite de percer la tôle pour ménager au moins un évent d'injection en partie basse et au moins un évent en partie haute pour vérifier que le bon déroulement de l'injection. Après polymérisation de la résine, il faut vérifier que le décollement a été éradiqué par les essais susvisés.

> Lorsque les décollements sont plus importants, si les tôles sont endommagées..., deux solutions sont possibles suivant l'importance des désordres :

- remplacer les tôles décollées ou endommagées par de nouvelles tôles ;
- remplacer toutes les tôles endommagées ou non par des plaques ou des tissus en matériaux composites collés après mise au point d'un projet de réparation et/ou renforcement.

ATTENTION : en l'absence d'essais permettant de valider ce type de réparation, il ne faut pas recouvrir les tôles par un quelconque matériau composite. Dans un tel cas, il faut, soit procéder à l'enlèvement des tôles et les remplacer par un matériau composite collé (lamelles ou tissus), soit remplacer les tôles collées manquantes.

NOTE : le paragraphe qui suit rappelle les principes à appliquer pour la mise en œuvre de tôles collées sans rentrer dans les détails. Le lecteur est invité à consulter les documents de référence.

6.4.1 GÉNÉRALITÉS

Les armatures de renforcement sont constituées de tôles d'acier de faible épaisseur (3 à 5mm) découpées en bande de faible largeur (300 à 500 mm) et collées sur le béton par une résine époxydique de faible épaisseur (1 à 5 mm maxi). Il est possible de superposer plusieurs lits d'armatures (≤ 3 maxi).

La faible épaisseur des tôles permet à celles-ci d'absorber les défauts de planéité du béton, mais pas les désaffleurements. La faible largeur des bandes permet de limiter l'effort à exercer pour assurer la pression nécessaire à la mise en place de la colle (environ 0,4 bars soit $\sim 0,04$ MPa). La bonne tenue des tôles collées impose un béton sain et résistant ($\geq 2,5$ MPa). Les essais de traction sur la peau sont à réaliser lors de l'expertise (diagnostic).

6.4.2 MISE EN ŒUVRE DES TÔLES COLLÉES

6.4.2.1 Procédure

- température ambiante $\geq 10^{\circ}\text{C}$ (lors du collage) ;
- préparation de la surface du béton par sablage, ponçage en l'absence de défauts de surface nécessitant un ragréage :
 - désaffleurements (décrochements ou balèvres) du béton interdits,

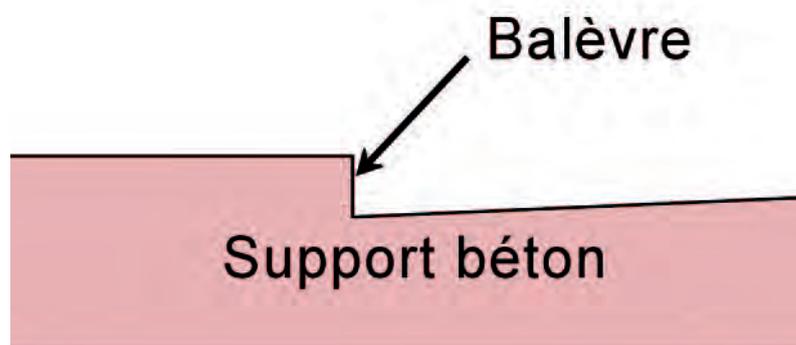


Figure n° 52 : balèvre ou désaffleurement

- ondulations de faibles amplitudes possibles (± 5 mm à la règle de 4 m) ;

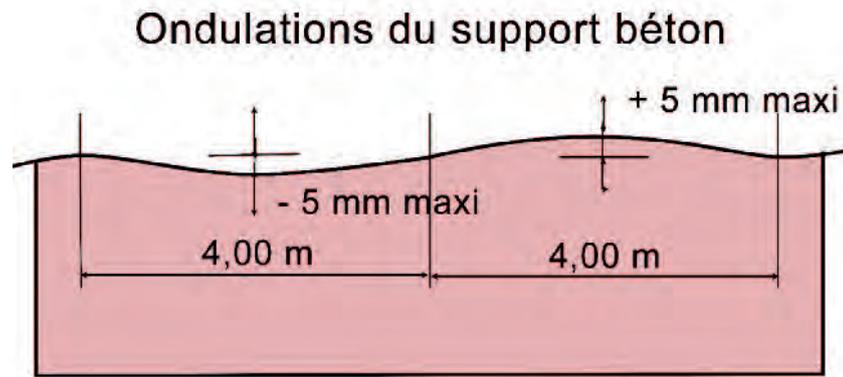


Figure n° 53 : ondulations limites

- les défauts de surface hors normes sont effacés par léger bouchardage ou par meulage suivi d'un sablage et d'un dépoussiérage ;
- les trous, les flaches doivent être rebouchés à l'aide d'un mortier de réparation structurale conforme à la norme **NF EN 1504-3**. Le béton est ensuite dépoussiéré ;
- la surface des ragréages ne doit pas **dépasser 20%** de la surface totale de la zone de collage. Si cette condition n'est pas satisfaite, un simple ragréage de ces seules zones est insuffisant. **Dans un tel cas**, une étude comportant des essais doit être entreprise afin de déterminer la solution optimale de réparation (se reporter au **guide FABEM 1**). Cette étude peut déboucher sur l'abandon de la solution initiale et son remplacement par l'utilisation de joncs encastrés dans des rainures, etc.
- en usine les tôles sont dégraissées puis décalaminées et décapées au degré de soin DS3 + Rugotest n°5 LCPC (17 gros et 18 fin). Elles reçoivent ensuite un primaire époxy pour éviter la corrosion pendant le transport et le stockage ;
- sur le chantier, le primaire est "déglacé" à la toile émeri puis dégraissée par un solvant adapté ;
- le béton reçoit au rouleau une couche d'imprégnation de résine pure (~ 150 g/m²) servant à consolider la surface du béton. La durée de mûrissement avoisine 15 minutes. Ensuite, il est possible de mettre en place la résine chargée ;
- le béton et les tôles sont enduits à la spatule d'une résine chargée suivant la technique du double encollage ($e \sim 2$ mm soit $\sim 1,7$ à 2 kg/m²) ;

- dans un délai maximal (fonction de la **DPU** de l'adhésif, de la température de l'air, de la température du support...) d'environ 30 mn, les tôles sont mises en place, puis soumise à une pression de l'ordre de 0,01 à 0,05 MPa afin que la colle "bave" sur les bords. La pression doit être maintenue pendant environ 24 heures pour attendre la fin de la polymérisation, qui est effective lorsque sa dureté Shore D dépasse 80 ;
- l'épaisseur résiduelle du film est de l'ordre de 1 à 2 mm ;

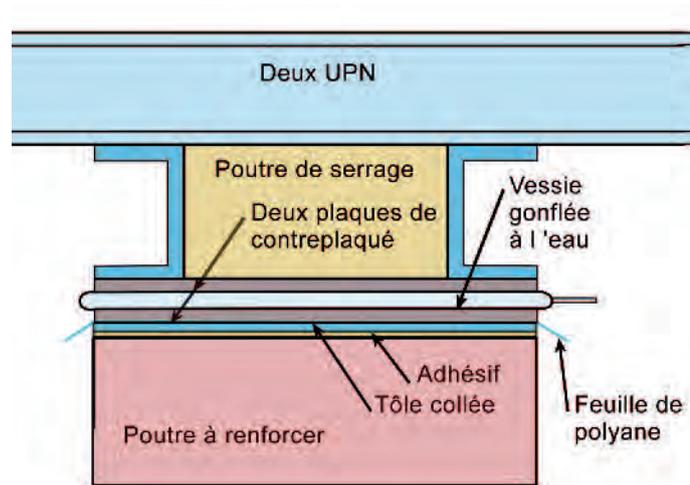


Figure n° 54 : exemple de dispositif de mise en pression par une vessie gonflée à l'eau

- aux extrémités libres de la tôle, si cela s'avère nécessaire, il faut mettre en place des "verrous" également collés afin d'éviter le décollement des tôles ou la délamination du béton ;

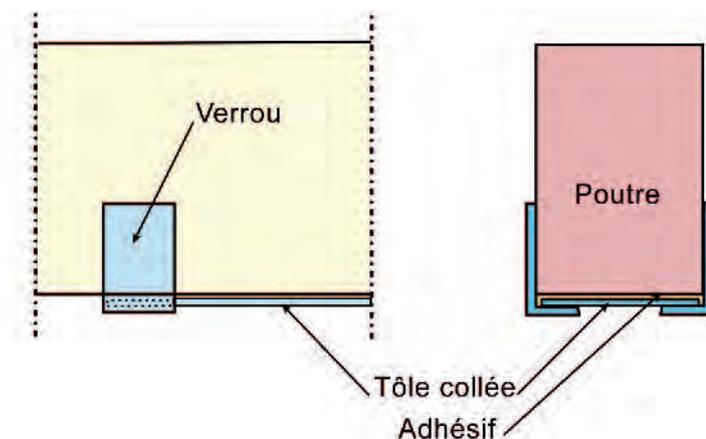


Figure n° 55 : schéma d'un verrou

- les tôles sont ensuite protégées contre la corrosion à l'aide d'un complexe à base de résines compatibles avec le primaire ;

REMARQUE : Dans le cas de tôles larges (cas des réparations du hourdis inférieur du viaduc de Terrenoire 2000 x 1000 x 3), celles-ci sont à perforer par des trous évents ($\varnothing \sim 5\text{mm}$) au pas de 10 cm x 10 cm pour permettre une bonne répartition de la colle et sa mise en pression.

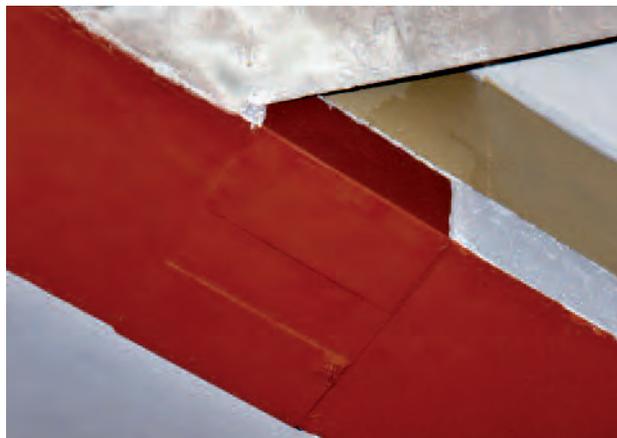


Photo n° 56 : verrou de tôles collées (crédit photo D. Poinéau)

- pour ponter deux tôles placées côte à côte, il faut prévoir une **tôle couvre-joint** comme l'indique la figure qui suit avec des recouvrements $\geq 300\text{ mm}$. Le recouvrement simple est, au contraire, très fortement déconseillé à cause des différences d'épaisseur.

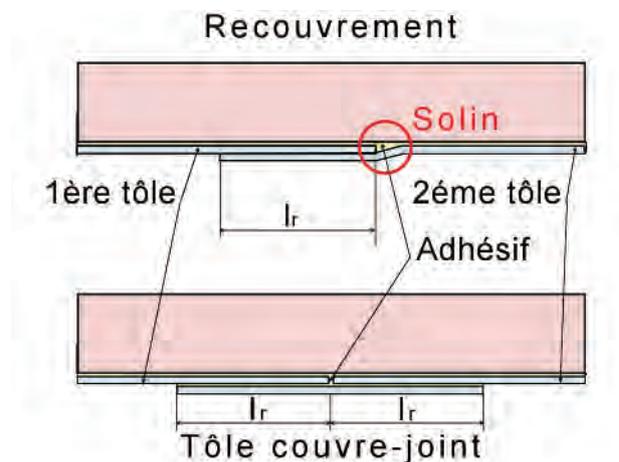


Figure n° 56 : schéma d'une tôle couvre-joint et d'un recouvrement

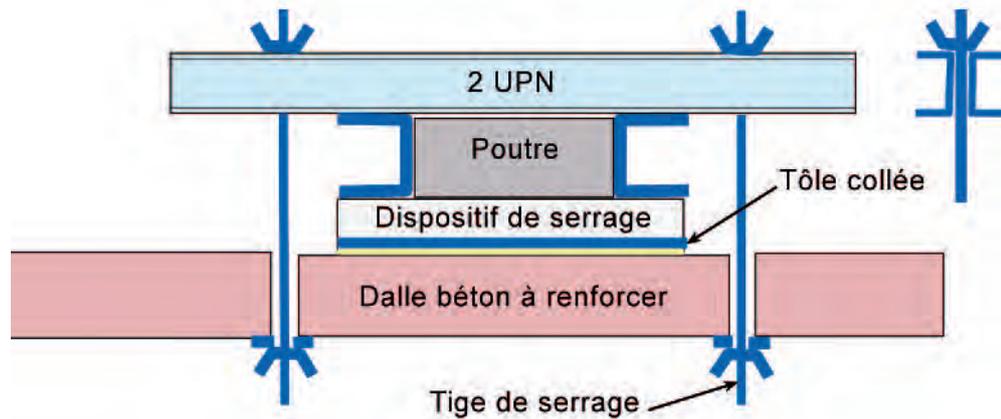


Figure n° 57 : exemple d'un dispositif de serrage

6.4.2.2 Durée et pression de serrage des tôles

$$\text{Pression de serrage} \times \text{temps} = p \times t \geq 2\eta b_a^2 \left[\frac{1}{e_2^2} - \frac{1}{e_1^2} \right]$$

> Avec :

- η coefficient de viscosité
- $2b_a$ largeur de la tôle
- e_1 épaisseur initiale
- e_2 épaisseur finale du film de colle souhaitée

> Unités :

- η en Pa.s soit : Pascal seconde (1 poise = 10^{-1} Pa.s)
- t temps de serrage en seconde
- p la pression de collage en Pa
- b_a la 1/2 largeur de la tôle en mm
- e_1 et e_2 en mm.

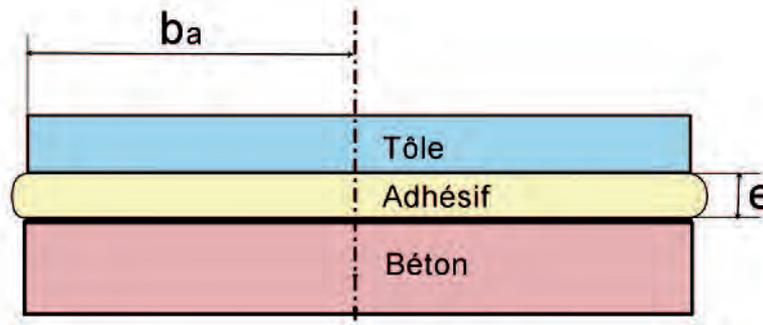


Figure n° 58 : géométrie du plan de collage

> Exemple :

$b_a = 150$ mm (plat de 300 mm),

Pression de serrage $p = 0,5$ bar = $0,5 \times 10^5$ Pa.

$e_1 = 2$ mm

$\eta = 400\ 000$ ctpoises = 4000 poises = 400 Pa.s

$e_2 = 1$ mm

$$p \times t = 0,5 \times 10^5 t = 2 \times 400 \times 150^2 \left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right] \text{ soit } t = \underline{270} \text{ secondes}$$

Le temps de serrage $t = 270$ secondes, soit 4 min et 30 s, est compatible avec la DPU de la colle.

ATTENTION : le bureau d'études doit justifier la résistance de la structure sous les efforts de serrage. En effet, une pression de 0,05 MPa correspond à une charge de 5 t/m² !

6.4.3 ESSAIS ET CONTRÔLES DES TÔLES COLLÉES

> Approvisionnement des tôles :

- contrôler le décapage DS3 (norme **NF EN ISO 8501-1** de septembre 2007) et la rugosité (Rugotest n°5 LCPC 17 gros/18 fin),
- contrôler l'épaisseur du primaire (de l'ordre de 80 g/m²) et sa polymérisation voire son adhérence par un essai de pastillage sur la tôle,

- contrôler l'emballage et les conditions de transport,
- lors de la réception sur le chantier, il faut évacuer les tôles pliées ou avec des traces de chocs... et, si nécessaire, procéder à des retouches du primaire,
- vérifier les conditions de stockage qui doit être fait sous abri, comme pour l'adhésif ;

> Adhésif :

- l'adhésif fait l'objet d'une attestation de conformité à la norme **NF EN 1504-4**. Il y a lieu de prévoir un prélèvement conservatoire par livraison,
- des essais de polymérisation peuvent être prévus pour adapter la pose aux conditions atmosphériques du chantier et aussi faciliter les contrôles (dureté Shore D en fonction de la température et de l'hygrométrie),
- vérifier les conditions de stockage qui doit être fait sous abri (température comprise entre 10 et 25°C) ;

> Travaux préparatoires :

- implantation (à faire avant la pose),
- réception du support avant et après préparation (veiller au dépoussiérage, à l'humidité à la température, mesure à la règle de la géométrie). Prévoir un contrôle par pastillage de la cohésion de la surface du béton (**norme NF EN 1542**),
- préparation des produits (contrôle de l'étiquetage, de l'homogénéité du mélange et de la vitesse du malaxeur). Il est rappelé que, pour les produits et systèmes à base de liants organiques, la vitesse de rotation du malaxeur (quelques centaines de tours par minute) et la forme de l'hélice doivent être adaptées pour permettre un mélange homogène en consistance et couleur des composants, qui sont plus ou moins visqueux et pour éviter l'inclusion d'air dans le mélange,
- prévoir un prélèvement pour contrôler la polymérisation (**dureté Shore D**) ;

> Mise en œuvre :

- interdire les charges d'exploitation sur l'ouvrage pendant les opérations de collage jusqu'à la fin de la polymérisation de l'adhésif,
- mesurer l'épaisseur de colle avant et après serrage – vérifier la pression de serrage (plusieurs fois) – enregistrer la température extérieure et du support,
- dès que la dureté **Shore D** est ≥ 80 , démonter les dispositifs de serrage,
- contrôler l'épaisseur de la protection contre la corrosion.

Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles

7

Hygiène et sécurité

7.1 Rappel des obligations

7.2 Cas d'un chantier de réparation et/ou renforcement par armatures passives

[| << Retour au sommaire |](#)

| Béton Maçonnerie | Réparation et renforcement des structures **par armatures passives additionnelles** |

UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / NOVEMBRE 2011

273

La partie de ce guide est commune aux armatures passives internes au béton comme aux armatures collées à sa surface.

L'entrepreneur doit s'assurer du respect de la législation du travail en matière d'hygiène et de sécurité.

> **Le Code du Travail impose une coordination des travaux dans les deux cas suivants :**

- intervention pour travaux d'une entreprise dite extérieure dans l'établissement d'une autre entreprise dite utilisatrice. C'est le chef de l'entreprise utilisatrice qui assure la coordination générale ;
- chantier temporaire ou mobile où interviennent au moins deux entreprises. Un coordonnateur de sécurité et de protection de la santé (coordonnateur SPS) est requis sur le chantier.

> **Le coordonnateur SPS est au moins de niveau 2 si les travaux effectués peuvent être qualifiés de dangereux :**

- utilisation de substances extrêmement ou facilement inflammables, toxiques ou nocives ;
- risques de chutes de plus de 3 m de hauteur ;
- travaux en milieu confiné ;
- travaux nécessitant l'utilisation d'équipements de travail auxquels est applicable l'article R 233-9 du Code du Travail (**équipements de protection individuelle ou ÉPI**) ;
- travaux exposant à un niveau d'exposition sonore quotidienne supérieure à 90 dB (A) ou à un niveau de pression acoustique de crête supérieure à 140 dB ;
- travaux de démolition ;
- etc.

NOTE : la figure ci-après présente les nouveaux pictogrammes de danger relatifs à l'étiquetage des produits chimiques dans le cadre du règlement européen CLP de 2009 (n°1272/2008 du 16 décembre 2008 entré en vigueur le 20 janvier 2009).



Figure n° 59 : les nouveaux pictogrammes de danger (extrait d'un document de l'INRS)

Le présent texte ne traite que des dispositions à mettre en œuvre pour assurer la protection des personnes lors de la réalisation des travaux. Il ne traite pas des installations de chantier ni des moyens d'accès (échafaudages, nacelles automotrices...), même si ces points sont évoqués dans le présent document. **Se reporter à l'Introduction commune à tous les guides (Guide 0) qui traite du chantier de réparation dans son ensemble et des textes de référence.**

Certains composants utilisés lors des travaux **sont toxiques** (diluants réactifs des résines époxydiques, solvants, constituants des polyuréthanes, etc.), **irritants** (débris de fibres), **corrosifs** (liants minéraux à base de silicates, ciments, liants organiques de nature basique, etc.) ou encore **inflammables** (solvants, etc.).

> La fiche technique d'un matériel ou d'un produit indique quelles sont les précautions à prendre afin d'éviter des accidents, des intoxications. Les précautions, à caractère général, qui suivent sont applicables quelles que soient les méthodes de réparation mises en œuvre :

- toutes les substances dangereuses doivent être munies d'un étiquetage réglementaire conformément à la réglementation en vigueur (**arrêté ministériel du 20 avril 1994 modifié par les arrêtés du 7 janvier 1997 et du 4 août 2005** [ce dernier arrêté transposant la directive européenne 2004/73/CE du 29 avril 2004, qui correspond à la 29^{ème} adaptation de la directive 67/548/CEE]) ;
- le **Plan Général de Coordination (PGC)**, le chantier étant au moins de la **catégorie 2**, doit faire mention des risques liés à l'utilisation des différents produits, dont les fiches de données de sécurité (**FDS**) doivent être obligatoirement fournies ;
- les dispositifs de protection sont choisis en fonction des recommandations des fiches de données de sécurité ;
- dans les lieux confinés, **la protection est réalisée préférentiellement de façon collective** avec mise en place d'une ventilation forcée avec arrivée d'air frais non pollué et extraction des vapeurs dangereuses. De plus, des capteurs étalonnés sont à mettre en place pour suivre dans l'atmosphère du chantier les concentrations des divers produits nocifs utilisés ;
- dans les autres lieux ou lorsque la mise en œuvre d'une protection collective s'avère impossible, les intervenants doivent être munis d'un équipement de protection individuelle adaptée :
 - appareils respiratoires filtrants à ventilation assistée avec masques et demi-masques ou avec cagoules,
 - appareils isolants non autonomes à air libre ou à adduction d'air comprimé... ;
- à ces équipements de protection contre les vapeurs nocives, il faut ajouter des vêtements de protection jetables, des gants de protection et des lunettes contre les projections, etc. ;
- en cas d'utilisation de produits inflammables, ceux-ci sont mis en œuvre en respectant scrupuleusement les précautions d'emploi pour éviter tout risque d'incendie ;
- le personnel doit être informé et sensibilisé aux risques liés à l'utilisation de certains produits et aux mesures de protection à prendre individuellement et/ou collectivement ;

- le médecin du travail doit être informé que les salariés sont exposés à certains produits afin qu'il puisse assurer une surveillance médicale renforcée (SMR) ;
- etc.

> **Des précautions particulières sont à appliquer au cours de certaines opérations.**

Par exemple :

- la préparation du support béton et des armatures nécessite de tenir compte :
 - des poussières et des projections lors d'un «sablage» à sec,
 - des projections, du bruit et du jet d'eau lors d'un décapage à l'eau sous haute pression,
 - du risque d'effondrement de la structure si les armatures doivent être dégagées sur de grandes longueur... ;
- la mise en charge de la structure réparée et/ou renforcée par décintrement, vérinage...nécessite de tenir compte d'un risque d'apparition de désordres, voire d'un effondrement.



Photo n° 57 : équipements de protection individuelle (crédit photo D. Poineau)

> **L'entrepreneur doit organiser son chantier de façon à protéger les personnes collectivement ou, si cela est impossible, individuellement.**

NOTA :

- le guide O, dans sa partie «Prévention-Sécurité», donne les liens permettant de connaître les différents dispositifs de protection à utiliser en fonction du type de travail et des risques encourus ;
- l'Institut national de Recherche et de Sécurité (INRS) édite des documents sur la prévention des risques professionnels sur son site www.inrs.fr ;
- l'Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics ou **OPPBT** édite des fiches et des guides de sécurité et présente les bonnes pratiques de sécurité sur son site SPOTH-BTP³⁵. Adresse du Comité national : 25 avenue du Général Leclerc - 92660 Boulogne-Billancourt Cedex ;
- des recommandations pour la prévention, l'hygiène et la sécurité lors de la projection des mortiers et bétons sont disponibles sur le site : www.asquapro.com.

³⁵ www.spoth-btp.fr.



Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles

8

Gestion des déchets du chantier³⁶

8.1 Rappel des obligations

8.2 Cas d'un chantier de réparation et/ou renforcement par armatures passives

Retour au sommaire

³⁶ Consulter le guide de la FNTP de 2005 intitulé : les principes de gestion des déchets de chantier.

Béton Maçonnerie | Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles |

UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / NOVEMBRE 2011

Un chantier est considéré comme une installation classée s'il peut présenter des dangers ou des inconvénients pour la commodité du voisinage, la santé, la sécurité, la salubrité publique, l'agriculture, la protection de la nature et de l'environnement. Cette installation est soumise à autorisation ou à déclaration suivant la gravité des dangers ou des inconvénients qu'elle présente.

Les contraintes sont imposées par des lois et décrets qui sont regroupés dans le Code de l'Environnement³⁷.

14 - INFORMATIONS RELATIVES AUX TRANSPORTS

Transporter le produit conformément aux dispositions de l'ADR pour la route, du RID pour le rail, de l'IMDG pour la mer, et de l'ICAO/IATA pour le transport par air (ADR 2007 - IMDG 2006 - ICAO/IATA 2007).

UN1263=PEINTURES (y compris peintures, laques, émaux, couleurs, shellac, vernis, cirages, encaustiques, enduits d'apprêt et bases liquides pour laques) ou MATIÈRES APPARENTÉES AUX PEINTURES (y compris solvants et diluants pour peintures)

ADR/RID	Classe	Code	Groupe	Étiquette	Ident.	QL	Dispo.
	3	F1	III	3	30	LQ7	163 640E 650



*Non soumis à cette réglementation si Q<450l

IMDG	Classe	2 ^e Etig.	Groupe	QL	FS	Dispo.
	3	-	III	5 L	F-E,S-E	163 223 944 955

*Non soumis à cette réglementation si Q<30l

IATA	Classe	2 ^e Etig.	Groupe	Passager	Passager	Cargo	Cargo	note
	3	-	III	309	60 L	310	220 L	A3 A72
	3	-	III	Y309	10 L	-	-	-

15 - INFORMATIONS RÉGLEMENTAIRES

La classification de cette préparation a été exécutée conformément à la directive dite «Toutes Préparations» 1999/45/CE et de ses adaptations. A aussi été pris en compte la directive 2004/73/CE portant 29ème adaptation à la directive 87/548/CEE (Substances dangereuses).

Classement de la Préparation :



Nocif

Inflammable

Contient du :

601-022-00-9	XYLENE
618-014-00-0	2-BUTANONE-OXIME. Peut déclencher une réaction allergique.

Risques particuliers attribués à la préparation et conseils de prudence:

R 52/53	Nocif pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.
R 38	Irritant pour la peau.
R 20/21	Nocif par inhalation et par contact avec la peau.
R 10	Inflammable.
S 36/37	Porter un vêtement de protection et des gants appropriés.
S 23	Ne pas respirer les vapeurs.
S 16	Conserver à l'écart de toute flamme ou source d'étincelles - Ne pas fumer.
S 61	Éviter le rejet dans l'environnement. Consulter les instructions spéciales/la fiche de données de sécurité.

Tableaux des maladies professionnelles selon le Code du Travail:

Tableau N° 84 - Affections engendrées par les solvants organiques liquides à usage professionnel: hydrocarbures liquides aliphatiques, cycliques saturés, insaturés et leurs mélanges; hydrocarbures halogénés liquides; dérivés nitrés des hydrocarbures aliphatiques; alcools; glycols, éthers de glycol; cétones; aldéhydes; éthers aliphatiques et cycliques, dont le tétrahydrofurane; esters; diméthylformamide, diméthylacétamide; acétonitrile, propionitrile; pyridine; diméthylsulfone, diméthylsulfoxyde.

Figure n° 60 : extrait d'une fiche de données de sécurité (FDS) de la société Parexlanko

³⁷ Consulter le site : www.legifrance.gouv.fr.

L'entrepreneur doit demander avant tout début des travaux **les autorisations nécessaires de démarrage des travaux et les certificats d'acceptation préalable pour les déchets dangereux (DIS)**. Il doit tenir compte des sujétions liées à la récupération, au transport et au traitement de tous les déchets générés par les travaux.

> **Il est rappelé que les déchets industriels sont répartis en trois classes :**

- Classe I, les déchets industriels spéciaux (DIS) : déchets considérés comme dangereux (par exemple, des déchets contenant des solvants organiques nocifs) ;
- Classe II, les déchets industriels banals (DIB) : déchets considérés comme non dangereux (par exemple, des emballages non souillés) assimilables à des déchets ménagers et pouvant être traités dans les mêmes filières ;
- Classe III, les déchets industriels inertes (par exemple, des abrasifs pour la préparation d'un support non utilisés, des morceaux de béton...).

Le décret 2002-540 du 18 avril 2002 donne la liste des déchets. Certains d'entre eux sont **considérés comme dangereux** (marqués par un astérisque) s'ils contiennent **des concentrations** (pourcentage en poids) **suffisantes de certaines substances** listées dans l'annexe 1 du présent décret³⁸.

> **L'élimination des déchets comporte deux filières :**

- l'élimination proprement dite dans des installations d'élimination des déchets par mise en décharge ou par incinération ;
- la valorisation des déchets par tri, recyclage et réutilisation, soit sur place, soit hors du chantier, soit en centre spécialisé.

> **L'élimination des trois catégories de déchets :**

- cas des déchets de classe I (les déchets industriels spéciaux ou DIS, dangereux) :
 - les DIS sont éliminés dans des installations autorisées, soit de stockage, soit d'incinération,
 - ils sont soumis à **une traçabilité** de leur origine à leur destination au moyen **d'un bordereau de suivi des déchets industriels (BSDI)**,
 - ils doivent recevoir **un certificat d'acceptation préalable** du gestionnaire de l'installation d'élimination des déchets avant de pouvoir être déposés dans celle-ci,
 - **ils sont contrôlés** lors de leur admission dans l'installation d'élimination des déchets afin de vérifier s'ils sont bien conformes **aux déchets autorisés** dans cette installation ;

³⁸ Consulter les pages 7074 à 7088 du Journal Officiel (JO) n°93 du 20 avril 2002.

- cas des déchets de classe II (déchets industriels banals ou DIB) :
 - les déchets d'emballages industriels ou commerciaux peuvent être soumis à l'obligation de valorisation si les quantités de déchets produites sont importantes (>1 100 litres/semaine),
 - les autres déchets DIB, s'ils ne sont pas valorisés, sont éliminés dans des installations, soit de stockage, soit d'incinération autorisées ;

- cas des déchets de classe III (les déchets industriels inertes) :
 - les déchets industriels de classe III, s'ils ne sont pas valorisés, sont stockés dans une décharge de classe III autorisée.

Certains composants utilisés lors des travaux de traitement de surfaces **sont toxiques** (diluants réactifs de résines époxydiques, solvants, constituants des polyuréthanes, etc.), **corrosifs** (liants minéraux à base de silicates, ciments, liants organiques de nature basique, etc.) ou encore **inflammables** (solvants, etc.). Ils peuvent donc être considérés comme dangereux et relever de la catégorie des déchets industriels spéciaux (**DIS**).

Même lorsque cela n'est pas imposé par la réglementation, **un maître d'ouvrage** a intérêt à évaluer les types de déchets que l'ensemble des opérations de réparation ou de renforcement de son ouvrage (par exemple, lors de la préparation du support) va générer, sachant que certains des déchets peuvent provenir de l'ouvrage existant (produits de démolition) et d'autres des travaux. Cela peut permettre :

- d'une part, d'éviter **des surprises désagréables en cours de travaux**, comme la découverte de produits amiantés (flocages de protection contre les incendies, de peintures au plomb...);
- d'autre part, aux clauses **du marché**, de prendre en compte la gestion des déchets et, si possible, de leur valorisation sous forme de clauses environnementales. De telles clauses sont autorisées par **le Code des Marchés Publics**.

L'entrepreneur, lors du **choix des produits**, se doit de proposer **au maître d'œuvre**, parmi ceux utilisables, c'est-à-dire ayant la même efficacité globale (propriétés mécaniques et chimiques, facilité de mise en œuvre et coût), ceux qui sont **les moins dangereux pour la santé du personnel qui les utilise et qui sont les moins polluants** pour l'environnement.

Il faut noter qu'en matière d'hygiène et de sécurité, les normes de produits ne traitent que de généralités et de principes. Les normes de la série **NF P 95-1**** renvoient à l'étiquetage et celles de la série **NF EN 1504-**** à l'avertissement **de l'article ZA1 de l'annexe ZA**, qui renvoie **au site EUROPA³⁹**.

L'entrepreneur se doit d'organiser son chantier pour faciliter le tri des déchets. En effet, par exemple, le mélange de déchets de catégories différentes peut conduire à classer la totalité des déchets en DIS, dont le coût de traitement est très supérieur à celui des deux autres catégories.

Il est donc nécessaire de bien identifier les méthodes et les techniques utilisées lors de travaux de réparation et/ou de renforcement structural par armatures passives additionnelles, qui génèrent des volumes de déchets appartenant aux trois classes.

> Il convient de citer :

- les techniques de préparation du support et des armatures qui génèrent :
 - des déchets de diverses classes lors de l'enlèvement des revêtements existants,
 - des mélanges de matériaux, les uns issus de la structure (débris de béton, poussières...) et les autres de la technique utilisée (par exemples, des abrasifs minéraux ou métalliques lors d'un «sablage» à sec ou de l'eau chargée de débris lors d'une hydrodémolition) ;
- les techniques de projection de mortiers ou de bétons, surtout par voie sèche, qui génèrent, à cause des rebonds, des déchets inertes en fortes quantités ;
- les collages et les injections à l'aide de produits à base de résines de synthèses, qui peuvent générer des DIS.

³⁹ [http : /europa.eu.int/comm/enterprise/construction/internal/dangsub/dangmain.htm](http://europa.eu.int/comm/enterprise/construction/internal/dangsub/dangmain.htm).



Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles

9

Fiches synthétiques du PAQ



| [Retour au sommaire](#) |

| Béton Maçonnerie | Réparation et renforcement des structures **par armatures passives additionnelles** |

UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / NOVEMBRE 2011

287

La réalisation d'une réparation et/ou d'un renforcement par armatures passives internes ou extérieures au béton comporte plusieurs opérations enchaînées les unes aux autres. Chaque opération peut faire l'objet **d'une procédure et d'un cadre de document de suivi**, mais tous ces différents documents peuvent être regroupés dans **une procédure d'exécution principale et un cadre des documents de suivi d'exécution principal**.

> Il est rappelé que le marché fixe, en s'inspirant des dispositions du présent guide :

- les stipulations (prescriptions de moyens et spécifications de produits) à respecter, ainsi que la consistance des essais et contrôles. Ces obligations sont reprises dans **les procédures et les cadres des documents de suivi** ;
- ce qui relève des contrôles interne, extérieur voire externe ;
- un cadre de PAQ avec la liste minimale des **procédures** et des cadres de **documents de suivi** à fournir ;
- le calendrier et les conditions de présentation **au maître d'œuvre** des différents documents constituant le **SOPAQ** et le **PAQ** au fur et à mesure du déroulement de l'opération chantier (de la remise des offres à la signature du **marché** et de la période de préparation des travaux à leur réception)⁴⁰.

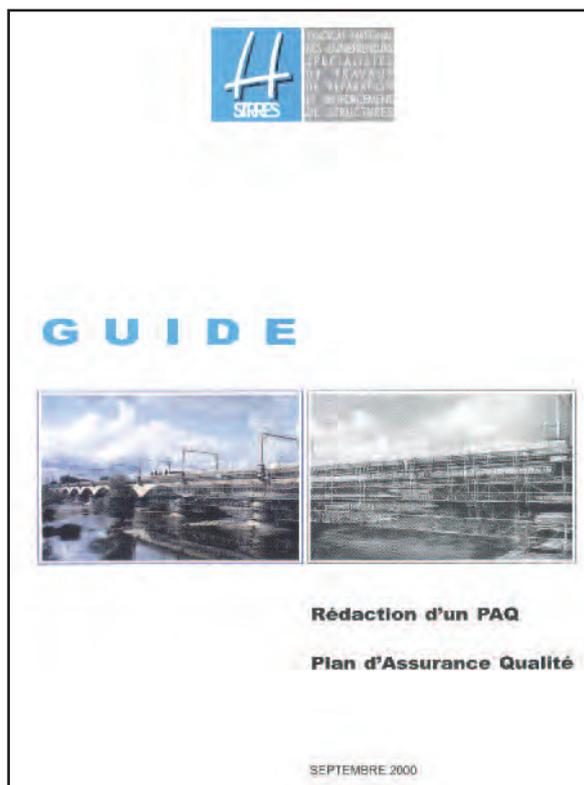


Figure n° 61 : guide du STRRES 2000 relatif à la rédaction des PAQ en réparation

⁴⁰ Le schéma de l'assurance qualité sur le chantier de la page 13 du guide de rédaction d'un PAQ du STRRES donne dans le détail **les actions qualité à entreprendre et le calendrier à respecter**.

Les deux présentes fiches, qui tiennent compte des stipulations du présent guide, sont une adaptation de la fiche de reprise du béton dégradé du guide de 2000 du STRRES relative à la rédaction d'un Plan d'Assurance de la Qualité (PAQ). Elles traitent de la réparation et/ou d'un renforcement par armatures passives, soit internes au béton, soit collées à sa surface du béton.

Il est possible de consulter également, d'une part, le guide de décembre 1991, Sétra, SNCF, TP de France et SNBATI : Mise en œuvre des Plans d'Assurance de la Qualité – Exécution des ouvrages en béton armé et précontraint et, d'autre part, le fascicule 65 du CCTG.

RÉPARATION ET/OU RENFORCEMENT PAR ARMATURES PASSIVES INTERNES AU BÉTON						
Points sensibles, critiques et d'arrêts						
Rep	Description des phases d'exécution	Intervention du contrôle interne			Intervention du contrôle externe à l'entreprise (1)	Intervention du contrôle extérieur (2)
		Points sensibles (3)	Points critiques (4)	Points d'arrêts (5)		
1	PAQ, pendant la période de préparation des travaux : mise au point du document d'organisation générale et établissement des documents suivants : • les procédures d'exécution ; • les cadres des documents de suivi		Oui			Oui
2	PAQ, avant toute réalisation d'une opération : mise au point des procédures d'exécution et des cadres des documents de suivi correspondants		Oui	Oui		Oui
3	PAQ, pendant la réalisation d'une opération : respect des procédures , renseignement des documents de suivi et information du maître d'œuvre (6)		Oui			Oui
4	Choix des produits et des matériels					
	La consultation fixe la famille du produit et les caractéristiques à respecter, voire une technique d'exécution -L'entrepreneur propose une ou des solutions - Le marché entérine la ou les solutions. (7)					
	Une épreuve d'étude est nécessaire pour choisir le produit lorsque les exigences à satisfaire sortent du domaine d'emploi de la norme (8)		Oui	Oui		Oui
5	Contrôle et réception des produits					
	Transport, réception et stockage		Oui	Oui		Oui
	Essais d'identification et/ou contrôle des caractères normalisés		Oui	Oui		Oui
6	Relevé contradictoire de l'état du support		Oui			Oui
7	Autres travaux de réparation et/ou renforcement (injection, précontrainte additionnelle...)	Reprendre la fiche du guide FABEM 1 qui renvoie aux autres guides de la famille FABEM si nécessaire				
8	Épreuve de convenance de préparation du support (béton et armatures)		Oui			Oui
9	Épreuve de convenance d'une opération					
	Préparation générale de l'épreuve (documents nécessaires et organisation de l'ensemble des opérations)		Oui			Oui
	Préparation du support (béton et armatures)		Oui			Oui
	Préparation des produits		Oui			Oui
	Réalisation de l'épreuve		Oui			Oui
	Après réalisation de l'épreuve		Oui			Oui

RÉPARATION ET/OU RENFORCEMENT PAR ARMATURES PASSIVES INTERNES AU BÉTON						
Points sensibles, critiques et d'arrêts						
Rep	Description des phases d'exécution	Intervention du contrôle interne			Intervention du contrôle externe à l'entreprise (1)	Intervention du contrôle extérieur (2)
		Points sensibles (3)	Points critiques (4)	Points d'arrêts (5)		
10	Contrôles d'exécution d'une opération					
	Préparation du support (béton et armatures)		Oui			Oui
	Préparation de l'opération		Oui			Oui
	Préparation des produits		Oui			Oui
11	Levée du point d'arrêt avant travaux		Oui	Oui		Oui
	Réalisation de l'opération (mise en œuvre des produits)		Oui			Oui
	Après réalisation de l'opération		Oui	Oui		Oui
12	Travaux complémentaires (produit de protection ou d'aspect...)	Reprendre la fiche du guide FABEM 4				
13	Réception des travaux					
	Remise des résultats des essais		Oui			Oui
	PAQ : remise au maître d'œuvre de l'ensemble des documents originaux constituant le PAQ		Oui	Oui		Oui
	Vérifications diverses					Oui

Tableau n° 14 : liste des points sensibles, critiques et d'arrêt, relative à une opération réparation et/ou renforcement par armatures passives internes au béton

RÉPARATION ET/OU RENFORCEMENT PAR ARMATURES PASSIVES COLLÉES À LA SURFACE DU BÉTON						
Points sensibles, critiques et d'arrêts						
Rep	Description des phases d'exécution	Intervention du contrôle interne			Intervention du contrôle externe à l'entreprise (1)	Intervention du contrôle extérieur (2)
		Points sensibles (3)	Points critiques (4)	Points d'arrêts (5)		
1	PAQ , pendant la période de préparation des travaux : mise au point du document d'organisation générale et établissement des documents suivants : • les procédures d'exécution ; • les cadres des documents de suivi		Oui			Oui
2	PAQ , avant toute réalisation d'une opération : mise au point des procédures d'exécution et des cadres des documents de suivi correspondants		Oui	Oui		Oui
3	PAQ , pendant la réalisation d'une opération : respect des procédures , renseignement des documents de suivi et information du maître d'œuvre (6)		Oui			Oui
4	Choix des produits et des matériels					
	La consultation fixe la famille du produit et les caractéristiques à respecter, voire une technique d'exécution -L'entrepreneur propose une ou des solutions - Le marché entérine la ou les solutions (7)					
	Une épreuve d'étude est nécessaire pour choisir le produit lorsque les exigences à satisfaire sortent du domaine d'emploi de la norme (8)		Oui	Oui		Oui
5	Contrôle et réception des produits					
	Transport, réception et stockage		Oui	Oui		Oui
	Essais d'identification et/ou contrôle des caractères normalisés		Oui	Oui		Oui

RÉPARATION ET/OU RENFORCEMENT PAR ARMATURES PASSIVES COLLÉES À LA SURFACE DU BÉTON Points sensibles, critiques et d'arrêts						
Rep	Description des phases d'exécution	Intervention du contrôle interne			Intervention du contrôle externe à l'entreprise (1)	Intervention du contrôle extérieur (2)
		Points sensibles (3)	Points critiques (4)	Points d'arrêts (5)		
6	Relevé contradictoire de l'état du support		Oui			Oui
7	Réparations et/ou renforcements structuraux préalables (pm)	Reprendre la fiche du guide FABEM 1 qui renvoie aux autres guides de la famille FABEM si nécessaire				
8	Réparations préalables de la surface du béton (pm)	Reprendre la fiche du guide FABEM 4				
9	Épreuve de convenue de préparation du support (béton)		Oui			Oui
10	Épreuve de convenue d'une opération					
	Préparation générale de l'épreuve (documents nécessaires et organisation de l'ensemble des opérations)		Oui			Oui
	Préparation du support (béton)		Oui			Oui
	Préparation des produits (adhésif, plaques ou tissus et accessoires)		Oui			Oui
	Réalisation de l'épreuve		Oui			Oui
	Après réalisation de l'épreuve		Oui			Oui
11	Contrôles d'exécution d'une opération					
	Préparation du support (béton)		Oui			Oui
	Préparation de l'opération		Oui			Oui
	Préparation des produits (adhésif, plaques ou tissus et accessoires)		Oui			Oui
12	Levée du point d'arrêt avant travaux		Oui	Oui		Oui
	Réalisation de l'opération (mise en œuvre des plaques ou tissus et accessoires)		Oui			Oui
	Après réalisation de l'opération		Oui	Oui		Oui
13	Travaux complémentaires (mise en place de revêtements de protection ou de finition...)	Reprendre la fiche du guide FABEM 4				
14	Réception des travaux					
	Remise des résultats des essais		Oui			Oui
	PAQ : remise au maître d'œuvre de l'ensemble des documents originaux constituant le PAQ		Oui	Oui		Oui
	Vérifications diverses					Oui

Tableau n° 15 : liste des points sensibles, critiques et d'arrêt, relative à une opération réparation et/ou renforcement par armatures passives collées à la surface du béton

LÉGENDE :

(1) Il s'agit d'une surveillance et assistance du contrôle interne effectuée par un représentant indépendant de la direction du chantier. Il doit être prévu **au marché**.

(2) Il s'agit **du maître d'œuvre** du client (voire du client) ou d'un organisme habilité par lui (**laboratoire ou bureau d'études**).

(3) **un point sensible** est un point de l'exécution qui doit particulièrement retenir l'attention. Dans le présent tableau, l'ensemble des points sensibles n'a pas été développé.

- (4) **un point critique** est un point de l'exécution qui nécessite une matérialisation du contrôle interne sur **un document de suivi** d'exécution ainsi qu'une information préalable du contrôle extérieur pour que ce dernier puisse effectuer son contrôle, s'il le juge nécessaire. L'intervention du contrôle extérieur n'est pas indispensable à la poursuite de l'exécution.
- (5) **un POINT D'ARRÊT** est un point critique pour lequel **un accord formel du maître d'œuvre** (ou d'un organisme habilité par lui) est nécessaire à la poursuite de l'exécution. Les délais de préavis et les délais de réponse **du maître d'œuvre** sont fixés dans **le marché** ainsi que les dispositions à prendre à l'issu du délai de réponse en l'absence de réaction **du maître d'œuvre (situation très anormale)**. Les points d'arrêt doivent être prévus au marché.
- (6) **le marché** peut prévoir qu'un double (photocopie) des **documents de suivi** renseignés soit remis **au maître d'œuvre** au fur et à mesure du déroulement des travaux (une facilité pour le contrôle extérieur). Il est rappelé que l'ensemble des documents originaux constituant le PAQ doit être remis **au maître d'œuvre** au moment de la réception des travaux.
- (7) ce point recouvre les périodes de préparation du projet, de consultation des entreprises, de jugement des offres, de mise au point et de signature du marché.
- (8) si cette épreuve est prévue **au marché**.

NOTE IMPORTANTE : les fiches techniques des entreprises détentrices d'un système fournissent des fiches de contrôle plus ou moins complètes. Les deux figures qui suivent montrent deux exemples de fiches de contrôle qui sont données à titre indicatif.

EXEMPLE DE FICHE D'AUTOCONTRÔLE DE CHANTIER (annexe 5)	
Entreprise :	Date :
Référence chantier :	
Type de structure à renforcer :	
Localisation de l'application (référence, plan, étage, ...) :	
N°m de la personne effectuant le relevé :	
PREPARATION DU SUPPORT Date :	
Méthode de préparation utilisée :	
Respect de la planéité requise :	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Mesure de la cohésion superficielle :	Localisation :
Valeurs en MPa	
Présence de fissures :	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, localisation :
PRODUITS	
- SIKADUR 52 INJECTION	N° de lot :
- SIKADUR 41 F	N° de lot :
- SIKADUR 30 COLLE	N° de lot :
- SIKADUR CARBODUR LAMELLE	N° de lot : Types de lamelles :
- SIKADUR WRAP 230 C	N° de lot :
- SIKADUR 330	N° de lot :
VERIFICATION A LA MISE EN ŒUVRE	
- CONDITIONS CLIMATIQUES (variations extrêmes pour la journée)	
Mesure simultanée des 3 critères suivants :	
* Température ambiante :	
* Taux d'humidité relative :	
* Température du support :	
- ESSAIS SUR ECHANTILLONS PRÉLEVÉS (SIKADUR 30 COLLE - SIKADUR 330)	
Résistance à la flexion en MPa (≥ 30 MPa) :	
Résistance à la compression en MPa (≥ 55 MPa) :	
Dureté shore D (≥ 70) :	
- HUMIDITE DU SUPPORT	
* Valeur ou justification en l'absence de mesure :	
VERIFICATIONS APRES MISE EN ŒUVRE	
Vérification visuelle du collage :	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Détection de la présence de vide :	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, localisation :
REMARQUES EVENTUELLES	

307-562

16

Figure n° 62 : fiche de contrôle (extrait de la fiche technique SIKA)



SPPM
Société Parisienne de Produits et Matériaux
27-29, rue Raffet 75016 Paris - France
Tél : 01.40.09.70.15 - Fax : 01.69.33.62.39
www.sppm.fr - E-mail : infos@sppm.fr

FICHE DE CONTRÔLE N°1
COHESION SUPERFICIELLE DU SUPPORT
RENFORT DE STRUCTURE

Date : Juin 2009 - **Indice : C**

CHANTIER : _____

LOCALISATION, ZONE : _____

NATURE DU SUPPORT : béton mortier ragréage autre :

NATURE DU REVÊTEMENT : _____

TYPE DE PRÉPARATION : _____

MACHINE DE TRACTION : dynamomètre à soufflet marque DYNATEST force maxi 16 kN

PASTILLES : carrés 50 mm x 50 mm – surface 25 cm²

N° : _____

DATE : _____

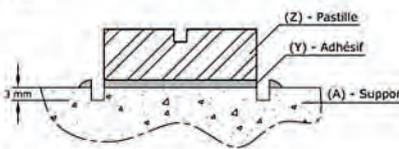
NORMES

Essais : P 18-852/858

Type rupture : NF EN 1542

N° de la pastille	Type de Rupture				Force de Rupture	Force moyenne	Variation	Force * moyenne	Contrainte moyenne	Valeur requise	Conforme
	A	A/Y	Y	Y/Z	F _i en KN	F̄ en KN	$\frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}}$	(F)	en MPa $\sigma = 0,4 F$		
1										Si $\sigma \geq 1,5$ MPa et Type A	Oui
2											
3											
4											
5											
6										Si $\sigma < 1,5$ MPa ou Non Type A	Non
7											
8											
9											
10											

* Pour chaque nature de support (béton, mortier, ragréage) et localisation ou zone (plafond, voile, sol) calculer la moyenne en éliminant les variations supérieures à 20% (au-delà de l'élimination de 40% des valeurs, REFAIRE L'ESSAI OU GARDER LA VALEUR LA PLUS PETITE)



LEGENDE « NATURE DE LA RUPTURE SELON LA NORME NF EN 1542 »

A	: Rupture cohésive du support A	Valeurs à éliminer - noter F _i = E
A/Y	: Rupture Adhésive entre A et Y	
Y	: Rupture cohésive de l'adhésif	
Y/Z	: Adhérence de la pastille	

Mettre une croix dans la case correspondante.
Nota : pour une mesure (3 pastilles mini) d'une même nature de support il faut impérativement qu'après éliminations éventuelles il reste 3 pastilles de rupture A sinon l'essai est NEGATIF.

CONTRÔLE APPLICATEUR	CONTRÔLE EXTERIEUR
Nom : _____	Nom : _____
Date : _____	Date : _____
Visa : _____	Visa : _____
	Conforme
	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non

3/10-644

29

Figure n° 63 : fiche de contrôle extraite de la fiche technique Compodex (document SPPM)

- [1] R. L'HERMITE – *L'application des colles et résines dans la construction*. Annales de l'ITBTP, série béton et béton armé, n°239 de novembre 1967.
- [2] R. L'HERMITE - J. BRESSON – *Béton armé d'armatures collées*. Colloque de la RILEM, 4-6 sept. 1967, Paris.
- [3] J. BRESSON – *Nouvelles recherches et applications concernant l'utilisation des collages dans les structures – béton plaqué*. Annales de l'ITBTP, série béton et béton armé, n°278 de février 1971.
- [4] *Réparation et renforcement de structures de bâtiments et d'ouvrages d'art - Application des techniques de tôles collées* – Annales de l'ITBTP n°501 – Février 1992 - Série : Technique générale de la construction N°132.
- [5] Fascicule n°6 : *Tôles collées* de la série : les techniques de réparation et de renforcement des ouvrages en béton, éditée en juin 1987 par le STRRES, l'AFPC, la FNTP et le SNBATI.
- [6] *Réparation et renforcement des structures en béton au moyen des matériaux composites*. Recommandations provisoires de l'AFGC (décembre 2003).
- [7] *Réparation et renforcement des structures en béton au moyen des matériaux composites*. Recommandations provisoires de l'AFGC (juin 2007).
- [8] Avis techniques du CSTB sur les matériaux composites (consulter le site du CSTB car les avis techniques évoluent constamment).
- [9] *Réparation et renforcement des structures en béton au moyen des matériaux composites*. Recommandations provisoires de l'AFGC (février 2011).
- [10] M. GOLAND et E. REISSNER – *The Stress in Cement Joint*. Journal of Applied Mechanics, Vol II, 1944.
- [11] O. VOLKERSEN – *Recherches sur la théorie des assemblages collés*. Construction métallique, n°4, décembre 1969.
- [12] M.D. BUI – *Introduction à la mécanique de la rupture*. École d'été de Montréal, 14-23 juillet 1980.
- [13] HERLACHER – *Construction à l'étude thermodynamique de la propagation de fissure et la mécanique de l'endommagement brutal*. Thèse de Doctorat d'État, Paris VI, février 1985.
- [14] D. MAUGIS et M. BARQUINS – *Adhésion, collage et mécanique de la rupture*. Colloque RILEM ISAP'86. Aix- en-Provence, 16-19 sept 1986. éditions. Chapman and Hall.
- [15] K. KENDALL – *Crack Propagation and lap shear joint*. J. Phys. D.: Appl. Phys., Vol. 8, 1975.

TABLE DES FIGURES

Figure n° 1 :	Les trois intervenants.....	3
Figure n° 2 :	Schéma de principe d'une «armure toile»	30
Figure n° 3 :	La préparation d'une opération de réparation par l'entrepreneur.....	36
Figure n° 4 :	Principe de remplacement d'un ferrailage endommagé	48
Figure n° 5 :	Exemple de renforcement avec ajout de béton et d'armatures	50
Figure n° 6 :	Exemple de renforcement d'un poteau par ajout de béton et d'armatures	52
Figure n° 7 :	Trois solutions possibles de réparation et/ou renforcement par matériaux composites	53
Figure n° 8 :	Exemple de renforcement par armature scellée dans une encoche	53
Figure n° 9 :	Principe du béton contrecollé.....	58
Figure n° 10 :	Schéma d'un dispositif de mise en charge d'un poteau après renforcement	59
Figure n° 11 :	Schéma d'une cheville à scellement de type à injection (extrait de l'ETAG 001).....	61
Figure n° 12 :	Modes de rupture	63
Figure n° 13 :	Exemple de scellement de barres (les autres armatures et, en particulier, celles de couture ne sont pas représentées).....	65
Figure n° 14 :	Exemple de recouvrement de barres (les armatures de couture ne sont pas représentées).....	65
Figure n° 15 :	Schéma explicitant une erreur à ne pas commettre (absence d'armatures suspendes pouvant remonter le poids du béton de l'élément suspendu)	66
Figure n° 16 :	Dispositif de suspension d'une pièce en béton non armé, en pierre.....	67
Figure n° 17 :	Nécessité des armatures de couture (l'effort à équilibrer est égal à l'effort dans les barres).....	71
Figure n° 18 :	Schéma du scellement d'une armature de béton armé dans une réservation (les dimensions du trou ne sont pas à l'échelle sur ce croquis)	72
Figure n° 19 :	Exemple d'armatures rapportées (les armatures de couture ne sont pas représentées).....	75
Figure n° 20 :	Modèle de rupture par arrachement d'un cône de béton issu de l'ETAG 001.....	76

Figure n° 21 :	Schéma d'un appareillage d'essai (extrait de l'ETAG 001).....	78
Figure n° 22 :	Principe d'une reprise de bétonnage avec redans	91
Figure n° 23 :	Dispositions à respecter pour le dégagement des armatures	92
Figure n° 24 :	Principe de dégagement et de nettoyage des armatures corrodées	95
Figure n° 25 :	Schéma de soudures visées par la norme	99
Figure n° 26 :	Schémas de différents dispositifs de manchonnage.....	101
Figure n° 27 :	Exemple n°1 de cheminées de bétonnage et vibration	109
Figure n° 28 :	Exemple n°2 de cheminée de bétonnage et vibration	109
Figure n° 29 :	Exemple de bétonnage par injection	110
Figure n° 30 :	Principe de réalisation de l'injection de la périphérie d'une reprise de bétonnage.....	111
Figure n° 31 :	Réception par le contrôleur des produits de réparation	112
Figure n° 32 :	Conséquences si les principes à respecter lors du dégagement d'armatures corrodées ne sont pas respectés, même si le revêtement de protection ralentit la vitesse de carbonatation.....	135
Figure n° 33 :	Constitution des renforts par pultrudé et tissu en matériaux composites	163
Figure n° 34 :	Essais comparatifs de deux poutres.....	168
Figure n° 35 :	Diagrammes des déformations et des contraintes à l'ELU d'une section de béton armé	171
Figure n° 36 :	Diagramme des déformations à l'elu avec prise en compte des déformations initiales d'une section de béton armé	171
Figure n° 37 :	Diagrammes des déformations et des contraintes à l'ELS d'une section de béton armé.....	174
Figure n° 38 :	Principe de mise en place d'équerres.....	191
Figure n° 39 :	Principe de mise en place de mèches d'ancrage.....	191
Figure n° 40 :	Principe de mise en place de «coutures»	193
Figure n° 41 :	Principe de mise en place d'ancrages métalliques.....	193
Figure n° 42 :	Schéma d'un dispositif permettant d'assurer la continuité du renfort de l'âme vis-à-vis de l'effort tranchant – système «Sika Carboshear L» (crédit photo Sika).....	194
Figure n° 43 :	Poutre de type VIPP avec angles rentrants	200

Figure n° 44 :	Schéma de principe d'un renforcement vis-à-vis de l'effort tranchant	200
Figure n° 45 :	Renforts possibles à l'about d'une poutre	201
Figure n° 46 :	Courbes polymérisation	223
Figure n° 47 :	Schéma d'un couvre-joint et d'un recouvrement	228
Figure n° 48 :	Schéma d'un croisement	229
Figure n° 49 :	Pose mixte : pultrudé et tissu en matériaux composites	231
Figure n° 50 :	Réception par le contrôleur des produits de réparation	235
Figure n° 51 :	Détermination du point de rosée	256
Figure n° 52 :	Balèvre ou désaffleurement	266
Figure n° 53 :	Ondulations limites	267
Figure n° 54 :	Exemple de dispositif de mise en pression par une vessie gonflée à l'eau	268
Figure n° 55 :	Schéma d'un verrou	268
Figure n° 56 :	Schéma d'une tôle couvre-joint et d'un recouvrement	269
Figure n° 57 :	Exemple d'un dispositif de serrage	270
Figure n° 58 :	Géométrie du plan de collage	271
Figure n° 59 :	Les nouveaux pictogrammes de danger (extrait d'un document de l'INRS)	276
Figure n° 60 :	Extrait d'une fiche de données de sécurité (FDS) de la société Parexlanko	282
Figure n° 61 :	Guide du STRRES 2000 relatif à la rédaction des PAQ en réparation ...	288
Figure n° 62 :	Fiche de contrôle (extrait de la fiche technique SIKA)	292
Figure n° 63 :	Fiche de contrôle extraite de la fiche technique Compodex (document SPPM)	293

TABLE DES PHOTOS

Photo n° 1 :	Le guide LCPC-Sétra de 1996 et le guide de l'AFGC de 2003 (crédit photo AFGC, LCPC et Sétra)	38
Photo n° 2 :	Différents désordres de structures en béton armé et précontraint (Photomontage)	39

Photo n° 3 :	Conséquences d'un choc de bateau sur le tablier d'un pont en béton armé (crédit photo CETE de Lyon)	47
Photo n° 4 :	État avancé de corrosion des armatures d'une passerelle piétons (crédit photo D. Poineau)	47
Photo n° 5 :	Renforcement d'une poutre par ajout de béton de d'armatures (crédit photo Freyssinet).....	51
Photo n° 6 :	Exemple de joncs en matériaux composites (crédit photo Freyssinet).....	55
Photo n° 7 :	Renforcement en sous-face d'une dalle avec connecteurs scellés (crédit photo Freyssinet).....	56
Photo n° 8 :	Préparation du support béton et des armatures au pont de Limay (crédit photo D. Poineau)	91
Photo n° 9 :	Agressivité du marteau-piqueur sur les armatures de béton armé de faible ou moyen diamètre (crédit photo D. Poineau)	94
Photo n° 10 :	Manchon de jonction nécessitant un filetage de l'armature (crédit photo D. Poineau)	102
Photo n° 11 :	Remplissage des trous avant scellement de barres (crédit photo Parexlanko).....	103
Photo n° 12 :	Scellement d'armatures de béton armé (crédit photo D. Poineau).....	104
Photo n° 13 :	Bonne méthode d'application d'un revêtement anticorrosion sur des armatures de ba (crédit photo Weber et Broutin)	106
Photo n° 14 :	Mauvaise application d'un revêtement anticorrosion (crédit photo D. Poineau)	106
Photo n° 15 :	Sondage au marteau (crédit photo Parexlanko)	128
Photo n° 16 :	Essai de traction de surface (crédit photo VSL France).....	129
Photo n° 17 :	Contrôle d'étalement d'un BAP (crédit photo IRPC Clermont - M. Geoffrey)	151
Photo n° 18 :	Projection dans une boîte pour essais sur éprouvettes carottées (crédit photo D. Poineau)	154
Photo n° 19 :	Tissu de fibres de carbone (crédit photo D. Poineau	164
Photo n° 20 :	Pultrudé sous forme de lamelles (crédit photo Freyssinet - C. Tourneur)	164
Photo n° 21 :	Exemple de rupture par délamination (crédit photo Sika).....	168
Photo n° 22 :	Dégagement du flocage de protection contre l'incendie des poutres (crédit photo VSL France).....	180

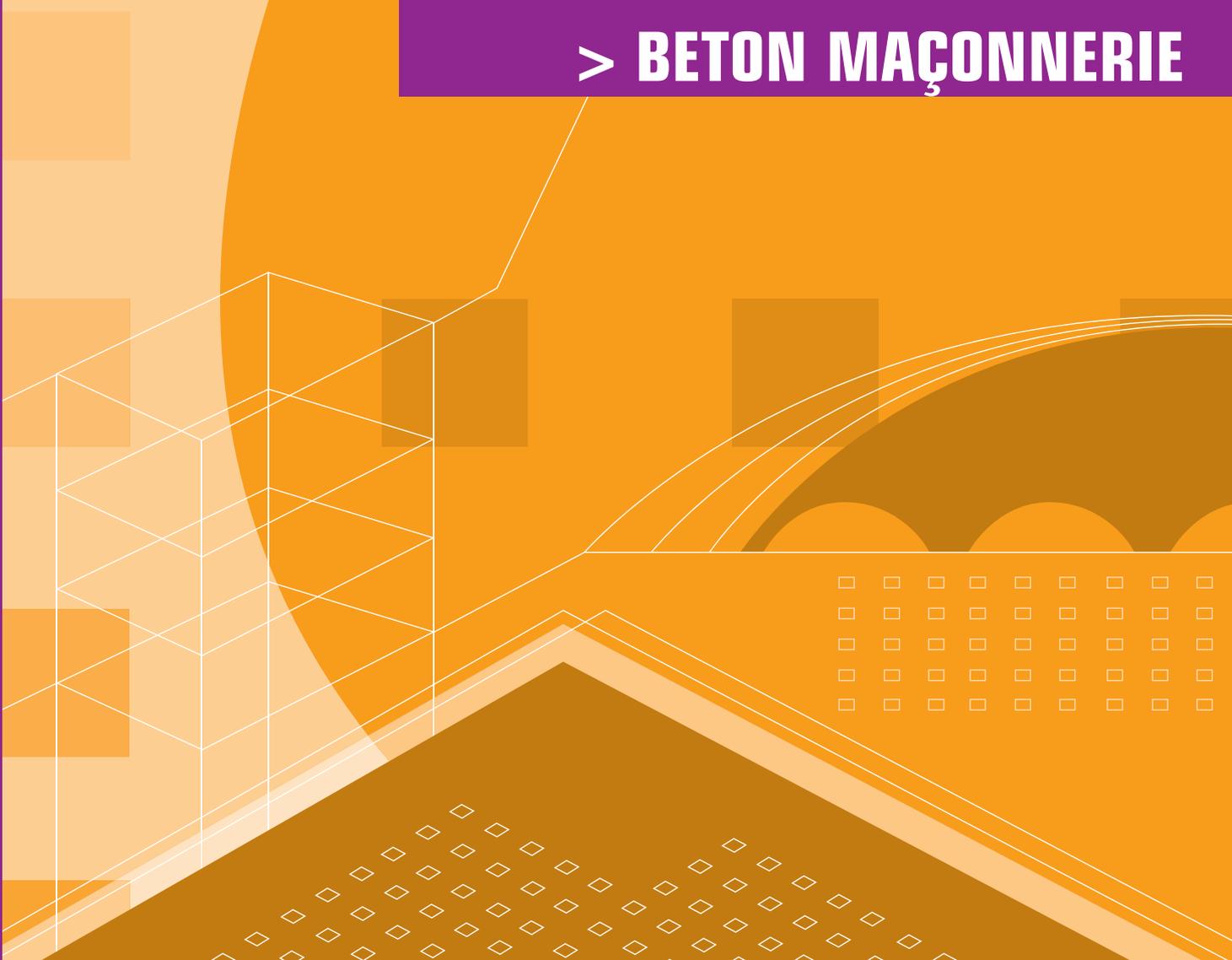
Photo n° 23 :	Début de la préparation de l'intrados et des deux faces latérales des poutres (crédit photo VSL France).....	181
Photo n° 24 :	Ponçage des talons et des faces latérales des poutres ainsi que de l'intrados des dalles (crédit photo VSL France).....	181
Photo n° 25 :	Lamelles de renfort sous les talons et les faces latérales de poutres (crédit photo VSL France).....	182
Photo n° 26 :	Renforts en place des poutres et des dalles (crédit photo VSL France).	182
Photo n° 27 :	Tôle collée sous le talon d'une poutre de rive et endommagée par les chocs de véhicules hors gabarit (crédit photo D. Poineau).....	183
Photo n° 28 :	Injection des fissures (crédit photo VSL France)	184
Photo n° 29 :	Reconstitution du ferrailage et de la géométrie des talons endommagés (crédit photo D. Poineau).....	185
Photo n° 30 :	Enlèvement du béton désorganisé et décapage des armatures corrodées (crédit photo VSL France).....	185
Photo n° 31 :	Ragréage en cours (crédit photo VSL France)	186
Photo n° 32 :	Tissu composite en cours de collage sur les âmes des poutres (crédit photo D. Poineau)	186
Photo n° 33 :	Réalisation du revêtement de protection du tissu composite (crédit photo D. Poineau)	187
Photo n° 34 :	Vue générale du chantier (crédit photo Sika)	187
Photo n° 35 :	Renfort des poutres de rive extérieures (crédit photo Sika)	188
Photo n° 36 :	Renfort des poutres de rive intérieures (crédit photo Sika).....	188
Photo n° 37 :	Renforcement en tissus composite des abouts des poutres du pont sur la Drôme (crédit photo RCA - M. Trouillet).....	189
Photo n° 38 :	Frettage de poteaux par composites (crédit photo Freyssinet)	190
Photo n° 39 :	Frettage des pylônes du pont de térénez par des bandes de matériaux composites collés (crédit photo Freyssinet).....	190
Photo n° 40 :	Phase 1 de la pose d'une mèche d'ancrage (crédit photo Freyssinet) ...	192
Photo n° 41 :	Phase 2 de la pose d'une mèche d'ancrage (crédit photo Freyssinet) ...	192
Photo n° 42 :	Système «Sika Carboshear L» en place (crédit photo Sika)	194
Photo n° 43 :	Renforcement vis-à-vis de l'effort tranchant (crédit photo Freyssinet)	201
Photo n° 44 :	Différents matériaux composites (crédit photo Freyssinet – C. Tourneur).....	206

Photo n° 45 :	Pose de bandes de tissu sec avec un appareil dérouleur de bandes (crédit photo Freyssinet).....	217
Photo n° 46 :	Mesure de la cohésion de la surface du béton avec une pastille carrée (crédit photo VSL France).....	221
Photo n° 47 :	Intrados d'une poutre avant et après sablage (crédit photo Freyssinet).....	222
Photo n° 48 :	Encollage du support béton - Renforcement du pont sur le CD 126 à Arcueil (crédit photo D. Poineau).....	229
Photo n° 49 :	Pose de tissu en matériau composite (crédit photo Freyssinet).....	230
Photo n° 50 :	Suite de la pose d'un tissu en matériaux composites (crédit photo Freyssinet).....	230
Photo n° 51 :	Collage d'une mèche sur une bande de tissus (crédit photo Freyssinet).....	233
Photo n° 52 :	Mèche en place (crédit photo Freyssinet)	233
Photo n° 53 :	Tissus composite brut de pose - Tissus composite après application d'une résine sablée – Revêtement de protection sur la résine sablée (crédit photo Freyssinet)	234
Photo n° 54 :	Essai de traction de surface (credit photo VSL France).....	250
Photo n° 55 :	Désordres de tôles collées (crédit photo Sika).....	264
Photo n° 56 :	Verrou de tôles collées (crédit photo D. Poineau).....	269
Photo n° 57 :	Équipements de protection individuelle (crédit photo D. Poineau).....	278

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n° 1 :	Liste comparative des principaux sigles utilisés pour les produits de réparation à base de liants hydrauliques et organiques en France et en Europe	23
Tableau n° 2 :	Partie extraite du tableau n°1 de la norme EN 1504-4	34
Tableau n° 3 :	Documents de référence sur les techniques de préparation du support..	97
Tableau n° 4 :	Essais d'identification et de performance	117
Tableau n° 5 :	Correspondance entre les méthodes et les guides du STRRES	120

Tableau n° 6 :	Correspondance entre les méthodes et les guides du STRRES	122
Tableau n° 7 :	Identification et traitement des défauts de surface.....	198
Tableau n° 8 :	Comparaison des caractéristiques des différents produits.....	205
Tableau n° 9 :	Caractéristiques mécaniques des différentes fibres.....	205
Tableau n° 10 :	Caractéristiques mécaniques des différents composites (plaques et tissus).....	206
Tableau n° 11 :	Extrait du tableau n°1 de la norme NF EN 1504-4	208
Tableau n° 12 :	Suite de l'extrait du tableau n°1 de la norme NF EN 1504-4.....	209
Tableau n° 13 :	Essais d'identification et de performance	239
Tableau n° 14 :	Liste des points sensibles, critiques et d'arrêt, relative à une opération réparation et/ou renforcement par armatures passives internes au béton.....	290
Tableau n° 15 :	Liste des points sensibles, critiques et d'arrêt, relative à une opération réparation et/ou renforcement par armatures passives collées à la surface du béton	291



ANNEXE

Documents de référence

| [◀ Retour au sommaire](#) |





Quelques-unes des normes nécessaires pour la rédaction de la collection des guides du STRRES

Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles

1

Les normes

1.1 Généralités

1.2

Normes et documents connexes relatifs
à la protection et à la réparation
des structures en béton

Retour au sommaire

Béton Maçonnerie | Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles |

UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / NOVEMBRE 2011

305

1.1.1 RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE DES PRODUITS DE CONSTRUCTION

Le site de la Directive Produits de Construction est consultable en tapant l'adresse : www.dpcnet.org.

> Ce site donne les textes des différents documents européens parus et la liste des documents à paraître :

- différentes directives ;
- mandats CEN ;
- mandats EOTA ;
- arrêtés ;
- avis ;
- normes harmonisées ;
- guides d'agrément technique européen ;
- projets de normes et d'agréments techniques ;
- une foire aux questions (FAQ)...

1.1.2 L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION

SITE DE L'AFNOR : pour se rendre sur le portail de l'AFNOR, taper : [«www.boutique.afnor.fr»](http://www.boutique.afnor.fr), puis, dans l'onglet relatif **aux normes et produits d'édition**, cliquer sur la touche **«accéder à la boutique»**. Ici, deux solutions sont possibles :

- Si on connaît l'intitulé d'une norme, il suffit de le taper dans le cadre et de cliquer sur le bouton «envoyer» après avoir sélectionné **la catégorie du document** «normes françaises ou européennes». Par exemple :
 - Pour obtenir la norme française NF P18-810, il faut taper NF P18-810 ou P18-810 ou 18-810.
 - Pour obtenir la norme européenne transposée en norme française NF EN 1504-10, il faut taper NF EN 1504-10 ou 1504-10, voire 1504_** pour obtenir toute la série de 1 à 10 ;

Attention, le texte de la norme n'est pas consultable : on trouve, au mieux, le titre, l'objet de la norme et son sommaire. De plus, si la norme a été supprimée, la recherche ne peut aboutir; il faut appeler l'**AFNOR** par téléphone.

- Si on ne connaît pas l'intitulé de la norme, il faut cliquer sur «**recherche avancée**». Cinq cadres apparaissent :
 - le premier n'a pas d'intérêt puisqu'il exige la référence exacte de la norme,
 - le second permet de rentrer des mots clefs. Par exemple : «béton, béton armé, béton banché...» ,
 - le troisième permet de rentrer le code ICS, c'est-à-dire la famille de la norme cherchée. Par exemple : le numéro 93 concerne les normes du génie civil,
 - le quatrième permet de rentrer, soit la date exacte de parution de la norme recherchée, soit la période pendant laquelle elle est parue,
 - le dernier concerne la catégorie à laquelle appartient la norme recherchée. Par exemple : normes françaises et européennes, normes ISO...

Le **moteur de recherche** donne aussi accès aux règlements des différentes **marques NF** (par exemple, la marque NF relative aux produits spéciaux utilisés en réparation) ainsi qu'à la liste des produits admis à la marque et à celle de leurs fabricants.

REMARQUE : L'AFNOR attribue aux normes nationales un **indice de classement** dont le numéro est le même que celui de la norme (par exemple, la norme NF T 30-800 a pour indice de classement T 30-800). Il n'en est pas de même pour les normes européennes ou internationales homologuées en normes françaises (par exemple, la norme NF EN 1504-10 a pour indice de classement P18-901-10).

1.2.1 INCIDENCES DE LA NORMALISATION EUROPÉENNE

L'état d'avancement incomplet de la normalisation européenne sur les produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton ne permet pas encore actuellement d'y faire totalement référence. Cependant, les normes européennes de la série **NF EN 1504-**** se substituent progressivement, **mais en partie seulement**⁴¹, aux normes françaises de la série **P 18-8**** en vigueur. Il en a été tenu compte et elles figurent dans les tableaux ci-après avec l'échéancier correspondant.

Normalement, depuis le 1er janvier 2009, les produits visés par les normes NF EN 1504-2 à 5 doivent être marqués CE. Ceux qui relèvent des normes NF EN 1504-6 et 7 l'ont été en 2010.

1.2.2 NORMES EUROPÉENNES DE LA SÉRIE 1504-**

> Les normes européennes de la série 1504-** qui sont transposées en normes française comprennent :

■ une norme consacrée aux définitions :

- **NF EN 1504-1** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 1 : Définitions ;

■ six normes produits et systèmes de produits :

- **NF EN 1504-2** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 2 : systèmes de protection de surface pour le béton,
- **NF EN 1504-3** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 3 : réparation structurale et non structurale,
- **NF EN 1504-4** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 4 : collage structural,
- **NF EN 1504-5** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 5 : produits et systèmes d'injection du béton,
- **NF EN 1504-6** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 6 : ancrage de barres d'acier d'armatures,
- **NF EN 1504-7** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 7 : protection contre la corrosion des armatures ;

⁴¹ Par exemple, la norme **NF EN 1504-6** ne traite pas des produits de calage. Les normes **XP P 18-821** et **XP P 18-822** restent donc en partie applicables. Elles vont être amendées.

■ une norme consacrée aux contrôles en usine :

- **NF EN 1504-8** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 8 : Contrôle qualité et évaluation de la conformité ;

■ une norme explicitant la méthodologie à suivre lors d'une opération de protection, de réparation et/ou du renforcement d'une structure en béton :

- **NF EN 1504-9** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 9 : Principes généraux d'utilisation des produits et systèmes ;

■ une norme consacrée à la mise en œuvre sur le chantier et au contrôle qualité :

- **NF EN 1504-10** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 10 : application sur site des produits et systèmes et contrôle de la qualité des travaux ;

Cette série de normes fait l'objet du **mandat de la Communauté Européenne M/128**, qui établit les conditions du **marquage CE** imposé par la Directive Produits de Construction (89/106/CE). Ces normes, pour la plupart, ont le statut de normes harmonisées (voir le site www.dpcnet.org/scr qui donne la liste des normes harmonisées).

Ces diverses normes de la série **1504-*** renvoient en tant que de besoin à des normes d'essai EN-ISO ou EN. Ces normes d'essais remplacent mais, en partie seulement, les normes d'essais de la série **P 18-8***. En effet, certaines normes françaises d'essais n'ont pas d'équivalent à l'échelon européen (voir le tableau ci-après).

NOTE : la mise en application des normes produits et systèmes est facilitée par la norme **NF EN 1504-10** qui traite de la mise en œuvre des produits et systèmes ainsi que des contrôles d'exécution. Cependant, cette norme ne traite pas du nombre des essais, des épreuves d'étude et de convenance. De plus, les exigences en matière de contrôle de réception des produits sont réduites au minimum (il n'y a aucun prélèvement conservatoire ni d'essai d'identification)...

Les développements du présent **guide**, mais aussi ceux des autres **guides FABEM** auxquels il renvoie, complètent, en tant que de besoin, les normes européennes.

NOTA IMPORTANT : dans les différents tableaux qui suivent, les normes citées dans le présent guide apparaissent dans les cases de **couleur verte**. Attention cependant, toutes les normes visées dans une norme particulière ne figurent pas forcément dans les tableaux ci-après.

1.2.3 NORMES FRANÇAISES**1.2.3.1 Généralités****> Il s'agit :**

- des normes d'exécution de la série **NF P 95-10*** sur la réparation et le renforcement des structures en béton et en maçonnerie listées par le tableau 1 ci-après ;
- des normes françaises homologuées ou expérimentales et des fascicules de documentation de la série **P 18-8**** encore en vigueur et relatifs aux produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique listés dans le tableau 2 ci-après ;
- la norme française homologuée relative au **DTU 21** traitant de la mise en œuvre et de la réparation des mortiers et bétons figurant dans le tableau 3 ci-après ;
- de fascicules de documentation, de guides d'emploi et de normes... listés dans le tableau 4, le tableau 5 et le tableau 6 ci-après ;
- des fascicules de documentation, guides d'emploi d'origine européenne et des normes européennes relatives aux matériaux, produits et essais, qui ont été transposées en normes françaises. Ils sont listés dans le tableau 8 et le tableau 9 ci-après ;
- des normes ISO et des normes ISO transposées en normes européennes et françaises listées dans le tableau 10 ci-après ;
- des méthodes d'essai diverses listée dans le tableau 11 ci-après
- des marques NF,
- des fascicules du CCTG ainsi que des directives, guides, recommandations et documents divers qui sont listés dans le tableau 12, le tableau 13 et le tableau 14 ci-après.

Les normes qui doivent être disponibles sur le chantier sont celles qui concernent **le marché et/ou les travaux et/ou les contrôles imposés par le marché**. La colonne observations indique le domaine d'emploi de chaque norme et d'autres remarques.

1.2.3.2 Normes de la série P 95-10***> Ces normes françaises des années 90 mais dont certaines ont été révisées traitent les techniques de réparation. Il s'agit des normes :**

- **NF P 95-101** qui traite de la reprise des bétons dégradés superficiellement,
- **NF P 95-102** qui traite du béton projeté (la projection étant une des techniques de mise en œuvre des mortiers et bétons lors d'une réparation ou d'un renforcement) ;
- **NF P 95-103** qui traite de l'injection, du calfeutrement et du pontage des fissures ainsi que de la protection du béton ;
- **NF P 95-104** qui traite de la précontrainte additionnelle.

NOTA : les normes **NF P 95-101** et **NF P 95-103** qui sont obsolètes contiennent cependant des dispositions qui n'apparaissent pas dans la norme NF EN 1504-10 (comme la notion d'épreuves d'étude et de convenance...), elles sont en cours de révision pour prendre en compte les apports des normes européennes.

Rappel : dans les tableaux ci-après les cases des normes citées dans le guide sont tramées en vert clair. La marque «**Rév**» indique les normes en cours de révision.

Type de norme	Norme	Date de publication	Observations
De spécifications, de travaux et de contrôles	« Rév » NF P 95-101 : Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie – Reprise du béton dégradé superficiellement – Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.	Novembre 1993	Marchés, travaux et contrôles
	NF P 95-102 : Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie – Béton projeté – Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.	Avril 2002	
De spécifications, de travaux et de contrôles	« Rév » NF P 95-103 : Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - Traitement des fissures et protection du béton – Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.	Juin 1993	Marchés, travaux et contrôles
	NF P 95-104 : Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - Spécifications relatives à la technique de précontrainte additionnelle.	Décembre 1992	

Tableau n° 1 : normes de la série NF P 95-1**

1.2.3.3 Normes de la série P18-8** relatives aux produits de réparation pour béton

La plupart des normes et fascicules de documentation de cette série ont été supprimés, celles et ceux qui n'ont pas d'équivalence européenne restent en vigueur. Elles figurent dans le tableau ci-après.

Les normes conservées sont incorporées dans le nouveau référentiel de la **Marque NF – produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique**.

Type de norme	Normes de produits et d'essais	Date de publication	Observations
De spécifications	NF P 18-807 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique - Produits à base de liants hydrauliques ou de résines synthétiques - Perte au feu à + 450 degrés Celsius et teneur en cendres à + 950 degrés Celsius.	Novembre 1989	Marchés, et contrôles
	XP P 18-808 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits à base de liants hydrauliques ou de résines synthétiques - Analyse minéralogique et composition potentielle selon Bogue.	Avril 1993	
	NF P 18-810 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique - Produits à base de liants hydrauliques ou de résines synthétiques - Détermination de la Durée Pratique d'Utilisation (DPU).	Septembre 1989 la DPU diffère du temps ouvert (NF EN 12189)	
	XP P 18-811 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique - Produits à base de liants hydrauliques ou de résines synthétiques - Préparation d'un échantillon pour essai.	Octobre 1992	

Type de norme	Normes de produits et d'essais	Date de publication	Observations
Produits de calage et de scellement			
De spécifications	«Rév» XP P 18-821 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits de calage et de scellement à base de liants hydrauliques – Caractères normalisés et garantis.	Septembre 1993	Marchés, et contrôles
	«Rév» XP P 18-822 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits de calage et de scellement à base de résines synthétiques – Caractères normalisés et garantis.	Septembre 1993	
De conception	«Rév» FD P 18-823 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits de scellement à base de liants hydrauliques ou de résines synthétiques – Recommandations pour le dimensionnement des scellements de barres d'armature dans le béton.	Juin 2004	Marchés, et contrôles
De performances (1)	XP P 18-832 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits de calage à base de liants hydrauliques – Essai d'aptitude à la mise en place.	Octobre 1992	Marchés, travaux et contrôles
	XP P 18-833 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits de calage à base de résines de synthèse – Essai d'aptitude à la mise en place.	Octobre 1992	
	XP P 18-834 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits de calage à base de liants hydrauliques – Essai de ressuage en milieu confiné.	Octobre 1992	
	XP P 18-835 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits de calage à base de résines de synthèse – Essai de fluage en compression à + 23 degrés Celsius et + 70 degrés Celsius.	Avril 1993	
	XP P 18-837 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits de calage et/ou scellement à base de résines synthétiques – Essai de tenue à l'eau de mer et/ou à l'eau à haute teneur en sulfate.	Avril 1993	
Produits de réparation de surface			
De performances (1)	XP P 18-851 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits ou systèmes de produits à base de résines synthétiques ou de liants hydrauliques destinés aux réparations de surface du béton durci – Essai de flexion sur éprouvette évidée et reconstituée.	Novembre 1992	contrôles
	XP P 18-852 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits ou systèmes de produits à base de résines synthétiques ou de liants hydrauliques destinés aux réparations de surface du béton durci – Essai d'adhérence par traction sur dalle support à surface sciée.	Avril 1993	
	XP P 18-855 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits ou systèmes de produits à base de résines synthétiques ou de liants hydrauliques destinés aux réparations de surface du béton durci – Essai de perméabilité aux liquides sur éprouvettes à surface sciée.	Novembre 1992	
	XP P 18-856 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits ou systèmes de produits à base de résines synthétiques ou de liants hydrauliques destinés aux réparations de surface du béton durci – Essai de tenue aux rayonnements ultra-violet.	Avril 1993	
Produits de collage			
De performances (1)	XP P 18-871 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits pour collage structural entre deux éléments de béton – Essai de traction directe sur cylindre scié et reconstitué.	Décembre 1993	contrôles
	XP P 18-874 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits pour collage structural entre deux éléments de béton – Essai de détermination du temps limite d'assemblage.	Juillet 1989	

Type de norme	Normes de produits et d'essais	Date de publication	Observations
Produits d'injection			
De performances (1)	XP P 18-893 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits à base de résines synthétiques pour injection dans des structures en béton - Essai de fragilité au choc.	Octobre 1992	contrôles
	XP P 18-894 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits à base de résines synthétiques ou de liants hydrauliques pour injection dans des structures en béton - Essai d'adhérence avec ou sans cycles thermiques.	Juillet 1993	
	XP P 18-895 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits à base de résines synthétiques ou de liants hydrauliques pour injection dans des structures en béton - Essai de vieillissement de l'adhérence par fatigue mécanique.	Juillet 1993	
	XP P 18-896 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits à base de résines synthétiques pour injection dans des structures en béton - Essai de retrait de polymérisation.	Avril 1993	
	XP P 18-897 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – Produits à base de résines synthétiques pour injection dans des structures en béton - Essai de tenue de l'adhérence sous circulation d'eau.	Novembre 1994	

Tableau n° 2 : normes de la série P 18-8** encore en vigueur

NOTA : (1) les essais de performance servent également à la sélection des produits.

1.2.3.4 Normes françaises relatives aux travaux de bâtiment (DTU)

Type de norme	DTU	Normes d'exécution	Date de publication	Observations
De spécifications, de travaux et de contrôles	21	NF P 18-201 : Travaux de bâtiment – Exécution des ouvrages en béton - Cahier des clauses techniques.	Mars 2004	Marchés, travaux et contrôles

Tableau n° 3 : liste des DTU

1.2.3.5 Textes français (fascicules de documentation, guides d'emploi et normes) relatifs aux réparations des bétons

1.2.3.5.1 Fascicules de documentation et guides d'emploi

Type de document	Fascicules de documentation et guides	Date de publication	Observations
De spécifications et de contrôles	FD P 18-503 : Surfaces et parements du béton – éléments d'identification.	Novembre 1999	Marchés, travaux et contrôles
	NF L 00-015 : Aéronautique et espace – Management et assurance de la qualité – déclaration de conformité.	Décembre 1997	

Tableau n° 4 : fascicules de documentation et guides

1.2.3.5.2 Normes de produits et matériaux

Type de norme	Normes de produits et matériaux	Date de publication	Observations
	Normes liants hydrauliques		Voir aussi les normes européennes.
De spécifications et de contrôles	NF P 15-300 à 15-319 : diverses normes relatives aux ciments.	Entre 1964 à 2006	Marchés, travaux et contrôles
	Normes armatures de béton armé		Voir aussi les normes européennes.
De spécifications et de contrôles	FD A 35-029 : Armatures pour béton armé – Assemblages soudés – Qualification d'un mode opératoire de soudage – Qualification des soudeurs.	Septembre 1999	Marchés, travaux et contrôles
	NF A 09-202 : Essais non destructifs – Principes généraux de l'examen radiologique, avec l'aide de rayons X et gamma, des matériaux béton, béton armé et béton précontraint.	Décembre 1999	

Tableau n° 5 : normes françaises de produits et matériaux

1.2.3.5.3 Normes d'identification ou d'essai

Type de norme	Normes d'identification et d'essai	Date de publication	Observations
Normes peintures et revêtements			
De performances (1)	NF T 30-121 : Peintures – Détermination de l'épaisseur du feuil sec – méthode du micromètre.	Août 1974	contrôles
	NF T 30-122 : Peintures – Détermination de l'épaisseur du feuil sec – méthode du comparateur.	Août 1974	
	NF T 30-123 : Peintures – Détermination de l'épaisseur du feuil sec – méthodes du microscope.	Août 1974	
	NF T 30-124 : Peintures – Détermination de l'épaisseur du feuil sec – méthode non destructive à flux magnétique.	Décembre 1991	
	NF T 30-125 : Peintures – Détermination de l'épaisseur du feuil frais.	Août 1974	
Normes béton			
De performances (1)	NF P 18-424 : Béton – Essai de gel sur béton durci – Gel dans l'eau - Dégel dans l'eau	Mai 2008	contrôles

Tableau n° 6 : normes d'identification et d'essai

NOTA : (1) les essais de performance servent également à la sélection des produits.

1.2.3.6 Textes d'origine européenne (fascicules de documentation, guides d'emploi et normes) relatifs aux réparations des bétons

1.2.3.6.1 Fascicules de documentation et guides d'emploi (pm)

Type de document	Fascicules de documentation et guides	Date de publication	Observations
------------------	---------------------------------------	---------------------	--------------

Tableau n° 7 : fascicules de documentation et guides d'emploi

1.2.3.6.2 Normes de produits, matériaux, fabrication et d'exécution

Type de norme	Normes de produits, de matériaux, de fabrication et d'exécution	Date de publication	Observations
Normes liants hydrauliques			
De spécifications et de contrôles	NF EN 197-1 : Ciments – Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.	Février 2001	Marchés, travaux et contrôles
	NF EN 413-1 : Ciment à maçonner – Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.	Décembre 2004	
	NF EN 459-1 : Chaux de construction – Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.	Octobre 2002	
Normes bétons			
De spécifications, de fabrication et de contrôles	NF EN 206-1 : Béton - Partie 1 : spécification, performances, production et conformité.	Avril 2004	Marchés, travaux et contrôles
Norme exécution des ouvrages en béton			
De travaux et de contrôles	PrNF EN 13670-1 : Exécution des ouvrages en béton – Partie 1 : tronc commun et document d'application nationale.	Novembre 2002 Non opérationnelle	Marchés, travaux et contrôles
Normes béton projeté			
De spécifications et de contrôles	NF EN 14487-1 : Béton projeté – Partie 2 : définition, spécification et conformité.	Mars 2006	Marchés, travaux et contrôles
De travaux et de contrôles	NF EN 14487-2 : Béton projeté – Partie 1 : exécution.	Août 2007	

Tableau n° 8 : documents européens et internationaux

1.2.3.6.3 Normes d'identification et d'essai

Type de norme	Normes d'identification et d'essai	Date de publication	Observations
Normes liants hydrauliques			
De performances (1)	NF EN 196-1 : Méthodes d'essai des ciments Partie 1 : détermination des résistances mécaniques.	Avril 2006	contrôles
	NF EN 196-2 : Méthodes d'essai des ciments Partie 1 : analyse chimique des ciments.	Avril 2006	
	NF EN 196-3 : Méthodes d'essai des ciments Partie 3 : détermination du temps de prise et de la stabilité.	Avril 2006	
	NF EN 196-6 : Méthodes d'essai des ciments Partie 6 : détermination de la finesse.	Avril 2006	
	NF EN 196-7 : Méthodes d'essai des ciments Partie 7 : méthode de prélèvement et d'échantillonnage du ciment.	Avril 2006	
Normes mortiers			
De performances (1)	NF EN 1015-4 : Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie Partie 4 : détermination de la consistance des mortiers frais.	Octobre 1999	contrôles
	NF EN 1015-6 : Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie Partie 6 : détermination de la masse volumique apparente du mortier frais.	Octobre 1999	
Normes produits de réparation			
De performances (1)	NF EN 1542 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Mesurage de l'adhérence par traction directe.	Juillet 1999	contrôles
	PrNF EN 1544 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Mesure du fluage en traction maintenue des produits à base de résines synthétiques (PC) pour le scellement d'ancrage des barres d'armature.	Mars 2007	
	NF EN 1766 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Bétons de référence pour essais.	Mars 2000	
	NF EN 1767 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Analyse par spectrométrie infrarouge.	Août 1999	
	NF EN 1770 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais.	Juin 1998	
	NF EN 1771 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Détermination de l'injectabilité et essai de fendage.	Janvier 2005	
	NF EN 1799 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Essais de détermination de l'aptitude à l'emploi des colles structurales à appliquer sur les surfaces en béton.	Février 1999	
	NF EN 1881 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Essai des produits de scellement d'ancrage par la méthode de l'arrachement.	Juillet 2007 Ne précise pas l'âge du produit durci au moment de l'essai	
	NF EN 1015-6 : Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie Partie 6 : détermination de la masse volumique apparente du mortier frais.	Octobre 1999 et mars 2007	
	NF EN 12188 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Détermination de l'adhérence acier sur acier pour la caractérisation des produits de collage.	Septembre 1999	
	NF EN 12189 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Détermination du temps ouvert (produits de collage).	Août 1999 Le temps ouvert diffère de la DPU (NF P 18-810)	
	NF EN 12190 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Détermination de la résistance à la compression des mortiers de réparation.	Décembre 1998	

Type de norme	Normes d'identification et d'essai	Date de publication	Observations
Normes analyses granulométriques			
De performances (1)	NF EN 12192-1 : Produits – Analyse granulométrique – Partie 1 : méthode d'essai applicable aux composants secs des mortiers prêts à l'emploi.	Août 2002	contrôles
	NF EN 12192-2 : Produits – Analyse granulométrique – Partie 2 : méthode d'essai pour les charges de produits de collage structuraux à base de polymères.	Juillet 1999	
Normes bétons frais et durcis			
De performances (1)	NF EN 12350-1 : Essai pour béton frais – Partie 1 : échantillonnage.	Décembre 1999	contrôles
	NF EN 12350-2 : Essai pour béton frais – Partie 2 : essai d'affaissement.	Décembre 1999	
Normes bétons durcis			
De performances (1)	NF EN 12390-1 : Essai pour béton durci – Partie 1 : formes, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules.	Octobre 2001	contrôles
	NF EN 12390-2 : Essai pour béton durci – Partie 2 : confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance.	Octobre 2001	
	NF EN 12390-3 : Essai pour béton durci Partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes.	Février 2003	
	NF EN 12390-4 : Essai pour béton durci – Partie 4 : résistance en compression. Caractéristiques des machines d'essai.	Août 2000	
	NF EN 12390-5 : Essai pour béton durci Partie 5 : résistance à la flexion sur éprouvettes.	Octobre 2001	
	NF EN 12390-6 : Essai pour béton durci Partie 6 : résistance à la traction par fendage d'éprouvettes.	Octobre 2001	
	NF EN 12390-7 : Essai pour béton durci Partie 7 : masse volumique du béton.	Septembre 2001	
	NF EN 12390-8 : Essai pour béton durci Partie 8 : profondeur de pénétration d'eau sous pression.	Octobre 2001	
	NF EN 12504-1 : Essais pour béton dans les structures Partie 1 : carottes – Prélèvement, examen et essais en compression.	Août 2000	
	NF EN 12504-2 : Essais pour béton dans les structures Partie 2 : essais non destructifs – Détermination de l'indice de rebondissement. (scléromètre)	Février 2003	
	NF EN 12504-3 : Essais pour béton dans les structures Partie 3 : détermination de la force d'arrachement.	Juin 2005	
NF EN 12504-4 : Essais pour béton dans les structures Partie 4 : détermination de la vitesse de propagation du son.	Mai 2005		

Type de norme	Normes d'identification et d'essai	Date de publication	Observations
Normes produits de réparation (suite)			
De performances (1)	NF EN 12614 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Détermination de la température de transition vitreuse des polymères.	Avril 2005	contrôles
	NF EN 12615 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Détermination de la résistance au cisaillement.	Septembre 1999	
	NF EN 12617-1 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Partie 1 : détermination du retrait linéaire des polymères et systèmes de protection de surface (SPS).	Octobre 2003	
	NF EN 12617-2 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Partie 2 : retrait des produits d'injection pour fissures formulés avec des polymères : retrait volumétrique.	Janvier 2005	
	NF EN 12617-3 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Partie 3 : détermination du retrait linéaires au jeune âge pour les produits de collage structural.	Janvier 2003	
	NF EN 12618-2 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Partie 2 : détermination de l'adhérence des produits d'injection après cycles thermiques ou non – Adhérence par résistance en traction.	Février 2005	
	NF EN 12618-3 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Partie 3 : détermination de l'adhérence – Méthode par cisaillement oblique.	Avril 2005	
	NF EN 12636 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Détermination de l'adhérence béton sur béton.	Septembre 1999	
	NF EN 13062 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Détermination de la thixotropie des produits de protection des armatures.	Octobre 2003	
	NF EN 13294 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Temps de raidissement.	Décembre 2002	
	NF EN 13395-1 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Détermination de l'ouvrabilité – Partie 1 : essai d'écoulement des mortiers thixotropes.	Décembre 2002	
	NF EN 13395-2 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Détermination de l'ouvrabilité – Partie 2 : essai d'écoulement des mortiers et coulis.	Décembre 2002	
	NF EN 13395-3 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Détermination de l'ouvrabilité – Partie 3 : essai d'écoulement du béton de réparation.	Décembre 2002	
	NF EN 13395-4 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Détermination de l'ouvrabilité – Partie 4 : application de mortier de réparation en sous-face.	Décembre 2002	
	NF EN 13412 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais – Détermination du module d'élasticité en compression.	Décembre 2002	
	NF EN 13687-5 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essai - Détermination de la compatibilité thermique - Partie 5 : résistance au choc de température.	Décembre 2002	
	NF EN 13733 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essai - Détermination de la durabilité des produits de collage structural.	Décembre 2002	
NF EN 13894-1 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essai – Détermination de la fatigue sous charge dynamique – Partie 1 : pendant le durcissement.	Février 2004		

Type de norme	Normes d'identification et d'essai	Date de publication	Observations
Normes produits de réparation (suite)			
De performances (1)	NF EN 13894-2 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essai – Détermination de la fatigue sous charge dynamique – Partie 2 : après durcissement.	Avril 2003	contrôles
	NF EN 14117 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essai – Détermination du temps d'écoulement des produits d'injection à base de ciment.	Janvier 2005	
	NF EN 14497 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essai – Détermination de la stabilité de filtration (des produits d'injection à base de ciment).		
	NF EN 14629 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Mesurage du taux de chlorure d'un béton durci.	Juillet 2007	
	NF EN 14630 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Mesurage de la profondeur de carbonatation d'un béton armé par la méthode phénophtaléine.	Février 2007	

Tableau n° 9 : normes d'identification et d'essai

NOTE : (1) les essais de performance servent également à la sélection des produits.

1.2.4 AGRÉMENTS TECHNIQUES EUROPÉENS

Le règlement **GATE 001** ou «**ETAG 001**» : *Metal anchors for use in concrete* (août 2003) traite des chevilles d'ancrage métalliques pour le béton. Sa partie 5 concerne les chevilles scellées au moyen de mortiers de scellement y compris le scellement de barres de béton armé.

Les ATE en vigueur sont consultables sur le site www.dpcnet.org.

1.2.5

NORMES ISO DE PRODUITS, DE MATÉRIAUX
ET D'ESSAIS

Type de norme	Normes de produits, de matériaux, de fabrication et d'exécution	Date de publication	Observations
Normes produits de réparation (suite)			
De performances (1)	NF EN ISO 178 : Plastiques – Détermination des propriétés en flexion.	Mai 2003	contrôles
	NF EN ISO 527-1 : Plastiques – Détermination des propriétés en traction Partie 1 : principes généraux.	Mars 1996	
	NF EN ISO 604 : Plastiques – Détermination des propriétés en compression.	Février 2004	
	NF EN ISO 868 : Plastiques et ébonite – Détermination de la dureté par pénétration au moyen d'un duromètre (dureté Shore).	Mars 2003	
	NF EN ISO 2808 : Peintures et vernis – détermination de l'épaisseur du feuil.	Avril 2007	
	NF EN ISO 2811-1 : Peintures et vernis – Détermination de la masse volumique – Partie 1 : méthode pycnométrique.	Novembre 2001	
	NF EN ISO 2811-2 : Peintures et vernis – Détermination de la masse volumique – Partie 2 : méthode par immersion d'un corps (plongeur).	Novembre 2001	
	NF EN ISO 3219 : Plastiques – Polymères/résines à l'état liquide, en émulsion ou dispersion – Détermination de la viscosité au moyen d'un viscosimètre rotatif à gradient de vitesse.	Novembre 1994	
	NF EN ISO 3274 : Spécification géométrique des produits (GPS) – État de surface : méthode du profil – Caractéristiques nominales des appareils de contact (palpeur).	Décembre 1996	
	NF EN ISO 3451-1 : Plastiques – Détermination du taux de cendres – Partie 1 : méthodes générales.	Novembre 2008	
	NF EN ISO 4288 : Spécification géométrique de produits (GPS) – État de surface : méthode du profil – Règles de procédures pour l'évaluation de l'état de surface.	Mars 1998	
	ISO 4677-1 : Atmosphère de conditionnement et d'essai - Détermination de l'humidité relative – Partie 1 : méthode utilisant un psychromètre à aspiration.	Octobre 1985	
	ISO 4677-2 : Atmosphère de conditionnement et d'essai - Détermination de l'humidité relative – Partie 2 : méthode utilisant un psychromètre fronde.	Octobre 1985	
	NF EN ISO 8501-1 : préparation des subjectiles en acier avant application de peinture et produits assimilés – Partie 1 : degrés de rouille et degrés de préparation des subjectiles d'acier non recouverts et des subjectiles d'acier après décapage sur toute la surface des revêtements précédents.	Septembre 2007	
	NF EN ISO 9514 : Peintures et vernis – Détermination du délai maximal d'utilisation après mélange des systèmes de revêtements multicomposants – Préparation et conditionnement des échantillons et lignes directrices pour les essais (durée de vie en pot).	Octobre 2005	
	NF EN ISO 11358 : Plastiques –Thermogravimétrie (TG) des polymères – Principes généraux.	Juillet 1997	
NF EN ISO 17660-1 : Soudage des aciers d'armatures Partie 1 : assemblages transmettant des efforts.	Décembre 2008		
NF EN ISO 17660-2 : Soudage des aciers d'armatures Partie 2 : assemblages non transmettants.	Décembre 2008		

Tableau n° 10 : normes ISO

NOTA : (1) les essais de performance servent également à la sélection des produits

1.2.6 MÉTHODES D'ESSAI DIVERSES

Type de document	Recommandations	Date de publication	Observations
Normes produits de réparation (suite)			
De performances (1)	ASTM (C876-91) : Mesure du potentiel d'électrode.	1991	contrôles
	RILEM (TC 154-EMC) : Mesure du potentiel d'électrode.	Novembre 2004	

Tableau n° 11 : recommandations

1.2.7 MARQUE NF– PRODUITS SPÉCIAUX DESTINÉS AUX CONSTRUCTIONS EN BÉTON HYDRAULIQUE

> **Cette Marque NF recouvre quasiment l'ensemble des produits de réparation du béton relevant des normes de la série NF EN 1504-** et des normes encore en vigueur de la série P 18-8**. Elle garantit :**

- la conformité du produit certifié aux exigences de la norme de spécifications (les caractères normalisés garantis) à laquelle elle se réfère ;
- l'existence, dans la chaîne de production et de distribution, d'une organisation de la qualité reconnue.

Pour de plus amples détails, il faut se référer **au règlement de la marque référencé NF 030**. Le site de l'**AFNOR** donne la liste des produits de réparation admis à la marque.

> **Rappels :**

- les caractères normalisés peuvent comporter plusieurs niveaux ou classes de performance... Les valeurs correspondantes figurent obligatoirement dans la notice technique du produit et peuvent figurer sur l'étiquette de marquage ;
- **la marque NF** peut se superposer à **un marquage CE** si le produit satisfait à des exigences supplémentaires ou à une organisation de la qualité plus élevée que celle fixée par la norme européenne.

REMARQUE : à ce jour, **la marque NF** ne traite pas des produits et systèmes pour la protection des bétons.



Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles

2

Fascicules du CCTG

| [Retour au sommaire](#) |

| Béton Maçonnerie | Réparation et renforcement des structures **par armatures passives additionnelles** |

UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / NOVEMBRE 2011

323

Fascicules	Observations
Fascicule 65 du CCTG : Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou en béton précontraint par post-tension.	Marchés, travaux et contrôles
Fascicule 62 titre I section 1 du CCTG : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites - BAEL 91 révisé 99	
Fascicule 62 titre I section 2 du CCTG : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites - BPEL 91 révisé 99	

Tableau n° 12 : fascicules du CCTG

Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles

3

Directives, guides, recommandations
et documents techniques

|| [Retour au sommaire](#) ||

|| Béton Maçonnerie | Réparation et renforcement des structures **par armatures passives additionnelles** |

UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / NOVEMBRE 2011

325

Directives, guides, recommandations et documents techniques	Date de publication	Observations
Guide technique LCPC : Défauts d'aspect des parements en béton.	1er trimestre 1991	(Cf. FD P 18-503)
Guide Séttra, SNCF, TP de France et SNBATI : Mise en œuvre des Plans d'Assurance de la Qualité – Exécution des ouvrages en béton armé et en béton précontraint	Décembre 1991	
Recommandations du Séttra de 1993 : Marchés pour la réparation et la modification d'ouvrages d'art – Préparation et rédaction.	Février 1993	
Guide technique LCPC-Séttra : Choix et application des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton.	Août 1996	
Recommandations professionnelles pour l'exécution des reprises de bétonnage mises au point par le CEBTP, la FFB et le Séttra – Annales du bâtiment et des travaux publics N°1.	Février 2001	Recommandations visées par le DTU 21 et le fascicule 65
Guide de rédaction d'un PAQ - Plan d'Assurance Qualité – STRRES.	Septembre 2000	
Guide technique LCPC : Protection des bétons par application de produits à la surface du parement.	Décembre 2002	
Documents scientifiques et techniques de l'AFGC : Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion.	Novembre 2003	
Documents scientifiques et techniques de l'AFGC : Recommandations provisoires pour la réparation et le renforcement des structures en béton au moyen de matériaux composites.	Juin 2007 et février 2011	
ACI 440.1R-06: Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars (February 10, 2006)	10 février 2006	
Guide for the Design and Construction of Concrete Structure Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars (draft 25/05/2007 de l'Italian National Research Council (CNR-DT 203/2006)	25 mai 2007	

Tableau n° 13 : Directives, guides, recommandations et documents techniques

Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles

4

Documents divers



| [Retour au sommaire](#) |

| Béton Maçonnerie | Réparation et renforcement des structures **par armatures passives additionnelles** |

UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / NOVEMBRE 2011

327

Documents divers	Observations
Directive Produits de Construction 89/106/CEE du 21 décembre 1988 modifiée par la Directive 93/68/CEE du 22 juillet 1993.	www.dpcnet.org (Réglementation Européenne des Produits de Construction)
Décret 2002-540 du 18 avril 2002 : classification des déchets.	J O du 20 avril 2002
Arrêté du 21 novembre 2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement.	J O du 31 décembre 2002
Arrêté du 22 mars 2004 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages.	J O du 1er avril 2004
Arrêtés ministériels du 20 avril 1994, modifié par les arrêtés du 7 janvier 1997 et du 4 août 2005 (transposition de la directive 2004/73/CE du 29 avril 2004. Ces arrêtés sont relatifs à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses.	J O n°107 du 8 mai 1994 et J O n°186 du 11 août 2005 (J O C E n°42 du 30 avril 2004 pour la directive)

Tableau n° 14 : documents divers



Le comité de pilotage du guide «Réparation et renforcement de structures par armatures passives additionnelles» [FABEM 7] était composé de :

Christian TRIDON ,	président du STRRES
Bernard FARGEOT ,	président d'honneur du STRRES
Hubert LABONNE ,	vice-président d'honneur du STRRES
Gil CHARTIER ,	RCA
Gérard COLLE ,	COFEX LITTORAL
Jean-Pierre GADRET ,	SOLETANCHE BACHY
Christian TOURNEUR ,	FREYSSINET
Jacky SEANTIER ,	FREYSSINET
Yvon GICQUEL ,	SIKA
Eric HOUEL ,	PAREXLANKO
Claude RESSE ,	ASQUAPRO
Alain BOUINEAU ,	expert
Michel FRAGNET ,	expert
Yves PICARD ,	expert

Le guide FABEM 7 a été rédigé par :
Daniel POINEAU (expert)

Ce document a été réalisé avec le concours
de la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP)
et de la Fédération Française du bâtiment (FFB)

