



OUVRAGES DE MAÇONNERIE

juin 2006

- FASCICULE TECHNIQUE
- CAHIER DES CLAUSES
TECHNIQUES PARTICULIÈRES
- MODE DE MÉTRÉ
- BORDEREAU DE PRIX UNITAIRE

MINISTERE DE LA CULTURE ET DE LA COMMUNICATION
DIRECTION DE L'ARCHITECTURE ET DU PATRIMOINE

OUVRAGES DE MAÇONNERIE

Juin 2006

Sous-direction des monuments historiques et des espaces protégés
Mission ingénierie et références techniques

Le présent document a été actualisé par la mission ingénierie et références techniques de la sous-direction des monuments historiques et des espaces protégés en collaboration avec :

Les conservateurs régionaux des monuments historiques représentés par,

Monsieur Jacques PHILIPPON

Les ingénieurs des services culturels et du patrimoine représentés par,

Madame Elisabeth MOURLON-DRUOL, SDAP de Paris

Monsieur Franck TETART, CRMH Ile-de-France

Le laboratoire de recherche des monuments historiques représenté par,

Monsieur Philippe BROMBLET

Madame Véronique VERGES-BELMIN

Madame Elisabeth MARIE-VICTOIRE

La compagnie des architectes en chef des monuments historiques représentée par,

Monsieur Christophe BOTTINEAU

Les architectes du patrimoine représenté par,

Madame Florence BABICS

Le groupement des vérificateurs des monuments historiques représenté par,

Monsieur Jacques DESMARQUEST

L'école d'Avignon représentée par,

Monsieur Patrice MOROT-SIR

Le groupement français des entreprises de restauration des MH représenté par,

Monsieur Alain DECOUSU

La confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment représentée par,

Monsieur André MOLLARD

L'association française de normalisation représentée par,

Madame Claude PATROUILLEAU

Le centre d'expertise du bâtiment et de travaux publics représenté par,

Madame Annie COQUILLAT

SOMMAIRE

LIVRE I - FASCICULE TECHNIQUE.....	11
CHAPITRE 1 - OBJET DU PRÉSENT DOCUMENT.....	13
CHAPITRE 2 - TERMINOLOGIE.....	13
CHAPITRE 3 - DOCUMENTS TECHNIQUES CONTRACTUELS.....	15
3.1 - Les documents normatifs applicables aux marchés de travaux de bâtiment (DTU).....	15
3.2 - Les recommandations professionnelles provisoires.....	18
CHAPITRE 4 - OUVRAGES DE TERRASSEMENT.....	19
4.1 - Objet du présent chapitre.....	19
4.2 - Dispositions relatives à la sécurité.....	19
4.3 - Dispositions particulières relatives aux fouilles archéologiques.....	19
4.3.1 - Généralités.....	19
4.3.2 - Recherche archéologique dans le cadre d'une étude préalable.....	20
4.3.3 - Organisation du programme.....	20
4.3.4 - Déroulement de l'opération.....	20
4.4 - Prestations annexes.....	20
4.5 - Autorisations administratives.....	21
CHAPITRE 5 - OUVRAGES D'ASSÈCHEMENT - DRAINAGE DES MAÇONNERIES.....	23
5.1 - Objet du présent chapitre.....	23
5.2 - Généralités.....	23
5.3 - Méthode de diagnostic.....	23
5.4 - Techniques à mettre en œuvre suivant le type d'humidité.....	24
5.4.1 - Techniques pour lutter contre l'humidité ascensionnelle en provenance du sol.....	24
5.4.2 - Techniques pour lutter contre les pénétrations d'eau de pluie.....	24
5.4.3 - Techniques pour lutter contre les condensations.....	25
5.4.4 - Techniques pour solutionner les problèmes liés à la présence de sels.....	25
CHAPITRE 6 - DÉFINITIONS ET QUALITÉS DES MATÉRIAUX CONSTITUANT LES MORTIERS.....	27
6.1 - Liants.....	27
6.1.1 - Chaux.....	27
6.1.2 - Plâtres.....	28
6.1.3 - Ciments.....	28
6.1.4 - Ciments à maçonner.....	29
6.2 - Granulats – (Agrégats).....	29
6.2.1 - Terminologie, définition.....	29
6.2.2 - Classification, provenance.....	30
6.2.3 - Propriétés.....	30
6.2.4 - Granulats particuliers.....	30
6.3 - Eau.....	31
6.3.1 - Définition, rôle.....	31
6.3.2 - Propriétés.....	31
6.4 - Produits d'ajouts.....	31
6.4.1 - Granulats aux réactions pouzzolaniques.....	31
6.4.2 - Les pigments.....	31
6.4.3 - Les armatures.....	31
6.5 - Produits adjuvants.....	31
6.5.1 - Amélioration des propriétés de mise en œuvre.....	32
6.5.2 - Amélioration des propriétés des mortiers.....	32

6.6 - Matériaux non normalisés.....	32
CHAPITRE 7 - SPÉCIFICATIONS AUXQUELLES LES MOELLONS DOIVENT SATISFAIRE.....	33
7.1 - Présentation d'échantillons.....	33
7.2 - Provenance.....	33
7.3 - Aspect.....	33
7.4 - Caractéristiques physiques.....	33
7.5 - Teneur en eau de livraison.....	34
7.6 - Contrôle avant commande de la qualité des moellons.....	34
7.7 - Contrôle de la qualité des moellons.....	34
7.7.1 - Provenance.....	34
7.7.2 - Aspect.....	34
7.7.3 - Caractéristiques physiques.....	34
7.7.4 - Teneur en eau.....	35
7.7.5 - Prise en charge et nombre de contrôle.....	35
7.8 - Caractéristiques géométriques.....	35
CHAPITRE 8 - MONTAGE DES MURS EN MOELLONS.....	37
8.1 - Travaux préparatoires.....	37
8.2 - Mode de pose des moellons à bain soufflant.....	37
8.3 - Jointoiement.....	37
8.4 - Surface de référence ou surface témoin.....	38
CHAPITRE 9 - DESSALEMENT DES MAÇONNERIES.....	39
9.1 - Note générale.....	39
9.2 - Méthodes alternatives.....	39
9.2.1 - Contrôle de l'environnement atmosphérique.....	40
9.2.2 - Inactivation par insolubilisation.....	40
9.3 - Méthodes de dessalement.....	40
9.3.1 - Élimination mécanique à sec.....	40
9.3.2 - Méthode des compressees.....	40
CHAPITRE 10 - REJOINTOIEMENT DES OUVRAGES DE MAÇONNERIE	45
10.1 - Prescriptions générales communes à tous les rejointoiements.....	45
10.2 - Conditions climatiques.....	45
10.3 - Préparation des supports destinés à recevoir un rejointoiement :	45
10.4 - Données à connaître sur l'état existant du support et des joints anciens en vue de la réfection partielle ou totale du rejointoiement.....	46
10.5 - Compositions des mortiers.....	46
10.6 - Exécution des rejointoiements.....	46
CHAPITRE 11 - ENDUITS - DESCRIPTION ET PRÉPARATION DE L'ÉTAT EXISTANT ET DU SUPPORT....	49
11.1 - Prescriptions générales.....	49
11.2 - Piochement d'anciens enduits (total ou partiel).....	50
11.2.1 - Règles de construction - Normes - DTU.....	50
11.3 - Préparation des supports en brique destinés à recevoir un enduit.....	50
11.4 - Préparation des supports en moellons destinés à recevoir un enduit.....	50
11.5 - Données à connaître sur l'état existant du support.....	50
11.5.1 - Données à connaître en vue de la consolidation d'un enduit ancien altéré.....	50
11.5.2 - Données à connaître en vue de la réfection partielle d'un enduit ancien lacunaire.....	51
11.5.3 - Données à connaître en vue de la réfection totale d'un enduit.....	51
CHAPITRE 12 - RESTAURATION DES ENDUITS.....	53
12.1 - Consolidation.....	53
12.2 - Traitements de surface.....	54
12.2.1 - Note générale.....	54
12.2.2 - Patines.....	54

12.2.3 - Badigeon de chaux.....	54
12.2.4 - Traitement biocide.....	55
12.2.5 - Antigraffiti.....	56
12.3 - Vérification de la consolidation de l'enduit ancien.....	58
CHAPITRE 13 - ENDUITS À NEUF ET RÉFECTION PARTIELLE DES ENDUITS.....	59
13.1 - Prescriptions générales communes à tous les enduits.....	59
13.1.1 - Prescriptions générales.....	59
13.1.2 - Dosages en liant.....	59
13.1.3 - Conditions climatiques.....	59
13.1.4 - Protection haute.....	59
13.1.5 - Mise en œuvre.....	60
13.1.6 - Chaîne d'angle et percements.....	60
13.1.7 - Joints.....	60
13.1.8 - Jonction maçonnerie de remplissage enduite - élément d'ossature.....	60
13.1.9 - Protection des enduits frais et jeunes.....	60
13.1.10 - Les enduits intérieurs.....	60
13.2 - Exécution des enduits à trois couches.....	60
13.2.1 - Composition des mortiers.....	61
13.2.2 - Exécution de la première couche d'enduit ou gobetis ou couche d'accrochage.....	61
13.2.3 - Exécution de la deuxième couche ou corps d'enduit ou dégrossis.....	61
13.2.4 - Finitions d'enduits.....	62
13.3 - Exécution des enduits à deux couches.....	63
13.3.1 - Exécution de la première couche ou corps d'enduit ou dégrossis.....	63
13.3.2 - Exécution de la deuxième couche ou couche de finition.....	63
13.4 - Enduits aux mortiers de plâtre et de chaux.....	63
13.4.1 - Les techniques.....	63
13.4.2 - Composition du mortier.....	63
13.4.3 - Maçonneries hétérogènes - Armature d'enduit.....	64
13.4.4 - Fers mis à nu.....	65
13.4.5 - Exécution des enduits.....	65
13.4.6 - Finition.....	66
13.4.7 - Protection des enduits.....	66
13.5 - « Enduit préfabriqué manufacturé et d'assainissement ».....	66
13.6 - Enduit au mortier de chaux nhl 3.5 sur support base plâtre.....	67
13.6.1 - Les techniques.....	67
13.6.2 - Matériaux.....	67
13.6.3 - Composition du mortier conforme aux enduits.....	67
13.6.4 - Exécution des enduits.....	68
13.7 - Contrôle de la qualité des enduits exécutés.....	68
CHAPITRE 14 - LAIT DE CHAUX - BADIGEON.....	71
14.1 - Terminologie, définition.....	71
14.2 - Matériaux.....	71
14.3 - Supports.....	72
14.4 - Coloration.....	72
14.5 - Techniques de mise en œuvre.....	72
CHAPITRE 15 - CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES PAR INJECTION DE COULIS.....	73
15.1 - Coulis et injection de mortier.....	73
15.1.1 - Objet du présent chapitre.....	74
15.1.2 - Nature des produits constituant les coulis.....	74
15.1.3 - Étude préalable d'injectabilité.....	74
15.1.4 - Vérification du parement et de la base de la maçonnerie avant injection.....	75
15.1.5 - Injection du ou des coulis.....	76
15.1.6 - Contrôle de l'injection.....	76
CHAPITRE 16 - FOURNITURE ET POSE DE CARRELAGE.....	77
CHAPITRE 17 - RÉPARATIONS D'OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ.....	79

17.1 - Objet du présent chapitre.....	79
17.2 - Extraits des normes et textes réglementaires.....	79
17.2.1 - Exigences d'enrobage minimal des armatures.....	79
17.2.2 - Dosage minimal en ciment.....	82
17.2.3 - Teneur maximale en ions-chlorés.....	83
17.3 - Définitions.....	85
17.3.1 - Définitions relatives aux désordres.....	85
17.3.2 - Définitions relatives aux fissures.....	85
17.3.3 - Définitions relatives aux matériaux et aux techniques de réparation.....	86
17.4 - Diagnostic.....	87
17.5 - Produits.....	87
Nature des produits.....	87
17.5.2 - Caractéristiques mécaniques et physico-chimiques des produits les plus utilisés.....	90
17.6 - Ragréage.....	92
17.6.1 - Élimination des bétons dégradés.....	92
17.6.2 - Préparation des armatures.....	92
17.6.3 - Nettoyage des surfaces.....	93
17.6.4 - Produits.....	93
17.6.5 - Préparation des produits.....	94
17.6.6 - Application des produits et matériels de mise en œuvre.....	96
17.7 - Traitement des fissures de structure.....	98
17.7.1 - Choix de la technique et du produit de réparation.....	98
17.7.2 - Préparation des supports et exécution du traitement.....	99
17.8 - Traitement de surface des bétons.....	100
17.9 - Réalcalinisation du béton.....	100
17.9.1 - Opérations préalables.....	101
17.9.2 - Application de la méthode de réalcalinisation.....	101
17.10 - Déchloration du béton.....	103
17.10.1 - Opérations préalables.....	103
17.10.2 - Application de la méthode de réalcalinisation.....	103
CHAPITRE 18 - DÉROGATION AUX DOCUMENTS GÉNÉRAUX.....	107
CHAPITRE 19 - ANNEXES.....	109
19.1 - Emploi des pierres calcaires par temps froid.....	109
19.1.1 - Domaine d'emploi.....	109
19.1.2 - Modalités d'application de la garantie de teneur en eau acceptable.....	110
19.1.3 - Précautions à prendre sur le chantier.....	111
19.2 - Foisonnement des sables.....	112
19.3 - Exemple de dosage des liants pour mortiers.....	114
19.4 - Tableaux.....	115
19.4.1 - Utilisation des tableaux :.....	115
19.4.2 - Analyses Amont.....	115
19.4.3 - Produits utilisés.....	118
19.4.4 - Analyse du résultat obtenu.....	120
LIVRE II - CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES.....	125
CHAPITRE 1 - CLAUSES COMMUNES PROPRES AU CHANTIER.....	129
1.1 - Objet du chantier.....	129
1.2 - Installations communes de chantier.....	129
1.3 - Sujétions liées à l'exploitation de l'édifice.....	130
CHAPITRE 2 - CLAUSES GÉNÉRALES PROPRES AU PRÉSENT LOT.....	131
2.1 - Objet des travaux du présent lot.....	131
2.2 - Documents techniques contractuels.....	131
2.3 - Échafaudages.....	131
2.4 - Sujétions particulières d'exécution des ouvrages.....	131

2.5 - Protection des existants.....	132
2.6 - Dossier des ouvrages exécutés.....	132
CHAPITRE 3 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES DE TERRASSEMENT.....	133
3.1 - Terrassement.....	133
3.2 - Étaisements - Étrésillonnements - Blindages.....	134
3.3 - Mesures de sauvegarde.....	134
3.4 - Objets trouvés dans les fouilles.....	134
3.5 - Démolitions d'ouvrages dans les fouilles.....	134
3.6 - Fouilles par engins mécaniques.....	135
3.7 - Fouilles de puits.....	135
3.8 - Fouilles à potentiel archéologique.....	135
3.9 - Incidences des fouilles archéologiques.....	136
3.10 - Attachements figurés et relevés.....	136
3.11 - Retroussage de sol existant.....	136
3.12 - Fouilles en rigoles.....	137
3.13 - Fouilles en tranchées.....	137
3.14 - Puits.....	137
3.15 - Excavations superficielles.....	137
3.16 - Vidages entre maçonneries.....	137
3.17 - Remblais.....	138
3.18 - Éboulis.....	138
3.19 - Fouilles en présence d'eau.....	138
3.20 - Pompage - épuisements.....	138
3.21 - Évacuation des eaux.....	138
3.22 - Évacuation des vases.....	139
3.23 - Évacuation des déblais.....	139
3.24 - Remise en état des terrains.....	139
CHAPITRE 4 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES DE DÉMOLITIONS ET DÉPOSES.....	141
4.1 - Démolitions.....	141
4.2 - Démolition de maçonnerie.....	141
4.3 - Démolition d'ouvrages importants.....	142
4.4 - Démolition pour dérasement.....	142
4.5 - Démolition pour reprise de maçonnerie.....	142
4.6 - Démolition pour débouchement de baies.....	143
4.7 - Démolition pour percements.....	143
4.8 - Démolition pour tranchées et entailles.....	144
4.9 - Recoupement ou abattage de saillie.....	144
4.10 - Fourniture et mise en place d'éléments métalliques encastrés dans les maçonneries existantes et destinés à rester apparents.....	145
4.11 - Fourniture et mise en place d'éléments métalliques encastrés dans les maçonneries existantes et destinés à être recouverts.....	145
4.12 - Fourniture et mise en place d'éléments en bois encastrés dans les maçonneries existantes et destinés à rester apparents.....	146
4.13 - Fourniture et mise en place d'éléments en bois encastrés dans les maçonneries existantes et destinés à être recouverts.....	147
4.14 - Petits ouvrages dans les maçonneries.....	148
4.15 - Dépose d'ouvrages divers sans conservation.....	148
4.16 - Dépose d'ouvrages divers en conservation.....	149
4.17 - Démolition d'ouvrages horizontaux.....	149
4.18 - Démolition de carrelage en conservation des supports.....	150

4.19 - Dépose de carrelage en conservation.....	150
4.20 - Récupération de matériaux.....	151
CHAPITRE 5 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES D'ASSÈCHEMENT - DRAINAGE DES MAÇONNERIES.....	153
5.1 - Techniques pour lutter contre l'humidité ascensionnelle en provenance du sol.....	154
5.1.1 - Au niveau des maçonneries.....	154
5.1.2 - Dans les dallages.....	154
5.2 - Techniques pour lutter contre les infiltrations d'eau de pluie.....	155
5.3 - Techniques pour lutter contre les condensations.....	155
5.4 - Techniques pour solutionner les problèmes liés à la présence de sels.....	155
CHAPITRE 6 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES EN MOELLONS.....	157
6.1 - Maçonnerie en moellon neuf de pierre.....	157
6.2 - Maçonnerie en moellon vieux de pierre.....	160
6.3 - Rejointoiement sur moellons en œuvre.....	162
6.4 - Rocaillage en moellon neuf de pierre.....	163
6.5 - Rocaillage en moellon vieux de pierre.....	164
6.6 - Relancis en moellon neuf de pierre.....	165
6.7 - Relancis en moellon vieux de pierre.....	166
CHAPITRE 7 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES ENDUITS.....	167
7.1 - Piochement d'anciens enduits.....	167
7.2 - Préparation du support non enduit pour recevoir un enduit.....	168
7.3 - Restauration des enduits.....	168
7.4 - Enduit des zones lacunaires.....	171
7.5 - Enduit au mortier.....	171
7.6 - Enduit au mortier de plâtre et chaux aérienne.....	173
7.7 - Armature d'enduit.....	174
CHAPITRE 8 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES LAIT DE CHAUX - BADIGEON.....	177
8.1 - Débadigeonnage courant.....	177
8.2 - Débadigeonnage sur anciens décors.....	177
8.3 - Badigeon au lait de chaux.....	178
CHAPITRE 9 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES DE CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES PAR INJECTION DE COULIS.....	181
9.1 - Étude d'injectabilité.....	181
9.1.1 - Étude de la maçonnerie.....	182
9.1.2 - Étude du ou des coulis en laboratoire.....	182
9.1.3 - Épreuve de convenance sur chantier.....	182
9.2 - Injection du ou des coulis.....	183
9.2.1 - Vérification du parement et des maçonneries avant injection.....	184
9.2.2 - Confortation interne des maçonneries par injection de coulis.....	186
9.3 - Contrôle de l'injection.....	187
CHAPITRE 10 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES RÉPARATIONS D'OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ.....	189
10.1 - Préparation des surfaces existantes.....	189
10.1.1 - Élimination des bétons dégradés.....	189
10.1.2 - Préparation des armatures.....	190
10.1.3 - Nettoyage des surfaces.....	190
10.2 - Ragréage.....	191
10.3 - Traitement des fissures de structure.....	192
10.3.1 - Injection.....	192
10.3.2 - Calfeutrement.....	193
10.3.3 - Pontage.....	194

10.4 - Réalcalinisation du béton.....	194
10.5 - Déchloration du béton.....	195
CHAPITRE 11 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES HORIZONTAUX.....	199
11.1 - Formes supports des revêtements de sol.....	199
11.2 - Fourniture et pose de carrelage.....	200
CHAPITRE 12 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES DIVERS.....	203
12.1 - Calfeutrement de vitraux.....	203
12.2 - Évacuation des gravois aux décharges.....	203
12.3 - Évacuation des gravois aux décharges avec tri préalable.....	204
CHAPITRE 13 - CONTRÔLES ET TOLÉRANCES DES OUVRAGES FINIS.....	205
13.1 - Note générale.....	205
13.2 - Contrôle de la qualité des moellons de pierre.....	205
13.3 - Contrôle de la composition des mortiers de pose et de jointoiement et rejointoiement.....	205
13.4 - Contrôle des enduits à base de liants hydrauliques.....	206
13.5 - Contrôle des enduits à base de liants aériens et liants aériens et plâtre.....	206
13.6 - Contrôle de la confortation interne des maçonneries.....	206
13.7 - Tolérances des ouvrages finis.....	206
CHAPITRE 14 - DÉROGATION AUX DOCUMENTS GÉNÉRAUX.....	209
CHAPITRE 15 - ANNEXES.....	211
15.1 - Clauses spécifiques aux ouvrages en grès.....	211
15.2 - Bordereau de traitement.....	211
15.3 - Bordereau de nettoyage.....	213
LIVRE III - MODE DE MÉTRÉ.....	215
CHAPITRE 1 - CLAUSES COMMUNES PROPRES AU CHANTIER.....	217
1.1 - Installations communes de chantier.....	217
CHAPITRE 2 - CLAUSES GÉNÉRALES PROPRES AU PRÉSENT LOT.....	217
2.1 - Échafaudages.....	217
CHAPITRE 3 - OUVRAGES DE TERRASSEMENT.....	219
3.1 - Étaisements - étré sillonnements - Blindages.....	219
3.2 - Mesures de sauvegarde.....	219
3.3 - Objets trouvés dans les fouilles.....	219
3.4 - Démolitions d'ouvrages dans les fouilles.....	219
3.5 - Fouilles par engins mécaniques.....	220
3.6 - Fouilles de puits.....	220
3.7 - Fouilles à potentiel archéologique.....	220
3.8 - Retroussage de sol existant.....	220
3.9 - Fouilles en rigoles.....	220
3.10 - Fouilles en tranchées.....	220
3.11 - Puits.....	220
3.12 - Excavations superficielles.....	220
3.13 - Vidages entre maçonneries.....	221
3.14 - Remblais.....	221
3.15 - Éboulis.....	221
3.16 - Fouilles en présence d'eau.....	221
3.17 - Pompage - Épuisements.....	221
3.18 - Évacuation des eaux.....	221

3.19 - Évacuation des vases.....	221
3.20 - Évacuation des déblais - Terres - Gravois aux décharges.....	221
3.21 - Remise en état des terrains.....	222
CHAPITRE 4 - OUVRAGES DE DÉMOLITIONS ET DÉPOSES.....	223
4.1 - Démolition d'ouvrages importants.....	223
4.2 - Démolition de maçonneries pour dérasement.....	223
4.3 - Démolition de maçonneries pour reprise.....	223
4.4 - Démolition de maçonneries pour débouchement de baies.....	223
4.5 - Démolition de maçonneries pour percement.....	223
4.6 - Démolition de maçonnerie pour tranchées et entailles.....	224
4.7 - Recoupement ou abattage de saillie.....	224
4.8 - Fourniture et mise en place d'éléments métalliques dans les maçonneries existantes.....	224
4.9 - Fourniture et mise en place d'éléments bois dans les maçonneries existantes.....	224
4.10 - Petits ouvrages.....	224
4.11 - Dépose d'ouvrages.....	228
4.12 - Démolition d'ouvrages maçonnés horizontaux.....	228
4.13 - Démolition de carrelage en conservation des supports.....	228
4.14 - Dépose de carrelage en conservation.....	228
4.15 - Récupération de matériaux.....	228
CHAPITRE 5 - OUVRAGES D'ASSÈCHEMENT - DRAINAGE DES MAÇONNERIES.....	229
5.1 - Techniques pour lutter contre l'humidité ascensionnelle en provenance du sol.....	229
5.2 - Techniques pour lutter contre les infiltrations d'eau de pluie.....	229
5.3 - Techniques pour lutter contre les condensations.....	229
5.4 - Techniques pour solutionner les problèmes liés à la présence de sels.....	229
CHAPITRE 6 - OUVRAGES EN MOELLONS.....	231
6.1 - Maçonnerie en moellons.....	231
6.2 - Rejointoiement sur moellons en œuvre.....	231
6.3 - Rocaillage.....	231
6.4 - Relancis de moellons.....	231
CHAPITRE 7 - ENDUITS.....	233
7.1 - Piochement d'ancien enduit.....	233
7.2 - Préparation du support non enduit pour recevoir un enduit.....	233
7.3 - Restauration des enduits.....	233
7.4 - Enduits des zones lacunaires.....	234
7.5 - Enduit au mortier.....	234
7.6 - Enduit au mortier de plâtre et chaux aérienne.....	234
7.7 - Armature d'enduit.....	234
CHAPITRE 8 - LAIT DE CHAUX - BADIGEON.....	235
8.1 - Débadigeonnage courant.....	235
8.2 - Débadigeonnage sur anciens décors.....	235
8.3 - Badigeon au lait de chaux.....	235
CHAPITRE 9 - OUVRAGES DE CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES PAR INJECTION DE COULIS.....	237
9.1 - Étude de la maçonnerie.....	237
9.2 - Étude du ou des coulis en laboratoire.....	237
9.3 - Épreuve de convenance sur chantier.....	237
9.4 - Vérification du parement et des maçonneries avant injection.....	237
9.5 - Confortation interne des maçonneries par injection de coulis.....	238

CHAPITRE 10 - OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ.....	239
10.1 - Élimination des bétons dégradés.....	239
10.2 - Préparation des armatures.....	239
10.3 - Nettoyage des surfaces.....	239
10.4 - Ragraéage.....	239
10.5 - Traitement des fissures de structures.....	239
10.6 - Réalcalinisation du béton.....	239
10.7 - Déchloration du béton.....	240
CHAPITRE 11 - OUVRAGES HORIZONTAUX.....	241
11.1 - Formes supports de revêtement de sol.....	241
11.2 - Fourniture et pose de carrelage.....	241
CHAPITRE 12 - OUVRAGES DIVERS.....	243
12.1 - Calfeutrement de vitraux.....	243
12.2 - Évacuation des gravois aux décharges.....	243
12.3 - Dépense contrôlée.....	243
CHAPITRE 13 - CONTRÔLES ET TOLÉRANCES DES OUVRAGES FINIS.....	245
LIVRE IV - BORDEREAU DE PRIX UNITAIRE - DÉTAIL ESTIMATIF.....	247
CHAPITRE 1 - CLAUSES COMMUNES PROPRES AU CHANTIER.....	251
CHAPITRE 2 - CLAUSES GÉNÉRALES PROPRES AU PRÉSENT LOT.....	253
CHAPITRE 3 - OUVRAGES DE TERRASSEMENT.....	255
CHAPITRE 4 - OUVRAGES DE DÉMOLITIONS ET DÉPOSES.....	257
CHAPITRE 5 - OUVRAGES D'ASSÈCHEMENT – DRAINAGES DES MAÇONNERIES.....	259
CHAPITRE 6 - OUVRAGES EN MOELLONS.....	261
CHAPITRE 7 - ENDUITS.....	263
CHAPITRE 8 - LAIT DE CHAUX - BADIGEON.....	267
CHAPITRE 9 - OUVRAGES DE CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES PAR INJECTION DE COULIS.....	269
CHAPITRE 10 - OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ.....	271
CHAPITRE 11 - OUVRAGES HORIZONTAUX.....	273
CHAPITRE 12 - OUVRAGES DIVERS.....	275
CHAPITRE 13 - CONTRÔLES ET TOLÉRANCES DES OUVRAGES FINIS.....	277

LIVRE I - FASCICULE TECHNIQUE

CHAPITRE 1 - OBJET DU PRÉSENT DOCUMENT

Le présent fascicule technique rappelle ou précise tout le processus d'études préalables et de projets et fixe les prescriptions techniques de restauration des ouvrages en maçonnerie, dans le cadre des travaux réalisés sur le patrimoine protégé au titre des monuments historiques.

Il est aussi destiné à déroger aux normes et compléter la réglementation en vigueur et renvoie, si nécessaire au cahier des clauses techniques particulières qui, lui, définit plus précisément les prescriptions techniques et les modalités d'exécution spécifiques à chaque marché de restauration.

De manière générale, lorsque les recommandations techniques différeront des techniques courantes définies dans les DTU ou normes, il conviendra de le signaler à l'assurance et d'ajouter une clause dans le contrat.

CHAPITRE 2 - TERMINOLOGIE

Dans les documents particuliers des marchés, sont appelés :

• ACMH	:	Architecte en chef des monuments historiques
• CRMH	:	Conservation régionale des monuments historiques
• SRA	:	Service régional de l'archéologie
• CRA	:	Conservateur régional de l'archéologie
• LRMH	:	Laboratoire de recherche des monuments historiques
• INRAP	:	Institut national de recherche en archéologie préventive
• CCAG	:	Cahier des clauses administratives générales
• CCAP	:	Cahier des clauses administratives particulières
• CCS	:	Cahier des clauses spéciales attaché au DTU
• CCTG	:	Cahier des clauses techniques générales
• BPU / DE	:	Bordereau de prix unitaires / Détail estimatif
• DPGF	:	Décomposition du prix global et forfaitaire
• EN	:	Européen normalisation (Normes européennes)
• NF	:	Normes françaises
• NF référence DTU	:	Documents techniques unifiés

CHAPITRE 3 - DOCUMENTS TECHNIQUES CONTRACTUELS

En complément des documents techniques contractuels visés à l'article « Pièces constitutives du marché » du CCAP, sont contractuels les documents suivants, par ordre de préséance :

Le présent fascicule technique constitue un document contractuel, en complément des pièces à viser au marché dans le CCAP.

3.1 - LES DOCUMENTS NORMATIFS APPLICABLES AUX MARCHÉS DE TRAVAUX DE BÂTIMENT (DTU)

- parmi lesquels, concernant plus particulièrement :
- Les ouvrages de maçonnerie :
- pr NF B 10-601 : Produits de carrières – Pierres naturelles – Prescriptions générales d'emploi des pierres naturelles
- NF EN 12440 : Pierres naturelles – Critères de dénomination
- NF EN 12670 : Pierre naturelle -Terminologie
- NF EN 14231 : Méthodes d'essai pour les pierres naturelles, - Détermination du coefficient de glissance au moyen du pendule de frottement
- NF EN 771- 6 : Spécifications pour éléments de maçonnerie en pierre naturelle
- NF EN 1341 (P 98 – 341) : Dalles de pierre naturelle pour le pavage extérieur – spécifications et méthodes d'essais
- NF EN 1342 (P98 – 342) : Pavés de pierre naturelle pour le pavage extérieur - spécifications et méthodes d'essais
- NF EN 1343 (P 98 – 343) : Bordures de pierre naturelle pour le pavage extérieur – spécifications et méthodes d'essais
- NF EN 1469 : Spécifications pour les produits finis de revêtement mural
- NF EN 12057 : Spécifications pour les plaquettes modulaires
- NF EN 12058 : Spécifications pour les dalles de revêtement de sol et d'escaliers
- NF EN 12059 : Spécifications pour les éléments en pierre massive (hors maçonnerie)
- NF P 65-201 : Revêtements muraux scellés destinés aux locaux d'habitation, bureaux et établissements d'enseignement (Référence DTU 55)
- NF P 98-335 : Chaussées urbaines - Mise en œuvre des pavés et dalles en béton, des pavés en terre cuite et des pavés et dalles en pierre naturelle
- Fascicule 29 : Travaux de construction- Entretien des voies, places et espaces publics pavés et dallés - Marchés publics de travaux- Cahier des Clauses techniques générales

- **Fascicule 31 : Bordures et caniveaux en pierres naturelles ou en béton et dispositifs de retenue en béton**
- **NF P 10-202 (DTU 20.1) : Travaux de bâtiment - Ouvrages en maçonneries de petits éléments - Parois et murs**

Cahier des clauses techniques	Partie 1 – Norme expérimentale P 10-202-1
Règles de calcul et dispositions constructives minimales	Partie 2 – Norme expérimentale P 10-202-2
Guide pour le choix des types de murs de façade en fonction du site	Partie 3 – Norme expérimentale P 10-202-3 (référence DTU 20.1)

NF P 15-201 (DTU 26.1) : Enduits aux mortiers de ciments, de chaux et de mélange plâtre et chaux aériennes

Cahier des clauses techniques	Norme homologuée NF P 15-201-1
Cahier des clauses spéciales	Norme homologuée NF P 15-201-2

NF P 51-201 (DTU 24.1) : Fumisterie

Cahier des charges	Norme homologuée NF P 51-201-1
--------------------	-----------------------------------

NF P 61-202 : Revêtements de sol scellés

Cahier des clauses techniques	Partie 1 - Norme homologuée NF P 61-202-1
Cahier des clauses spéciales	Partie 2 - Norme homologuée NF P 61-202-2 (Référence DTU 52.1)

NF P 74-202 (DTU 59.1) : Travaux de peinture des bâtiments

Norme homologuée

NFP 31-201-1 et 31-201-2 (DTU 40-22) : Couverture en tuiles canal de terre cuite

Les confortations internes des maçonneries par injection de coulis :

NF P95-107 : Ouvrages d'Art

Réparation et renforcement des maçonneries

Les réparations des ouvrages en béton armé :**NF P18-201 (DTU 21) : Travaux de bâtiment**

Cahier des clauses techniques Exécution des ouvrages en béton

NF P 18-203 (DTU 21-4) : Utilisation du chlorure de calcium et des adjuvants contenant des chlorures dans la confection des coulis, mortiers et bétons**NF P 18-210 (DTU 21-3) : Travaux de bâtiment -**

Cahier des clauses techniques	Murs en béton banché
NF EN 206-1	Béton – Spécifications, performances, production et conformité
NF P 18-711	Eurocode 2 - Calcul des structures en béton
NF P 18-800	Produits spéciaux destinés aux réparations collages, injections, calages, scellements, applicables aux constructions en béton hydraulique. Définition, classification, conditionnement, marquage, conditions de réception.
NF P 18-840	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, caractères normalisés garantis.
NF P 95-101	Ouvrages d'art Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonneries. Reprise du béton dégradé superficiellement. Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.
NF P 95-102	Ouvrages d'art Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie. Béton projeté. Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.
NF P 95-103	Ouvrages d'art Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonneries. Traitement des fissures et protection du béton. Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.
Fascicule 65-A	Exécution des ouvrages en béton armé et/ou en béton précontraint post-tension.
Projet de révision du guide	Choix et application des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton.
Cahier Particulier des Charges	Concernant la ré-alcalinisation et la déchloruration électrochimique du béton - Série 96.1 - 96.2 - Ponts et Chaussées - Division des Services Régionaux de la voirie Luxembourg.

Règles BAEL 1991 :

3.2 - LES RECOMMANDATIONS PROFESSIONNELLES PROVISOIRES

Emploi des pierres calcaires par temps froid [Voir article 19-1 du présent fascicule]

CHAPITRE 4 - OUVRAGES DE TERRASSEMENT

4.1 - OBJET DU PRÉSENT CHAPITRE

Le présent chapitre est destiné à déroger et compléter la réglementation en vigueur en matière d'ouvrages de terrassement dans le cadre de la restauration des monuments historiques.

4.2 - DISPOSITIONS RELATIVES À LA SÉCURITÉ

Il est rappelé que le décret du 8 janvier 1965 est applicable dans son intégralité à tous les chantiers de fouilles terrestres.

Ne jamais entreprendre les travaux sans disposer de toutes les autorisations nécessaires et d'une solide connaissance du terrain concerné (nature du sous-sol, plan de récolement des réseaux, résultats des sondages éventuels concernant la nature des couches et la résistance des sols, ...).

N'ouvrir de fouilles qu'après avoir délimité physiquement l'emprise du chantier au moyen de clôtures, palissades et autres éléments agréés et baliser par des garde-corps les zones excavées.

Maintenir, durant toute la durée des travaux, les dispositions permettant de préserver la stabilité des coupes de terrain et des éléments architecturaux.

4.3 - DISPOSITIONS PARTICULIÈRES RELATIVES AUX FOUILLES ARCHÉOLOGIQUES

4.3.1 - GÉNÉRALITÉS

Dispositions particulières relatives aux fouilles archéologiques

L'intervention des Services Régionaux de l'archéologie poursuit deux objectifs :

- Fournir les éléments destinés à nourrir la réflexion des architectes en chef des monuments historiques dans le cadre des études architecturales qui leur sont confiées ;
- Fixer les contraintes liées à la prise en compte de l'intérêt archéologique présenté par chaque monument. Ces contraintes sont de deux ordres : l'étude archéologique conclut soit à la nécessité de conserver les vestiges *in situ*, ce qui implique pour le maître d'œuvre de les intégrer à son projet, soit à la levée de toute hypothèque après réalisation d'une fouille exhaustive.

Si les travaux intéressent le sous-sol du monument ou ses abords, il conviendra de procéder à une évaluation du potentiel archéologique. La réalisation nécessitera l'autorisation du conservateur régional des monuments historiques au titre de la loi n° 2001-44 du 17 janvier 2001 modifiée et codifiée dans le code du patrimoine au livre, titre II, portant réglementation des fouilles archéologiques.

Les conclusions de cette évaluation devront clairement fixer les conditions de prise en compte de ces vestiges, faire apparaître les données qu'il conviendrait de conserver ainsi que la nécessité éventuelle de réaliser une fouille préalable aux travaux en donnant une estimation financière, les délais et les conditions de mise en œuvre.

S'il s'agit de travaux n'ayant aucun impact sur le sous-sol, le service régional de l'archéologie devra clairement expliciter la nature et la motivation des études archéologiques complémentaires qui devraient être mises en œuvre ainsi que les données qu'elles sont susceptibles de livrer.

Il convient néanmoins de noter que pour assurer la qualité de la proposition du service régional de l'archéologie, il est absolument indispensable que celui-ci dispose d'un dossier qui doit comprendre une copie de la commande de l'état au maître d'œuvre, un descriptif des travaux envisagés, un descriptif des études que le maître d'œuvre souhaite obtenir lors de cette évaluation archéologique. À ces documents devra être joint un plan figurant l'implantation des travaux affectant le sous-sol et les sondages à réaliser.

Les travaux de cette nature doivent recevoir les autorisations prévues par la loi n° 2001-44 du 17 janvier 2001 modifiée et codifiée dans le code du patrimoine au livre, titre II, portant réglementation des fouilles archéologiques.

4.3.2 - RECHERCHE ARCHÉOLOGIQUE DANS LE CADRE D'UNE ÉTUDE PRÉALABLE

La recherche archéologique devra se conformer aux lois n° 2001-44 du 17 janvier 2001 et n° 2003-707 du 1er août 2003 inscrite dans le code du patrimoine notamment dans les articles L 521 et suivants.

4.3.3 - ORGANISATION DU PROGRAMME

Les fouilles archéologiques seront conduites sous le contrôle scientifique de l'État (Ministère de la Culture - Direction régionale des affaires culturelles - Service régional de l'archéologie) en application de la loi précitée.

Les personnels seront recrutés par l'organisme chargé de la fouille, après avis du conservateur régional de l'archéologie et sont placés sous l'autorité du titulaire de l'autorisation de fouille délivrée par l'État.

4.3.4 - DÉROULEMENT DE L'OPÉRATION

L'intervention archéologique se déroulera avant tous travaux de construction et pour une durée maximale fixée par convention comprenant les travaux de terrain et la réalisation du rapport.

L'équipe de recherche interviendra dans les espaces libres destinés à être aménagés.

Les travaux archéologiques se dérouleront dans le cadre de la réglementation « du code du travail ». La remise en état du terrain, s'il y a lieu, sera à la charge de l'entreprise.

À l'issue des travaux de terrain, les études post-fouille en laboratoire seront réalisées dans les conditions fixées par le conservateur régional de l'archéologie.

Échéancier d'intervention et information des entreprises

Les entreprises et les sous-traitants seront informés par le maître d'œuvre de la sensibilité archéologique des secteurs concernés par les travaux.

Les entreprises et les sous-traitants sont tenus à l'application de la législation sur les découvertes fortuites (loin° 2001-44 du 17 janvier 2001 modifiée et codifiée au livre V, titre III, section 3 du code du patrimoine) et l'article 257-1 du code pénal sanctionnant la destruction ou la mutilation des vestiges archéologiques.

Les entreprises et les sous-traitants sont tenus de laisser toute facilité d'accès et de surveillance aux chargés d'étude et aux personnels du service régional de l'archéologie.

Toute découverte de vestiges archéologiques mobiliers ou immobiliers devra immédiatement être signalée au service régional de l'archéologie. Celui-ci examinera avec le maître de l'ouvrage, dans les plus brefs délais, les mesures à prendre pour permettre l'étude ou la conservation des vestiges en respectant au mieux la poursuite des travaux.

Une réunion immédiate sera organisée entre les différents partenaires afin de prendre toutes les mesures administratives et scientifiques indispensables.

4.4 - PRESTATIONS ANNEXES

L'entreprise doit assurer la protection du site pendant la totalité de la phase de terrain, par la mise en place d'une bande de sécurité réglementant l'accès au terrain de fouille. Cette protection devra être mise en place dès le démarrage de l'opération.

4.5 - AUTORISATIONS ADMINISTRATIVES

Le service des mines, DIRE, DIREN... devront éventuellement être informés des travaux afin d'obtenir en retour les informations relatives aux éventuelles carrières, sources, nappes phréatiques, etc.

CHAPITRE 5 - OUVRAGES D'ASSÈCHEMENT - DRAINAGE DES MAÇONNERIES

5.1 - OBJET DU PRÉSENT CHAPITRE

Le présent chapitre est destiné à déroger et compléter la réglementation en vigueur en matière d'ouvrages d'assèchement et de drainage des maçonneries dans le cadre de la restauration des monuments historiques.

Il ne traite pas du cas des maçonneries immergées.

5.2 - GÉNÉRALITÉS

On recense quatre sources d'humidité :

1. l'humidité ascensionnelle en provenance du sol
2. les infiltrations d'eau de pluie à travers les murs enterrés ou non (rejaillissement, voirie, arrosage, gouttières non étanches, etc...)
3. l'humidité par condensation
4. l'humidité d'origine accidentelle (par exemple : fuite des évacuations des eaux pluviales)

Dans certains cas, différentes sources d'humidité peuvent se combiner entre elles. Il faut noter que la présence de sels hygroscopiques favorise l'humidité dans les maçonneries.

L'efficacité d'un traitement d'assèchement est subordonnée à son adéquation aux causes de l'humidification. Pour identifier la ou les origines de l'humidité, il faut réaliser un diagnostic précis et complet.

Il faut également savoir que le délai d'assèchement d'une maçonnerie peut être long. Il est en général de l'ordre de plusieurs mois, voire d'avantage.

5.3 - MÉTHODE DE DIAGNOSTIC

Le diagnostic doit préciser entre autres, la ou les origines de l'humidité :

- humidité ascensionnelle en provenance du sol
- les infiltrations d'eau de pluie à travers les murs
- l'humidité par condensation
- l'humidité d'origine accidentelle (fuite des évacuations d'eaux pluviales (EP), rupture de canalisation)
- la combinaison entre elles de ces différentes sources d'humidité

5.4 - TECHNIQUES À METTRE EN ŒUVRE SUIVANT LE TYPE D'HUMIDITÉ

5.4.1 - TECHNIQUES POUR LUTTER CONTRE L'HUMIDITÉ ASCENSIONNELLE EN PROVENANCE DU SOL

On peut citer :

5.4.1.1 - AU NIVEAU DES MAÇONNERIES

Produits les plus couramment utilisés susceptibles d'apporter des améliorations notables ;

LE LONG DES MAÇONNERIES ENTERRÉES, CONTRE LES INFILTRATIONS LATÉRALES :

- mise en œuvre d'une galerie périphérique
- mise en place de drains verticaux à circulation d'air

DANS LES MURS :

- mise en place d'une barrière étanche à la base des murs par :
 - _ insertion d'une étanchéité
 - _ injection de produits imperméabilisants (résines silicones, siliconates, résines époxydes,...). Les produits à base de silicate de potassium et de sodium sont à proscrire.
- évacuation de l'eau qui imprègne les murs par :
 - _ électro-osmose : méthode basée sur l'utilisation des tensions électriques pour faire migrer l'eau en sens inverse de la remontée capillaire
 - _ électrophorèse : méthode qui reprend la technique de l'électro-osmose mais qui est complétée par l'introduction de produits de phorèse qui vont colmater les capillaires des matériaux
 - _ procédé électronique d'assèchement des murs : méthode qui consiste à développer un contre champ s'opposant à l'action des champs magnétiques existant dans les bâtiments soumis à des remontées capillaires
- dissimulation des manifestations de l'humidité : par doublage ventilé :

Il faut noter que l'efficacité de certaines de ces méthodes ne font pas l'unanimité parmi les experts et n'ont pas fait l'objet d'études approfondies, en particulier le procédé électronique d'assèchement des murs.

5.4.1.2 - DANS LES DALLAGES

Création d'un dallage ventilé, par perçage d'orifice de ventilation dans les murs extérieurs afin de créer une circulation d'air.

5.4.2 - TECHNIQUES POUR LUTTER CONTRE LES PÉNÉTRATIONS D'EAU DE PLUIE

On peut citer :

- l'injection des fissures
- le rejointoiement
- la réfection des enduits
- l'application d'un hydrofuge (seulement sur les surfaces verticales) [Voir chapitre 3.6.4 du CCTP de l'ouvrage de Pierre de Taille]
- la mise en place d'un bardage
- la réfection ou l'introduction d'éléments d'évacuation d'eaux pluviales (gouttières, descentes d'eaux pluviales)

5.4.3 - TECHNIQUES POUR LUTTER CONTRE LES CONDENSATIONS

On peut citer :

- la ventilation, notamment la ventilation mécaniquement contrôlée (VMC)
- l'isolation thermique
- le chauffage

5.4.4 - TECHNIQUES POUR SOLUTIONNER LES PROBLÈMES LIÉS À LA PRÉSENCE DE SELS

On peut citer :

- changement de la terre du sol contaminée par les sels
- enlèvement des sels des maçonneries par application de cataplasmes
- application sur les maçonneries d'un enduit très capillaire « sacrifié » (à refaire régulièrement).
- électro-osmose
- mise en œuvre d'un enduit d'assainissement destiné à piéger ou à laisser les sels sans altérer l'enduit.

CHAPITRE 6 - DÉFINITIONS ET QUALITÉS DES MATÉRIAUX CONSTITUANT LES MORTIERS

Les mortiers sont constitués par malaxage de sable, d'un liant et d'eau avec l'addition éventuelle de produits d'ajouts ou de produits adjuvants. [Voir articles 6.4 et 6.5 du présent fascicule]

Les matériaux doivent faire l'objet, avant leur mise en œuvre, de précautions particulières sur leur conservation et leur conditionnement, de façon notamment à prévenir un apport parasite, extrêmement préjudiciable, de sels ou autres composés chimiques ou organiques.

6.1 - LIANTS

Matières qui ont pour propriété d'assembler par « collage » des matériaux inertes.

6.1.1 - CHAUX

Définition :

Chaux : terme général qui englobe des formes physiques et chimiques de divers types dans lesquels apparaîtront de l'oxyde de calcium et de magnésium et/ou de l'hydroxyde de calcium et de magnésium. Les chaux sont obtenues par calcination du calcaire et hydratation. L'hydratation produit soit de la chaux en poudre, soit de la chaux en pâte.

Chaux de construction : liants dont les principaux composants, analysés chimiquement, sont les hydroxydes de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), pouvant comprendre des quantités moindres de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), de silicium (SiO_2), d'aluminium (Al_2O_3) et de fer (Fe_2O_3).

Chaux aériennes (éteintes) – CL – DL - : chaux en poudre constituées d'hydroxyde de calcium qui durcissent lentement sous l'effet du dioxyde de carbone présent dans l'air. Les chaux en pâte, non visées par la norme, relèvent de cette appellation.

Chaux hydrauliques – NHL - : chaux constituées principalement de silicates dicalciques, d'aluminates dicalciques et d'hydroxyde de calcium produites par la calcination, l'extinction de calcaires argileux.

Au contact de l'eau, elles ont la propriété de faire prise et de durcir. Le dioxyde de carbone présent dans l'air contribue également au processus de durcissement. Elles contiennent au moins 12 % en masse de chaux libre non liée (voir tableau 1 et 4.7 de la norme NF EN 459-2).

Les chaux obtenues par la calcination de calcaire plus ou moins argileux ou siliceux, avec réduction en poudre par extinction, avec ou sans broyage, sont appelées « chaux hydrauliques naturelles » (NHL).

Les chaux hydrauliques naturelles auxquelles on additionne de façon appropriée des matériaux pouzzolaniques ou hydrauliques jusqu'à 20 %, sont désignées par NHL-Z.

Les types de chaux de construction :

Classification :

Les différents types de chaux de construction sont classés en fonction de leur teneur en ($\text{CaO} + \text{MgO}$) ou, dans le cas des chaux hydrauliques, de leur résistance à la compression comme suit :

- Chaux calcique 90 CL 90
- Chaux calcique 80 CL 80
- Chaux calcique 70 CL 70

- | | | |
|-----------------------------------|-------|----------|
| • Chaux dolomitique 85 | DL 85 | |
| • Chaux dolomitique 80 | DL 80 | |
| • Chaux hydraulique naturelle 2 | NHL 2 | } ex XHN |
| • Chaux hydraulique naturelle 3,5 | NHL | |
| • Chaux hydraulique naturelle 5 | NHL 5 | |

Désignation :

Les chaux de construction doivent être identifiées par le type et par leur état : (poudre ou pâte) pour les chaux aériennes.

Exemple 1 : chaux calcique 90 éteinte est identifiée par “ CL 90, NF P 15-311 ” hydratée (ancienne CAEB (Chaux aérienne éteinte pour le bâtiment)).

Exemple 2 : chaux hydraulique naturelle pure 3,5 est identifiée par “ NHL, NF P 15-311.

Marquage :

Les chaux de construction conformes au présent document doivent porter un marquage sur le sac, si vendues en sac, ainsi que sur le bon de livraison, sur la facture, ou sur tout autre document joint à la livraison, avec les indications suivantes :

- le type de chaux de construction ;
- l'appellation commerciale du type de chaux de construction (si différente du type) ;
- le lieu de fabrication ;
- le poids brut (si le conditionnement est en sac).

Normes :

NF P 15-311 - Chaux de construction. Définition - Spécifications et critères de conformités.

6.1.2 - PLÂTRES**Définition**

Sulfate de calcium ou gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ déshydraté par cuisson modérée puis broyé.

Type de plâtre

Désignation complète :

- | | | |
|-------------------------------|------|-------------|
| • Plâtre gros de construction | PGC1 | NF B 12-301 |
| • Plâtre gros de construction | PGC2 | NF B 12-301 |
| • Plâtre fin de construction | PFC1 | NF B 12-301 |
| • Plâtre fin de construction | PFC2 | NF B 12-301 |

Normes

NF B 12. - Plâtre de construction.

6.1.3 - CEMENTS**Définitions**

Liant hydraulique obtenu à partir de cuisson et broyage d'argiles et de marnes spécifiques et adjuvants.

Normes et type de ciment

NF P 15-307	Ciment à Maçonner.
NF P 15-315	Liants hydrauliques - Ciment alumineux fondu.
NF P 15-314	Liants hydrauliques - Ciment prompt naturel.
NF EN 197-1	Ciment - partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.
NF EN 197-2	Ciment - partie 2 : évaluation de la conformité.
NF P 15-306	Ciment laitier à la chaux.
NF P 15-302	Liants hydrauliques - Ciments à usage tropical - Composition, spécifications et critères de conformité.
NF P 15-317	Liants hydrauliques - Ciments pour travaux à la mer.
NF P 15-318	Liants hydrauliques - Ciments à faible chaleur d'hydratation initiale et à teneur en sulfures limitée.

6.1.4 - CEMENTS À MAÇONNER

(anciennement chaux hydrauliques artificielles – Norme NF P 15-311 : HL)

Dans la nouvelle norme NF P 15-311, les anciennes chaux hydrauliques artificielles n'ont plus le droit à l'appellation de chaux mais de ciment à maçonner.

Définition :

Produits obtenus par mélange de clinkers et de matériaux appropriés, leur principe actif n'est pas fondé sur la présence de chaux libre (silicates et aluminates tri-calciques : pas de présence de $\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Normes et types

NF P 15-312 - Chaux hydrauliques artificielles.

6.2 - GRANULATS – (AGRÉGATS¹)

6.2.1 - TERMINOLOGIE, DÉFINITION

- les granulats sont des charges inertes qui rentrent dans la composition des mortiers afin :
 - de diminuer les phénomènes de retrait (donnent du volume au mortier),
 - d'augmenter la résistance (par leur dureté et par l'armature qu'ils forment),
 - de réduire la quantité de liant.
- les granulats utilisés pour la réalisation des mortiers d'enduit sont les sables (plus ou moins gros).

1 Le mot « agrégat » est une appellation ancienne qui n'est plus utilisée aujourd'hui.

6.2.2 - CLASSIFICATION, PROVENANCE

- tous les granulats doivent être désignés en termes de classes granulaires d/D , à l'exception des granulats ajoutés en tant que fillers. Ainsi, on désigne :
 - les sables : classes granulaires pour lesquels D est inférieur ou égal à 4 mm
 - les gravillons : classes granulaires pour lesquels D est supérieur ou égal à 4 mm et d est supérieur ou égal à 2 mm
- pour les mortiers d'enduits, les sables peuvent provenir :
 - du lit des rivières ou de gravières (sables fossiles ou alluvionnaires)
 - de carrières et par concassage.

Les sables proviennent de la décomposition de roche et sont le plus souvent siliceux ou silico-calcaire, très rarement calcaires (sauf poudre de marbre).

6.2.3 - PROPRIÉTÉS

Le sable utilisé pour réaliser des mortiers d'enduits doit :

- comporter une courbe granulométrique (granulats de taille différente) répartie :

La norme NF P 15-201-1 référencée DTU 26.1, relative aux enduits, prévoit des sables dont la courbe granulométrique est comprise entre 0-3,15 mm. Traditionnellement, on observe des sables plus grossiers, et dans ce cas, il convient de faire des essais de convenance.

À l'inverse, un sable trop fin et un dosage important entraînent du retrait, ce sont donc des sables à utiliser avec prudence et sur de faibles épaisseurs, c'est notamment le cas des sables dits « sable à lapin ». Il conviendra de les associer avec des chaux aériennes permettant un resserrage successif de l'enduit. Dans tous ces cas, des essais de convenance sont à réaliser.

- être propre :

La norme NF P 15-201-1 référencée DTU 26.1 prévoit que les sables ne doivent pas comprendre plus de 5 % d'éléments très fins comme les argiles, terre végétale, charbons, etc. La qualité des fines est définie par la propreté des sables qui est donnée par la valeur de l'équivalent de sable (EN 933-8).

- être inerte :

Le sable utilisé doit être chimiquement inerte. Il faut éviter tous sols comportant des sels, des déchets organiques. Dans le cas de sable peu sûr, il sera nécessaire de réaliser des tests de convenance, notamment dans le cas de sable de mer qui peut nécessiter un lavage à l'eau douce et de corriger sa granulométrie.

- être homogène :

Pour la réalisation de chantier d'enduit et afin d'obtenir une bonne homogénéité un approvisionnement global et unique du chantier doit être recherché.

6.2.4 - GRANULATS PARTICULIERS

Certains granulats sont recherchés pour leur réaction avec la chaux ; c'est principalement le cas de la réaction pouzzolanique dans laquelle les silicates et aluminates de granulat réagissent avec la chaux et l'eau de gâchage pour former un hydrate stable (hydraulicité des mortiers).

Parmi ces principaux granulats, on peut citer : tuileau, tuiles, pouzzolanes, cendres, brique pilée, etc.

Certaines poudres de pierre (marbre notamment), talc.

Certains limons ou argiles sont utilisés en complément, notamment pour la coloration, ou en revêtement particulier sur certaines maçonneries argileuses mais en augmente le retrait et donc le faïençage.

6.3 - EAU

6.3.1 - DÉFINITION, RÔLE

L'eau rentre dans la composition des mortiers afin de rendre plastique les mélanges poudreux, de permettre la carbonatation des chaux (dissolution du gaz carbonique), de permettre la prise des chaux hydrauliques.

6.3.2 - PROPRIÉTÉS

L'eau doit être propre, et conforme à la norme NF EN 1008. Il est conseillé d'utiliser l'eau potable.

Dans le cas contraire, il convient d'être attentif à ne pas utiliser les eaux fortement chargées en sels (sulfates, chlorures... eaux résiduelles...)

Dans le cas de l'eau de mer, dont l'usage traditionnel est attesté, mais qui est *a priori* proscrit, il est nécessaire d'effectuer des essais de tenue et d'aspect (possibilité d'apparition de nuances, d'efflorescences).

6.4 - PRODUITS D'AJOUTS

Certains produits peuvent être ajoutés au mortier afin de modifier ses propriétés, c'est notamment le cas pour :

- les granulats aux réactions pouzzolaniques
- les pigments
- les armatures

6.4.1 - GRANULATS AUX RÉACTIONS POZZOLANQUES

[Voir article 6.2.4 du présent fascicule]

6.4.2 - LES PIGMENTS

Les pigments sont des poudres colorées, insolubles, d'origine minérale artificielle.

Ils sont utilisés traditionnellement pour peindre des parements en les mélangeant à un lait de chaux. Aujourd'hui on les utilise aussi en les mélangeant au mortier pour les colorer dans la masse, dans ce cas la norme NF P 15-201-1 référencée DTU 26.1 prévoit de ne pas dépasser 3 % du poids de chaux, mais seuls les pigments minéraux artificiels possèdent un pouvoir suffisamment colorant dans le cadre des 3%.

L'emploi de ces pigments oblige à contrôler leur tenue en milieu alcalin (compatibilité avec la chaux).

6.4.3 - LES ARMATURES

On trouve de nombreux cas d'armatures d'enduits avec des soies animales (poils de vache) de fibres végétales (lins ...), de pailles. Ces éléments constituent principalement une armature de l'enduit, ils ne sont pas normalisés et toute utilisation impose des essais de convenance, de tenue.

6.5 - PRODUITS ADJUVANTS

Certains produits appelés « adjuvants » peuvent être incorporés aux mortiers dans des quantités très faibles (>1 % du poids de liant) afin d'améliorer leurs propriétés.

6.5.1 - AMÉLIORATION DES PROPRIÉTÉS DE MISE EN ŒUVRE

Les adjuvants utilisés peuvent améliorer l'ouvrabilité, la plasticité, la rétention d'eau, l'adhérence. Ces adjuvants peuvent être des produits traditionnels, il convient cependant de réaliser des essais préalables et de vérifier la non dégradation des propriétés des mortiers. Les adjuvants contemporains doivent être utilisés conformément aux normes et prescriptions du fabricant, il convient dans ce cas de vérifier la compatibilité avec la chaux (milieux alcalins).

6.5.2 - AMÉLIORATION DES PROPRIÉTÉS DES MORTIERS

Les adjuvants utilisés peuvent améliorer la tenue, la dureté, l'entraînement d'air ou conférer des propriétés hydrofuges au mortier. Ces adjuvants peuvent être des produits traditionnels, il convient cependant de réaliser des essais préalablement et de vérifier la non dégradation des propriétés des mortiers. Les adjuvants contemporains doivent être utilisés conformément aux normes et prescriptions du fabricant, il convient dans ce cas de vérifier la compatibilité avec la chaux (milieux alcalins).

6.6 - MATÉRIAUX NON NORMALISÉS

Ce sont des contraintes d'ordre historique, conformité d'aspect, compatibilité avec la structure qui imposent l'usage de matériaux non normalisés.

Les matériaux non normalisés ne sont mis en œuvre que sur stipulations du marché (CCTP). Ces matériaux seront employés avec prudence et après échantillonnage ou essais pour approbation. Ils peuvent être de toutes origines (liant, terre, végétale, animale etc.).

Dans le cas d'utilisation de ce type de matériaux des essais de convenance sont systématiquement effectués, l'entreprise se devant de fournir, s'ils existent, avis techniques du CSTB ou procès-verbaux d'essais de laboratoire référencés.

CHAPITRE 7 - SPÉCIFICATIONS AUXQUELLES LES MOELLONS DOIVENT SATISFAIRE

7.1 - PRÉSENTATION D'ÉCHANTILLONS

Avant passation de sa commande, l'entrepreneur doit présenter à l'architecte 2 échantillons limites des moellons proposés.

La production de ces échantillons, dont les dimensions sont à fixer par l'architecte, sont à la charge de l'entreprise.

Après acceptation par les parties, ces échantillons demeurent sur le chantier pour permettre le contrôle ultérieur des moellons dont l'aspect (couleur, forme et disposition des éléments constitutifs) doit se situer dans les fourchettes matérialisées par les échantillons.

7.2 - PROVENANCE

Les moellons doivent provenir des carrières indiquées au CCTP.

7.3 - ASPECT

Le moellon doit être exempt des défauts suivants :

- fils ou poils (matière terreuse en veines minces)
- moyes (matière terreuse remplissant des cavités)
- arêtes, pouffes (la pierre s'égrène à l'humidité ou sous le choc de l'outil)
- bousin (partie tendre interposée entre les lits de carrière)
- cendrules ou terrasses (fente ou cavité remplie d'une matière étrangère pulvérulente)
- clous (rognons très durs qui rendent la taille très difficile)
- fissures, pouvant être très fines, d'origine naturelle ou artificielle (usage de la poudre ou d'outils pneumatiques ou mécaniques suivant la nature de la pierre)

Toutefois, certains de ces défauts, s'ils sont connus et existants dans le moellon d'origine et n'altèrent pas les caractéristiques indiquées au CCTP, peuvent être admis.

Les particularités telles que veinages, coquilles, géodes, crapauds, trous, nœuds, strates, verriers, oxydes et pyrites de fer peuvent être considérées comme acceptables si elles restent à un degré de simple différence de nuance.

7.4 - CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Les caractéristiques physiques des moellons doivent être celles stipulées au CCTP.

7.5 - TENEUR EN EAU DE LIVRAISON

En période de froid, du mois d'octobre au mois de mars inclus, sauf dispositions particulières du CCTP, pour diminuer les risques de détérioration par le gel, les moellons en calcaire livrés sur chantier doivent avoir une teneur en eau inférieure ou au plus égale à 75% de la teneur en eau critique définie par la norme NF B 10.512.

Cette clause n'est applicable qu'aux moellons en calcaire.

7.6 - CONTRÔLE AVANT COMMANDE DE LA QUALITÉ DES MOELLONS

Avant passation des commandes, l'entreprise doit obtenir de son fournisseur et transmettre à l'architecte les procès-verbaux de moins de 5 ans attestant que les moellons répondent aux caractéristiques prescrites au CCTP et qu'ils sont conformes à la norme XP B 10-601. Tous les frais engendrés par la production de ces documents sont à la charge de l'entreprise.

7.7 - CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES MOELLONS

7.7.1 - PROVENANCE

L'entreprise doit, sur demande de l'architecte, être en mesure de justifier de la carrière d'origine du moellon et de sa localisation dans la carrière.

7.7.2 - ASPECT

Les moellons dont l'aspect est hors de la fourchette dont les limites sont données par les échantillons peuvent être refusés par l'architecte et remplacés par des moellons contractuellement acceptables.

7.7.3 - CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Le contrôle des caractéristiques physiques des moellons est fixé au CCTP par référence aux méthodes et mesures définies ci-après :

7.7.3.1 - ESSAIS D'IDENTITÉ

Les essais d'identité (mesures de la masse volumique apparente, de la porosité et de la résistance en flexion sous charge centrée) sont définis dans la norme pr NF B 10-601. La fourniture des pierres doit être accompagnée d'une fiche d'identité datant de moins de deux ans.

Les écarts admissibles sur les résultats des essais de porosité et de résistance en flexion sous charge centrée sont donnés dans la norme pr NF B 10-601.

Sur le chantier, la mesure de la vitesse de propagation du son reste intéressante car non destructrice.

7.7.3.2 - ESSAIS D'APTITUDE À L'EMPLOI

Il est procédé aux mesures des caractéristiques physiques prescrites au CCTP, selon les dispositions de la norme pr NF B 10-601.

Si l'un des résultats est inférieur aux valeurs prescrites, la livraison peut être refusée par l'architecte.

7.7.4 - TENEUR EN EAU

La mesure de teneur en eau est effectuée conformément aux prescriptions des règles « Emploi des pierres par temps froid ».

7.7.5 - PRISE EN CHARGE ET NOMBRE DE CONTRÔLE

L'intervention d'un laboratoire, la nature et le nombre de contrôles sont indiqués au CCTP.

Tous les frais afférents à ces contrôles, qu'ils soient favorables ou non à l'entreprise, sont à la charge de l'entreprise et font l'objet d'un article spécial au BPU – DE.

Les contrôles complémentaires que l'architecte jugerait nécessaire de faire effectuer sont régis par l'article spécifique du CCAP.

7.8 - CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES

Les caractéristiques géométriques des moellons sont celles stipulées au CCTP.

Si les caractéristiques géométriques des moellons ne satisfont pas aux prescriptions du marché, la livraison peut être refusée par l'architecte.

CHAPITRE 8 - MONTAGE DES MURS EN MOELLONS

8.1 - TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Les moellons sont convenablement humidifiés avant emploi mais non ruisselants.

8.2 - MODE DE POSE DES MOELLONS À BAIN SOUFFLANT

Les moellons sont posés à bain soufflant de mortier et bien serrés de façon que celui-ci reflue en surface.

Ils doivent être bien enrobés afin qu'il ne puisse s'établir aucun contact direct entre eux. Les intervalles sont remplis de mortier et ceux qui sont trop importants garnis de cales de la même nature que les moellons ou de petits moellons parfaitement enrobés de manière à obtenir une maçonnerie bien pleine.

Les moellons de longue queue alternent avec ceux de queue plus courte tant sur une même assise que d'une assise à l'autre de façon à procurer une bonne liaison avec le reste de la maçonnerie.

Si, selon stipulations du CCTP, les moellons sont destinés à être enduits, la maçonnerie est montée par assises sensiblement horizontales mais non réglées sans recherche d'appareillage ni souci d'une rectitude parfaite des lits, les joints verticaux décalés autant qu'il est possible et ne se prolongeant jamais au-delà de deux hauteurs de moellons. L'épaisseur des lits et joints est comprise entre 2 et 5 cm.

Lorsqu'il est prévu un jointoiement après coup, les joints sont dégarnis sur la profondeur indiquée au CCTP, humidifiés puis garnis au moyen d'un mortier dont le dosage est indiqué au CCTP.

8.3 - JOINTOIEMENT

Terminologie

Le jointoiement en montant consiste à exécuter la finition du joint en même temps que le hourdage de la maçonnerie en refoulant le mortier de pose avant qu'il n'ait fait sa prise.

Le jointoiement après coup consiste à exécuter la finition du joint après le montage de la maçonnerie lorsque le mortier de pose a terminé sa prise. Les joints ont été dégarnis aux profondeurs prescrites au fur et à mesure du montage de la maçonnerie, soit la maçonnerie.

Règles de construction - Normes - DTU

Quels que soient le type de mur et la nature de la maçonnerie, le profil des joints apparents des maçonneries extérieures ne doit pas s'opposer à l'écoulement des eaux de ruissellement.

Les joints sont, au fur et à mesure du montage de la maçonnerie, dégarnis côté extérieur sur 10 à 15 mm de profondeur, puis au plus tôt après que le mortier de pose soit suffisamment durci, les joints sont garnis avec un mortier. Le lissage et le serrage sont exécutés au fer.

En dérogation à la norme, le mortier de pose sera constitué de chaux de construction (de la chaux calcique 70 à la chaux hydraulique naturelle 5).

La profondeur du joint doit être comprise entre 3 et 5 cm, celui ci peut être réalisé en deux fois :

1. fichage de mortier analogue au mortier de pose

2. finition suivant choix, dosage et façon retenus à l'issue des essais. Les liants aériens peuvent être utilisés pour cet usage

On constate fréquemment dans les mortiers anciens, la présence d'ajouts (poussière de la pierre à hourder, briques ou tuiles écrasées, sable argileux, voire même de charbon de bois). On peut donc décider de reproduire ces compositions qui peuvent apporter aux maçonneries des qualités intéressantes en liaison avec leur situation et exposition particulière, sous réserve d'essais de convenance.

8.4 - SURFACE DE RÉFÉRENCE OU SURFACE TÉMOIN

Si, selon les stipulations du CCTP, les moellons restent apparents, l'appareillage et le parement sont conformes à une surface de référence existante précisée au CCTP ou, en l'absence, aux prescriptions du CCTP.

Dans le cas où le montage des moellons n'est pas effectué conformément à une surface de référence existante, l'entreprise doit présenter à l'architecte, avant exécution, une surface de dimensions suffisantes, exécutée conformément au CCTP, pour lui permettre de juger l'aspect.

Le mur n'est monté qu'après acceptation de cette surface témoin.

CHAPITRE 9 - DESSALEMENT DES MAÇONNERIES

La dégradation de maçonneries par les sels est malheureusement chose commune. Pour des raisons historiques ou esthétiques, il faut souvent envisager de traiter les parements contaminés en conservation. C'est alors que se pose la question du choix de la méthode à employer et de la façon de procéder.

9.1 - NOTE GÉNÉRALE

Il conviendra, au préalable, de vérifier que la terre n'est pas contaminée sinon il conviendra de la changer. Le dessalement étant le plus souvent une action agressive, il faut systématiquement envisager de recourir à une méthode alternative, et préférentiellement à un contrôle thermo-hygrométrique de l'atmosphère. Bien que long à mettre au point, ce type de conservation préventive permet d'éviter de s'engager dans un processus de dessalement toujours coûteux, rarement efficace à long terme.

Bien qu'il soit difficile de généraliser, on peut estimer que les teneurs limites en anions données dans le tableau suivant représentent des seuils qu'il est souhaitable de ne pas dépasser pour une bonne conservation de la maçonnerie. On retiendra que ce sont souvent les mortiers, plus poreux, qui accumulent le plus de sels.

Avant toute tentative de dessalement, il est nécessaire de connaître la cause et la nature exacte de la contamination. En particulier, les anions doivent au moins être quantifiés, même si aucun sel n'est visible. Ces dosages doivent être réalisés par un laboratoire spécialisé, qui suivra le protocole de mise en solution des sels avant analyse décrit dans la norme italienne « Normal 13/83, Dosaggio dei sali solubili » éditée en 1983 par un groupe de travail sous l'égide du CNR et de l'ICR (Cf LRMH). De plus, si des sels sont visibles en surface (efflorescences) ou plus en profondeur (subflorescences), il faut les prélever et les faire analyser par un laboratoire.

Sels	Teneurs limites
Chlorures	$\leq 0,1\%$
Nitrates	$\leq 0,5\%$
Sulfates	<ul style="list-style-type: none"> • si les sulfates proviennent du gypse (sulfate de calcium) le taux doit être $< 5\%$ • si les sulfates sont associés à du sodium, potassium, magnésium..., leur taux doit être $< 0,1\%$

Les méthodes de dessalement couramment utilisées se partagent en deux grandes catégories :

- l'élimination manuelle à sec,
- les méthode utilisant la diffusion et l'évaporation (compresses)

9.2 - MÉTHODES ALTERNATIVES

Seules deux méthodes sont décrites ici : le contrôle de l'environnement et l'insolubilisation des sels.

9.2.1 - CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHÉRIQUE

Ce contrôle vise à faire en sorte que l'environnement atmosphérique des maçonneries contaminées présente le moins possible de variations d'humidité relative, ou au moins que ces variations franchissent le plus rarement possible le seuil auquel les sels passent de l'état cristallisé à l'état dissous, et vice-versa. Ceci n'est possible qu'à l'intérieur des édifices.

Les six étapes du travail ont été clairement définies et décrites dans la littérature ; les quatre premières s'inscrivent clairement dans une démarche d'étude préalable. Les deux dernières se placent soit dans le cadre d'une restauration, soit dans celui de l'entretien du monument.

1ère phase : étude préalable (une année minimum)

1. déterminer la nature des efflorescences salines et établir le relevé de leur localisation sur le parement des maçonneries ;
2. noter suivant quelle périodicité elles apparaissent et disparaissent ;
3. déterminer la situation micro climatique et son évolution par un suivi thermo-hygrométrique, dans le même temps que l'action précédente ;
4. faire la relation entre les périodes de cristallisation des sels et les événements du microclimat.

2ÈME PHASE : PENDANT LA RESTAURATION OU AU TITRE DE L'ENTRETIEN

5. modifier les conditions microclimatiques (température et humidité relative) pour éviter ou réduire à un minimum les événements de cristallisation des sels ;
6. contrôler les effets de cette modification en continuant pendant un an le suivi thermo-hygrométrique et l'observation des éventuelles périodes de cristallisation des sels.

9.2.2 - INACTIVATION PAR INSOLUBILISATION

Le principe est de transformer les sels solubles en sels non solubles ou peu solubles, par réaction chimique. Ce type de transformation a été testé et mis en œuvre en Italie pour passer des surfaces de pierres ou de peintures murales affectées par la cristallisation de **gypse**. Les autres sels ne sont pas concernés par la méthode. Le traitement est d'abord à base de bicarbonate d'ammonium qui réagit avec le gypse pour former du sulfate d'ammonium. Mis au contact de l'hydroxyde de baryum, ce sel se transforme en sulfate de baryum, qui est un minéral très stable.

Le procédé a semble-t-il été assez largement utilisé sur les peintures murales à Florence. Bien que les inventeurs de ce procédé soient très enthousiastes sur les résultats obtenus, la communauté scientifique internationale reste réservée sur son efficacité. Dans tous les cas, elle ne doit être mise en œuvre que par un restaurateur formé à la méthode, et ce uniquement après des essais préliminaires suivis par un laboratoire spécialisé.

9.3 - MÉTHODES DE DESSALEMENT

9.3.1 - ÉLIMINATION MÉCANIQUE À SEC

L'élimination mécanique à sec, avec une brosse coco et une aspiration, est sûrement la méthode la plus simple et la moins coûteuse. On oublie trop souvent qu'avant de mettre en œuvre une autre méthode, un brossage peut éliminer une bonne partie des sels superficiels. Il est conseillé de purger les enduits et les joints désagrégés à sec avant de recourir à un dessalement. Il est évident qu'une purge ne doit être réalisée qu'après appréciation de la valeur historique des mortiers, et prélèvements éventuels visant à assurer la mémoire des phases de construction et restauration du bâtiment.

9.3.2 - MÉTHODE DES COMPRESSES

Le dessalement par compresses implique forcément un apport d'eau à la surface du parement. Il est donc important de vérifier l'état du support et celui des joints afin de s'assurer qu'il n'y aura pas de pénétration d'eau

inopinée dans la maçonnerie lors du dessalement. Pour ce faire, il est nécessaire de refaire provisoirement les fonds des joints détériorés.

L'eau utilisée pour humecter les compresses doit être propre : cette garantie est généralement apportée par l'eau de ville.

Il est à noter que la présence d'enduits sur la maçonnerie à dessaler peut interdire l'utilisation des méthodes « humides » en raison leur sensibilité à l'eau.

9.3.2.1 - PRINCIPE

Une compresse d'un matériau hydrophile est appliquée sur le parement. L'eau y pénètre et dissout les sels solubles. La différence de concentration en sels existant entre la solution saline du parement et l'eau de la compresse engendre un mouvement d'ions vers la compresse. La compresse devra avoir des pores plus petits que les substrats, pour assurer une succion correcte des saumures par capillarité. Lorsque la compresse sèche, la force d'évaporation entre en jeu et les sels cristallisent dans la compresse.

9.3.2.2 - PARAMÈTRES

Nature et propriétés des compresses

Parmi les nombreux matériaux testés, argiles et composés à base de cellulose sont les plus fréquemment utilisés. Les autres composés, soit minéraux à base de silice (diatomite, silice micronisée, laine de roche) ou de chaux (mortiers sacrificiels), soit organiques comme les résines échangeuses d'ions sont moins employés.

Grands types de matériaux utilisés pour confectionner des compresses

Les argiles

Attapulgites, sépiolites, kaolins et bentonites, appréciées pour leurs bonnes capacités absorbantes ainsi que pour leur maniabilité, sont souvent citées .

Elles adhèrent bien au support, à tel point qu'elles laissent souvent des résidus, qui seront éventuellement éliminés par brossage. Les bentonites présentent une forte rétraction au séchage, provoquant ainsi un décollement de la compresse, pouvant nuire au processus. Les kaolins, bien que plus coûteux, ne présentent pas cet inconvénient.

1. Les composés celluloseux

Les pulpes de papiers et les poudres de cellulose sont très largement utilisées. Les poudres de cellulose par exemple font des pâtes onctueuses agréables à manipuler. Elles retiennent cependant mal l'eau et adhèrent insuffisamment aux parois verticales. Une étude faite au British Museum a montré que le papier buvard absorbe mieux les sels que la cellulose en poudre ou le papier filtre. Leur mise en œuvre est enfin plus longue que celle des argiles, et la cellulose est sensible aux contaminations biologiques (développement de moisissures).

2. Les autres composés

La laine de roche, matériau habituellement employé pour l'isolation dans le bâtiment, est, sous forme spécifique, proposée pour réaliser des cataplasmes de dessalement. Le matériau est utilisé dans le cadre d'un procédé dont l'originalité tient au fait que la compresse peut être humectée pendant une durée contrôlable grâce à des tubes microporeux connectés à une alimentation d'eau. Ces tubes sont fixés temporairement dans les joints de maçonnerie sous la compresse.

3. Les mélanges

Des associations très diverses ont été testées. On ne peut cependant généralement pas se faire une idée claire de l'apport spécifique de chaque constituant. Le mélange cellulose : attapulgite à 2 : 1 en poids par exemple est considéré comme bien adhérent, facile à modeler et peu rétractable au séchage. Un autre mélange à base de cellulose, bentonite et sable (1 : 1 : 6 vol) est également peu rétractable au séchage et facile à éliminer. D'autres mélanges dépourvus de constituants organiques peuvent donner des résultats intéressants : par exemple, un mélange silice micronisée + sable fin.

Les propriétés de certains ajouts sont connues, même si elles n'ont pas été quantifiées précisément (cf. tableau suivant).

Propriétés conférées aux compresses par divers types d'ajouts :

NATURE DES AJOUTS	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
sable	limite la rétraction au séchage	Non signalé
pentachlorophénate de Na (sodium)	évite le développement de moisissures sur compresses	Non signalé
grillage de préférence plastique	améliore adhésion au support	Non signalé
biocide à base d'ammonium quaternaire	évite le développement de moisissures sur compresses	entrave le suivi du dessalement par mesures de conductivité
bandes de toile de jute à maille large	Meilleure tenue de la compresse sur surfaces incurvées	Non signalé
gaze	limite destruction épiderme	limite l'adhésion au support
tensioactifs	améliorent adhésion au support	Non signalé
carboxyméthylcellulose (colle à papier peint), agar-agar, gels protéiques	améliorent adhésion au support	Entravent la pénétration d'eau dans le support

La laine de roche est proposée par certains comme additif de compresses de dessalement à base de sable, cellulose et attapulgite. Ce matériau fibreux confère une meilleure tenue dans le temps aux cataplasmes.

Les mélanges à base de chaux peuvent aussi s'avérer intéressants, dans le cas où la compresse doit rester quelque temps en place pour servir de couche sacrificielle dans l'attente d'une restauration.

Outre la nature des compresses, les paramètres généralement considérés comme importants sont ***l'épaisseur des compresses et la teneur en sels solubles*** des compresses vierges.

Teneur en sels soluble des compresses vierges

Il est indispensable que les matériaux soient exempts de sels solubles. Cela peut être vérifié par une mesure de conductivité ou mieux par un dosage de sels solubles. A titre indicatif, la conductivité de quelques eaux est donnée ci-dessous, elle peut servir de base de comparaison.

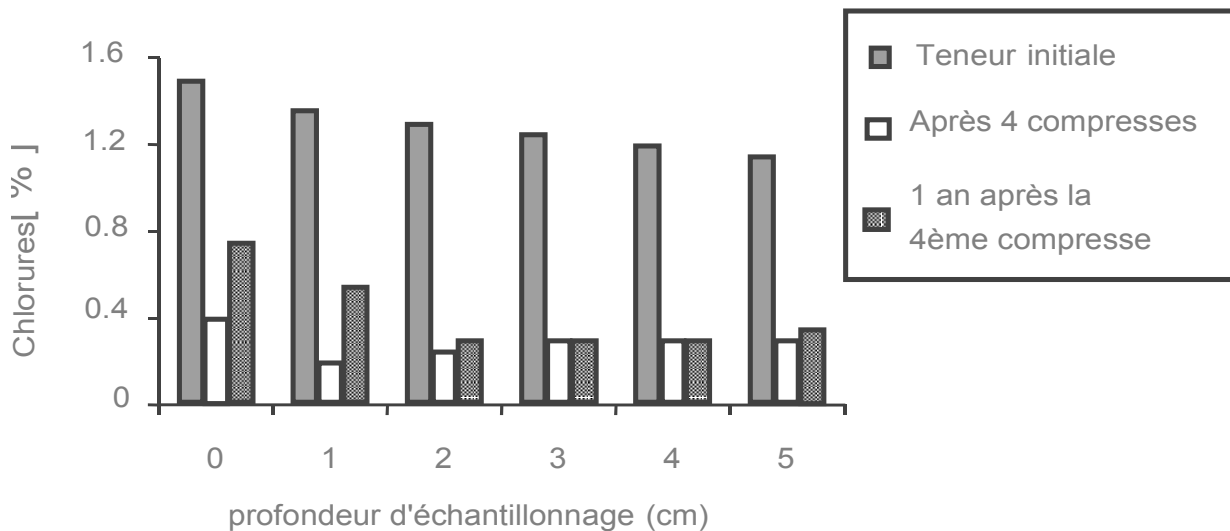
Épaisseur des compresses

Aucune étude n'a été faite à notre connaissance sur ce paramètre. L'impression générale que donne la littérature est que l'on essaye de faire en sorte que les compresses soient les plus épaisses possibles sans qu'elles tombent sous leur propre poids. Cela correspond généralement à une épaisseur d'environ 2 cm. Ce paramètre a cependant été étudié dans le cas de compresses de nettoyage en carboxyméthylcellulose. Ce travail a montré que de multiples applications de fines couches étaient plus efficaces qu'une seule application en couche épaisse.

9.3.2.3 - AVANTAGES, INCONVÉNIENTS ET RECOMMANDATIONS

Si la méthode des compresses a le mérite de pouvoir s'appliquer *in situ*, elle présente un inconvénient majeur : la profondeur atteinte par le front de dessalement est faible. Elle dépasse rarement 5 à 10 cm, alors que dans certains cas une pollution saline peut intéresser toute l'épaisseur d'un mur, c'est à dire souvent plus d'un mètre dans les monuments anciens. Les reprises d'altération dues aux migrations des sels résiduels vers la surface sont ainsi l'une des causes majeures d'insuccès à moyen terme de la méthode. On peut citer à titre d'exemple le cas du dessalement d'une salle de la Tour de Londres, réalisé par la méthode des compresses d'argile dans les années 1970. Juste après le dessalement, des teneurs en chlorure, jugées à l'époque, tout à fait satisfaisantes avaient été atteintes. Mais un an après, les chlorures avaient de nouveau contaminé la surface des pierres par diffusion, la cause de migration des sels n'ayant pas été supprimée.

Évolution de la teneur en chlorures d'une maçonnerie après dessalement par compresse d'après M. J. Bowley* :



Un dessalement superficiel, bien que non admissible en règle générale, peut cependant être envisagé dans les cas suivants :

- si l'on souhaite obtenir une bonne adhésion d'un mortier de réparation,
- si l'on doit appliquer un produit consolidant ; il faut alors choisir un produit qui ne possède pas de propriété hydrofuge en plus de sa propriété consolidante.
- si la cause de migration des sels est supprimée : plus d'apport d'eau par infiltration, remontée capillaire, condensation.

9.3.2.4 - CONTRÔLE D'UN DESSALEMENT PAR COMPRESSES

Le contrôle du dessalement peut se faire par dosage des sels totaux ou de certains ions caractéristiques dans les compresse successivement appliquées sur le parement.. Il faut savoir que les dosages de sels dans les argiles peuvent donner des résultats faux car ces matériaux ont la capacité de retenir certains ions.

La mesure de la conductivité de suspensions de compresse polluées est une autre méthode couramment employée.

Lorsqu'une comparaison d'efficacité de compresse de différentes natures est envisagée, il faut veiller à exprimer les résultats en grammes par unité de surface et non en grammes par unité de poids de la compresse, car à poids sec égal, la superficie recouverte par différents types de compresse peut varier considérablement selon leur densité et leur limite de plasticité. La même remarque est à faire quand des compresse de même nature mais d'épaisseurs différentes sont comparées. Ainsi, dans tous les cas où des compresse constituées de matériaux à densité très différente sont testées, le fait de classer l'efficacité des produits en % pondéral de sels captés favorise beaucoup les produits les moins denses, ceux qui captent le plus d'eau pour devenir pâteux et enfin ceux qui sont étalés en moins grande épaisseur.

En présence de certaines argiles, la courbe de conductivité peut montrer de fortes valeurs pas uniquement dues aux sels mais aussi aux propriétés d'adsorption des argiles elles-mêmes. Le même problème se pose si on ajoute un biocide ionisé tel un ammonium quaternaire à l'eau d'humectation des compresse.

* Desalination of stone : a case study, Building Research Establishment, Garston 46 (1975)

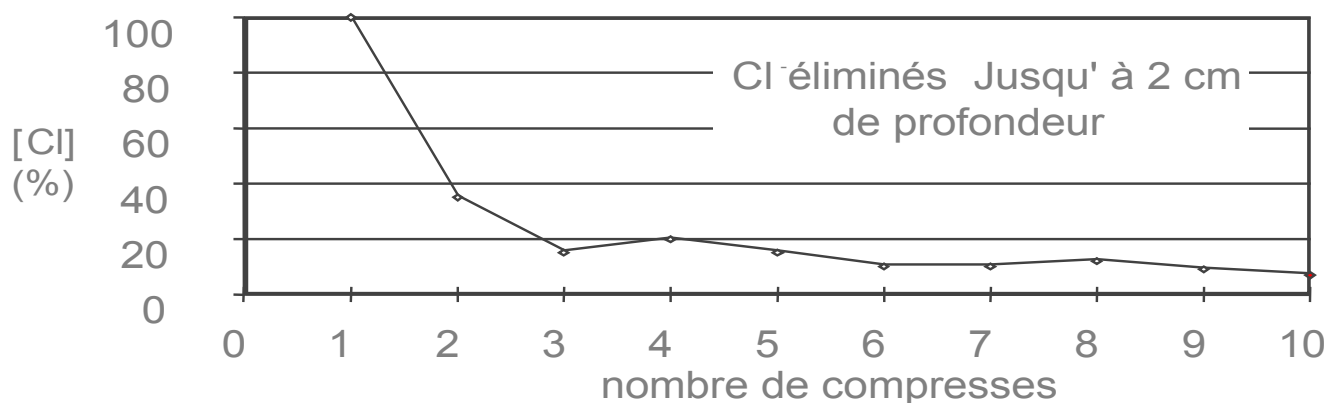
Pour une même efficacité de dessalement de 25 grammes par mètre carré, la teneur en chlorures mesurés en % pondéral de compresse sèche varie énormément d'un type de matériau à l'autre.



Le moment auquel une compresse doit être enlevée est déterminé soit par le moment de son décollement soit par le moment à partir duquel elle est complètement sèche. Une compresse sèche ne peut en effet être efficace. Il est important d'attendre la dessiccation complète de la compresse avant de la retirer. Par ailleurs, si une compresse se détache prématurément de son support, il ne faut pas la ré-humecter et la ré-appliquer car elle pourrait contaminer le support. Il faut au contraire la détacher complètement, la jeter et la remplacer par une compresse neuve.

Certains auteurs ont tenté de préconiser des critères pour évaluer les dessalements par compresses. Il a été ainsi affirmé que la courbe d'évolution des conductivités de compresses successives doit être toujours décroissante pour qu'un dessalement soit correct. En fait, on peut trouver des cas où un dessalement conforme aux recommandations précédentes n'a finalement pas donné satisfaction, car les sels ont été éliminés régulièrement mais jusqu'à une profondeur insuffisante.

Recommandations pour un dessalement correct, selon V. Fassina and C. Molteni,* . Les courbes représentent l'évolution de la conductivité en fonction du nombre de compresses. Il s'avère en fait **que même si un dessalement par compresses se déroule selon le schéma "bon", son résultat peut être mauvais.**



Par ailleurs, on considère souvent qu'un dessalement est terminé quand la conductivité ou la teneur en sels des compresses n'évolue plus. En fait cette caractéristique ne veut pas dire que la totalité de l'objet a été débarrassée de ses sels, mais seulement qu'il a été correctement dessalé jusqu'à une certaine profondeur, déterminée par la profondeur atteinte par le front d'humectation lors du dessalement. Le dosage des sels dans les compresses ne suffit ainsi pas pour affirmer qu'un dessalement est correct.

Suivi des teneurs en chlorures au cours d'un dessalement par compresses. Les auteurs ont constaté après coup que les chlorures n'avaient été éliminés que jusqu'à 2 cm de profondeur.

* Problemi di conservazione connessi all'umidità delle murature: la diagnostica e le tecnologie conservative applicate al restauro della cripta di S. Marco in Venezia, in La conservation dei monumenti nel bacino del Mediterraneo = The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Proceedings of the 3rd International Symposium, V. Fassina, H. Ott, F. Zezza, Editors, 803-813, Venice (1994)

CHAPITRE 10 - REJOINTOIEMENT DES OUVRAGES DE MAÇONNERIE

10.1 - PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES REJOINTOIEMENTS

L'examen préalable du parement (maçonnerie et rejointoiement) permet de définir la finition, la nature des matériaux et la formulation du mortier (identiques ou les plus appropriés au rejointoiement à réaliser).

10.2 - CONDITIONS CLIMATIQUES

Les rejointoiements ne doivent pas être entrepris en période de gel ; ni sauf précautions spéciales ;

- sur des supports trop chauds ou desséchés
- sous vent sec.

On admet habituellement que les travaux de rejointoiement peuvent être effectués lorsque la température est comprise entre 5 et 30° C.

Parmi les précautions spéciales à prendre au-dessus de 30° C, on peut citer :

- la protection du support contre un échauffement excessif ;
- l'humidification dans la masse du support desséché.

10.3 - PRÉPARATION DES SUPPORTS DESTINÉS À RECEVOIR UN REJOINTOIEMENT :

Piochement d'anciens joints (partiel ou total)

Le piochement des joints peut se faire manuellement ou mécaniquement dans la mesure où l'appareil maçonné reste en l'état. Dans le cas de piochement de joint de ciment, les joints seront tranchés dans leur axe à la meuleuse d'angle afin de limiter les épaufrures au piochement.

Selon leur cohésion et adhérence, les joints sont dégarnis sur 1 à 3 cm de profondeur.

Préparation des supports

Avant rejointoiement, la maçonnerie est nettoyée par brossage et dépoussiérée à l'air comprimée ou à l'eau dont les pressions doivent être adaptées à la friabilité des matériaux.

Le support doit être humidifié dans la masse, jusqu'à 24 heures avant application du rejointoiement, mais l'eau ne doit plus perler ou ruisseler en surface au moment de l'application du mortier, toutes précautions pour éviter d'endommager les parties existantes devant être prises au préalable.

10.4 - DONNÉES À CONNAÎTRE SUR L'ÉTAT EXISTANT DU SUPPORT ET DES JOINTS ANCIENS EN VUE DE LA RÉFECTION PARTIELLE OU TOTALE DU REJOINTOIEMENT

Données à connaître sur la nature des altérations :

- diagnostic visuel sur le site : observation des morphologies des altérations (pulvérulence, microfissuration, décollement, efflorescences, salissures, colonisations biologiques) et leur localisation
- nature et état (fissure, frange capillaire, infiltration d'eau ...) de la maçonnerie (appareil, mortier de hourdage)
- humidité, sels solubles

Données à connaître sur le jointoiement ancien :

- type de finition, présence ou non de peintures à la chaux
- composition du mortier (granulats et phase liante)
- colorimétrie
- caractéristiques physiques (porosité, capillarité, perméabilité à l'air, à la vapeur d'eau, dureté superficielle)

10.5 - COMPOSITIONS DES MORTIERS

Le mortier constitutif du rejointoiement doit répondre aux conditions suivantes :

- protéger le parement sans être étanche à la vapeur d'eau
- avoir une bonne adhérence sur le support
- présenter un aspect extérieur satisfaisant

Dosages :

Quelque soit le type de jointoiement, le mortier doit être suffisamment dosé pour bien être accroché sur le support.

Selon le volume du mortier posé (un des paramètres du retrait à la prise), les dosages en liant peuvent être très variables : ils peuvent être de 300 à 400 kg de liant pour 1 m³ de granulats secs de forte granulométrie (0-3 à 0-6 mm) en ce qui concerne les gros joints de la maçonnerie de moellons, de 500 à 1000 kg pour 1 m³ de granulats secs de granulométrie fine.

10.6 - EXÉCUTION DES REJOINTOIEMENTS

Le champ de la « réfection à l'identique » recouvre le cas des jointoiements existants, mais aussi de ceux qui ont pu exister, compte tenu des témoins découverts sur place ou par analogie.

Finition :

L'opération de finition est importante sur le plan esthétique. Elle peut être beurrée. Selon leur fonction et mode de mise en œuvre, les jointoiements présentent des finitions et des aspects de surfaces différents.

Le rôle du jointoiement peut être unique : assurer une étanchéité relative à l'ensemble du parement. Il participe, de ce fait, à la solidité de l'ensemble de la maçonnerie. Il peut être beurré, gratté et recouvert d'un lait de chaux.

Le jointoiement peut également participer à la présentation du parement du bâti : il dessine alors un appareillage plus précis que celui de la maçonnerie.

Sa réalisation est, dans ce cas, élaborée :

- gravures ou surépaisseurs
- utilisation de mortiers de compositions et colorations diverses
- colorations en technique à fresque ou coloration dans la masse des mortiers par les granulats, par l'utilisation des pigments minéraux ou en technique de peinture à la chaux à sec

Utilisation d'outils spécifiques : fers à joints concaves, convexes pour les gravures et joints ruban...

Les joints doivent être protégés contre les vents secs et chauds ou un fort ensoleillement par tout dispositif à soumettre à l'architecte. Les bâches en plastique translucides, susceptibles de provoquer une surchauffe, sont proscrites.

Pour éviter les phénomènes d'efflorescences, il est interdit, pendant les périodes particulièrement humides, d'appliquer les mortiers de rejointoiement par une température inférieure à 8° C.

CHAPITRE 11 - ENDUITS - DESCRIPTION ET PRÉPARATION DE L'ÉTAT EXISTANT ET DU SUPPORT

11.1 - PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

La surface des supports doit être propre, exempte de traces de suie, de poussière, de salpêtre, etc. susceptibles de nuire à l'adhérence.

Toutes les matières sans cohésion et pulvérulentes, doivent être éliminées.

Exécution des surcharges :

Selon leur cohésion et adhérence, les joints du gros-œuvre sont dégarnis sur 1 à 3 cm de profondeur, Ensuite, avant regarnissage effectué en même temps que la 1ère couche, les joints et parements sont brossés, dépoussiérés à la brosse ou à l'air comprimé dont la pression doit être adaptée à la friabilité des mortiers.

Le support doit être humidifié dans la masse, jusqu'à 24 heures avant l'application de l'enduit, mais l'eau ne doit plus perler ou ruisseler en surface au moment de l'application de l'enduit, toutes les précautions pour éviter d'endommager les parties existantes devant être prises au préalable.

Si les surfaces à enduire présentent des inégalités de moins de 3 cm mais dont l'importance ne permet pas l'application directe de l'enduit, les surcharges en renformis, pour redresser la maçonnerie, sont exécutées avec un mortier de chaux aérienne, de chaux hydraulique naturelle ou bâtard de ces deux liants suivant prescriptions du CCTP.

Lorsque les creux et inégalités locales doivent être rattrapés et nécessitent une épaisseur de mortier comprise entre 3 et 5 cm, une surcharge, qui ne doit être que locale, est exécutée au mortier bâtard, sauf prescriptions du CCTP et doit comporter une armature constituée d'un treillis en métal non corrodable par nature ou rendu tel, dont les caractéristiques sont données au CCTP.

Lorsque les creux et inégalités doivent être rattrapés, et nécessitent une épaisseur de mortier supérieure à 5 cm, le redressement en surcharge est remplacé par un ouvrage en maçonnerie compatible avec celui de la paroi du support, sauf prescriptions contraires du CCTP.

Lorsque le support est constitué de matériaux différents, il doit être mis en place, au niveau de la jonction des deux matériaux, un treillis non corrodable, dont les caractéristiques sont données au CCTP, afin d'empêcher la fissuration de l'enduit due aux mouvements thermo-hygrométriques différentiels des deux matériaux.

Préparation du support :

D'une façon générale, la réfection "à l'identique" de l'enduit doit satisfaire naturellement, sauf cas d'espèce, aux conditions de protection, d'adhérence et d'aspect rappelées en 12.1 sur les mortiers constitutifs de l'enduit, sous réserve que le support ait conservé tous les ouvrages de protection nécessaires (corniches, saillies, bandeaux, soubassements, etc.).

Dans le cas inverse, la restauration de ceux ci est une solution permettant d'assurer la durabilité de l'enduit dans le respect de l'architecture d'origine. On peut également en renforcer l'efficacité par des protections en plomb, en zinc, etc. (on évite les métaux corrodables et les produits qui risquent de tacher les parements).

L'adjonction d'ouvrages de protection, susceptibles de modifier l'aspect et l'architecture, n'est à envisager que sur cas d'espèce, appuyés par une étude particulière.

11.2 - PIOCHEMENT D'ANCIENS ENDUITS (TOTAL OU PARTIEL)

Le piochement d'anciens enduits demande de la part de l'entreprise une attention toute particulière en raison de la présence possible d'éléments à caractère archéologique.

11.2.1 - RÈGLES DE CONSTRUCTION - NORMES - DTU

NF P 15-201-1/A1 référencée DTU 26.1 Enduits au mortier de liants hydrauliques, maçonnerie enduite (article 3.4).

Le mur doit être débarrassé de tous revêtements anciens. Il est nécessaire de procéder à un brossage à la brosse métallique, et dans certains cas, à un lavage à l'eau à pression modérée.

Dans le cas de découverte, sous l'enduit, d'éléments non mentionnés au CCTP présentant un caractère archéologique ou de matériaux non prévus (telles que briques vernissées ou émaillées, peintures murales...) l'entreprise doit immédiatement en informer l'architecte qui décidera des dispositions à adopter.

Les zones à enduire devront être débarrassées de tous les revêtements anciens tels qu'enduit de chaux, de mortier de ciment, de plâtre, de stuc, etc.

Que les supports restent après enlèvement de l'enduit, apparents ou non, l'entreprise doit prendre toutes dispositions pour ne pas mutiler l'épiderme sauf si l'architecte prescrit formellement le piquage ou le martelage des moellons pour permettre l'adhérence de l'enduit.

Dans le cas où le support est destiné à être enduit. La préparation des supports dans les conditions prescrites ci-après.

Le remplacement d'un enduit plâtre par un enduit à base de liant hydraulique sous-entend la compatibilité des matériaux - maçonnerie - joints - enduit. [Voir article 13.6 du présent fascicule]

11.3 - PRÉPARATION DES SUPPORTS EN BRIQUE DESTINÉS À RECEVOIR UN ENDUIT

Les peintures ou les vernis (quelle que soit leur nature) appliqués sur les surfaces de murs doivent être enlevés (mis à nu, brossés et lavés ou par utilisation de décapants chimiques).

Les décapants chimiques risquant de réagir sur l'enduit sont proscrits.

11.4 - PRÉPARATION DES SUPPORTS EN MOELLONS DESTINÉS À RECEVOIR UN ENDUIT

Si les aspérités du moellon ne sont pas jugées suffisantes pour permettre l'adhérence de l'enduit, les parements peuvent être piqués ou martelés, mais seulement sur ordre formel de l'architecte. Les moellons, caillasses ou parties de blocs crevassés, dégradés doivent être purgés à vif, enlevés et remplacés.

11.5 - DONNÉES À CONNAÎTRE SUR L'ÉTAT EXISTANT DU SUPPORT

11.5.1 - DONNÉES À CONNAÎTRE EN VUE DE LA CONSOLIDATION D'UN ENDUIT ANCIEN ALTÉRÉ

Données à connaître sur la nature des altérations : [Voir article 19.4.2.1 – Tableau 1 pour les essais à effectuer]

- Diagnostic visuel sur le site : observation des morphologies des altérations (pulvérulence, microfissuration, décollement, efflorescences, salissures, colonisations biologiques) et de leur localisation,

- Nature et état (fissures, frange capillaire, infiltration d'eau...) du support (pierres, joints ...),
- Sels solubles,
- Humidité de l'enduit voire du support si infiltrations ou remontées capillaires possibles.

Données à connaître sur l'enduit ancien (prélèvements par carottage ou sciage, type de finition, présence ou non d'une peinture à la chaux) : [Voir article 19.4.2.1 – Tableau 2 pour les essais à effectuer]

Épaisseur de l'enduit, stratigraphie,

- Colorimétrie,
- Composition de l'enduit (granulats et phase liante),
- Porosité,
- Capillarité,
- Perméabilité à l'air (ou à l'azote) ou perméabilité à la vapeur d'eau,
- Dureté superficielle.

11.5.2 - DONNÉES À CONNAÎTRE EN VUE DE LA RÉFECTION PARTIELLE D'UN ENDUIT ANCIEN LACUNAIRE

(l'existant est une maçonnerie présentant des restes d'enduit plus ou moins importants)

Il s'agit de déterminer les propriétés de l'ancien enduit encore présent sur le parement.

Données à connaître sur la nature des altérations : [Voir article 19.4.2.2 – Tableau 3 pour les essais à effectuer]

Épaisseur de l'enduit, stratigraphie, type de finition, présence ou non d'une peinture à la chaux)

- Diagnostic visuel sur le site : observation des morphologies des altérations (pulvérulence, microfissuration, décollement, efflorescences, salissures, colonisations biologiques...) et de leur localisation et du pourcentage des surfaces concernées,
- Nature et état (fissures, frange capillaire, infiltration d'eau...) du support (pierres, joints ...),
- Sels solubles,
- Humidité de l'enduit voire du support si infiltrations ou remontées capillaires possibles.

Données à connaître sur l'enduit ancien : [Voir article 19.4.2.2 – Tableau 4 pour les essais à effectuer]

Épaisseur de l'enduit, stratigraphie,

- Composition de l'enduit (granulats et phase liante),
- Porosité,
- Capillarité,
- Perméabilité à l'air (ou à l'azote) ou perméabilité à la vapeur d'eau.

11.5.3 - DONNÉES À CONNAÎTRE EN VUE DE LA RÉFECTION TOTALE D'UN ENDUIT

(l'existant est une maçonnerie sans enduit ou avec un enduit récent à piocher)

Il s'agit de s'assurer de la compatibilité de l'enduit avec son support. Si l'enduit est à piocher, se reporter préalablement aux recommandations de l'article 11.2 .

Données à connaître sur le (ou les) support (s) (pierre et mortier de joint si celui-ci représente une part importante de la surface à enduire) [Voir article 19.4.2.3 – Tableau 5 pour les essais à effectuer]

Nature des supports (type de pierre, mortier de joint ...),

- Diagnostic visuel des altérations éventuelles : observation des morphologies des altérations (pulvérulence, fissuration, décollement, efflorescences, salissures, colonisations biologiques, remontées capillaires, infiltration d'eau...) et de leur localisation, suivi de leur traitement,
- Sels solubles,
- Porosité,
- Capillarité,
- Perméabilité à l'air (ou à l'azote) ou perméabilité à la vapeur d'eau (sur échantillons carottés),
- Humidité du support si infiltrations ou remontées capillaires possibles.

CHAPITRE 12 - RESTAURATION DES ENDUITS

12.1 - CONSOLIDATION

Les conditions de conservation et de consolidation des enduits décorés ou non seront précisées au CCTP.

Les causes de dégradation des enduits anciens - pénétration d'eau par capillarité ou agents atmosphériques (vent, pluies et gel) - provoquent un effet de pulvérulence et (ou) un décollement de la couche support (perte de cohésion), et/ou une fissuration.

L'enduit peut se présenter de manière fragmentaire, et/ou être usé, pulvérulent, décollé.

La conservation des enduits anciens sera opérée de la manière suivante :

1. Recherche et élimination des causes de pénétration d'eau par tous procédés adaptés,
2. Consolidation des parties pulvérulentes à l'aide de silicate d'éthyle ou d'un autre durcisseur testé et approuvé par le laboratoire agréé par l'architecte,
3. Reconstitution de l'adhérence de l'enduit à la maçonnerie support après colmatage par injection des fissures et réalisation de solins autour des surfaces conservées. Le CCTP précise la technique spécifique par exemple, injection d'un coulis par seringue, complété éventuellement d'un accrochage mécanique du type clous non corrodables.

Le coulis est injecté après colmatage des fissures et réalisation des solins nécessaires autour des surfaces conservées.

La consolidation par micro-injections obliques sera exécutée à la seringue dans un semis de forages en quinconce espacés d'au moins 15cm.

Dans le cas de grandes surfaces délaquées, l'opération sera réalisée en apposant des plaquettes de bois maintenues sous pression sur l'enduit ancien. L'utilisation de clous de céramique pourra garantir une bonne tenue à terme.

Exemples de coulis :

- Coulis constitué à base de :

Chaux hydraulique naturelle,

Pouzzolane superventillée,

Emulsion acrylique. (Inconvénient de ce coulis : coloration grise due à la pouzzolane.)

- Formule simplifiée :

Chaux hydraulique,

Poudre de marbre,

Eau.

- Produits prêts à l'emploi après essais préliminaires.

4. Complément d'enduit dans les zones lacunaires avec un mortier de même nature pour la sous-couche et la couche de finition (dureté, grain et couleur) selon les analyses de l'existant réalisées suivant l'article 11.5.2 du présent fascicule.

5. Données à connaître sur les produits utilisés

Produit de consolidation : [Voir article 19.4.3.1 – Tableau 6 pour les essais à effectuer]

Formulation,

- Comportement sur zones d'essai *in situ*.

Mortier de colmatage : [Voir article 19.4.3.1 – Tableau 7 pour les essais à effectuer]

- Formulation,
- Sels solubles,
- Porosité,
- Comportement sur zones d'essai *in situ*.

Coulis d'injection : [Voir article 19.4.3.1 – Tableau 8 pour les essais à effectuer]

- Formulation,
- Retrait,
- Sels solubles,
- Viscosité,
- Injectabilité,
- Résistance à l'arrachement,
- Porosité,
- Capillarité,
- Comportement dans des zones d'essai *in situ*.

12.2 - TRAITEMENTS DE SURFACE

12.2.1 - NOTE GÉNÉRALE

Les matériaux non normalisés ne sont mis en œuvre que sur stipulations du marché ; l'entreprise doit fournir à l'architecte toutes les attestations de bonne tenue dans le temps de ces matériaux (avis techniques d'organismes agréés, procès-verbaux de laboratoires référencés).

En cas de doute sur la bonne tenue de ces matériaux, il appartient à l'entreprise d'explicitier ses réserves par écrit à l'architecte.

12.2.2 - PATINES

Il s'agit de produits de fabrication artisanale ou manufacturés. Les patines sont destinées à harmoniser les parties refaites avec les parties existantes, elles doivent disparaître avec le temps pour laisser place à la patine naturelle.

Les produits d'accrochage sont réservés aux cas d'espèces. Ils doivent être compatibles avec le milieu basique, présenter une bonne résistance à l'hydrolyse et ne créer en aucun cas de barrière étanche s'opposant aux échanges de vapeur d'eau avec l'atmosphère.

Ils doivent être et mis en œuvre conformément aux prescriptions du fabricant.

12.2.3 - BADIGEON DE CHAUX

Il s'agit de produits de fabrication artisanale ou manufacturés. Les éléments entrant dans la composition d'un badigeon de chaux sont : l'eau, les chaux (Naturelles : CL, DL, pâte et NHL), les pigments. Des adjuvants peuvent être ajoutés à ces trois composants de base pour améliorer telle ou telle performance de ces peintures.

Le badigeon pourra être appliqué soit en technique à fresque ou à sec.

12.2.4 - TRAITEMENT BIOCIDES

Définitions et fonction.

Les algues et lichens qui se développent sur les œuvres d'art (façades de monuments, statuaire en pierre, vitraux...) sont responsables de nombreuses "salissures" organiques de couleur variée.

Ces recouvrements participent à l'altération du support :

- par le phénomène de rétention d'eau qu'ils entraînent ;
- par la production de certains acides organiques ;
- de façon mécanique par l'accrochage, sur le support, de leurs racines (appelées rhizoïdes ou rhizines pour les lichens).

Les facteurs qui jouent un rôle dans leur installation et leur développement sont essentiellement l'humidité et la lumière.

Sur un matériau rocheux, les algues sont souvent les premiers colonisateurs visibles. La nature du substrat n'apparaît pas très importante puisqu'on retrouve les algues sur les granites, les calcaires mais aussi les enduits, les bétons et même les peintures murales.

Dans le cas de développement d'algues, le terme " salissure biologique " va être lié à un aspect chromatique du support. Globalement, trois types peuvent être distingués :

– Les salissures vertes :

On va les rencontrer sur des supports très lisses (vitraux) jusqu'à des supports très rugueux (pierre) et toujours très humides.

L'orientation " Nord " est souvent privilégiée. On y trouvera un mélange de *chlorophycées* (algues vertes) comme Chlorococaccées et Ulotricaccées et de *cyanobactéries* (algues bleues) comme Aphanocapsa, Nostoc, Gloeocapsa.

– Les salissures noires :

On va les rencontrer en extérieur sur des supports rugueux et plutôt orientés à l'ouest, mais également en situation intérieure dans une ambiance très humide. Les responsables sont principalement des cyanobactéries.

– Les salissures rouges :

Les algues dominantes dans ce type de recouvrement sont les chlorophycées de la famille des Trentépolhia. On les rencontre sur des substrats exposés aux vents pluvieux (Nord - Nord Ouest).

Outre la rétention de l'humidité à la surface du matériau, les dépôts végétaux peuvent, par leur constitution et leur produit de décomposition, être une réserve nutritive à une microflore bactérienne nuisible.

L'élimination de ces végétaux apparaît comme nécessaire tant sur le plan esthétique que conservatoire pour le matériau support.

Sélection de produits biocides.

Les produits biocides disponibles sur le marché sont le plus souvent identifiés comme des "algicides" et sont pratiquement tous de la famille des ammoniums quaternaires. Il n'existe pas de produits spécifiquement "lichénicides". Les produits à utiliser contre les lichens sont donc ceux de la gamme "algicide".

Après une série de tests *in situ* et en laboratoire, le Laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH) a sélectionné quatre biocides, à base d'ammonium quaternaire, efficaces dans la lutte et l'élimination de ces recouvrements. Tous ces produits sont habituellement dilués dans l'eau à des concentrations indiquées par les fournisseurs. L'application se fait par pulvérisation ou au pinceau.

Il existe un nombre très important de marques et appellations de produits à base d'ammonium quaternaire qui peuvent donner de bons résultats mais n'ont pas été testés.

Conseils d'emploi

Si le traitement se fait en extérieur, il doit être réalisé par temps sec pour éviter le lessivage du biocide par l'eau de pluie. Les applications en période hivernale sont à proscrire.

Le biocide doit être appliqué pendant 2 à 3 jours consécutifs, à raison d'une application par jour, à la concentration préconisée par le fabricant.

Il faut laisser agir le produit au moins 4 à 5 semaines pour obtenir une action complète, c'est-à-dire le dessèchement des végétaux.

Quand les recouvrements sont bien desséchés (donc morts), ils s'éliminent facilement par brossage doux, à sec.

Après élimination des recouvrements, une dernière pulvérisation de biocide sur le matériau propre assure un effet préventif. Des applications ultérieures régulières (tous les deux ans environ) permettent d'éviter les re-colonisations.

Il faut noter que lorsque l'application d'un biocide précède celle d'un hydrofuge à base de résine silicone ou polysiloxane, il est impératif, en préalable à l'hydrofugation, de rincer le matériau à l'eau pour éliminer toute trace de biocide (l'ammonium quaternaire du biocide et le silicone de l'hydrofuge étant incompatibles).

Autre technique.

- Testée plus particulièrement sur les lichens : **la vapeur d'eau sous faible pression.**

Le traitement à la vapeur consiste à faire gonfler les recouvrements lichéniques sous l'action d'un jet de vapeur sous faible pression. La production de vapeur peut être assurée par une machine type « décolleuse à papier peint » ou autre système type « centrale vapeur ». Simultanément, un grattage manuel, au racloir, à la brosse douce ou à l'éponge permet l'élimination des lichens.

Cette technique constitue une solution intéressante, qui permet également d'éliminer les salissures noires, liées à la pollution atmosphérique. Elle peut être complétée par une simple pulvérisation de produit biocide, à titre préventif.

Mise en garde

- Produits du commerce contenant de l'hypochlorite de sodium (eau de Javel).

L'eau de Javel est un biocide alcalin, au pouvoir oxydant fort et très efficace pour la désinfection. Il va tuer et décolorer les microorganismes quasiment instantanément. Mais l'inconvénient majeur dans le traitement de surfaces poreuses comme la pierre est sa forte teneur en chlorure de sodium qu'il produit. En effet un voile blanc, lié à une cristallisation de sels, peut apparaître sur la pierre après application. Ces sels peuvent engendrer des altérations ultérieures du matériau, s'ils ne sont pas éliminés par un rinçage minutieux.

Nous déconseillons l'emploi de ce type de produits sur les pierres poreuses.

Suivi.

Après le traitement, il peut être nécessaire de ré-intervenir sur les zones traitées. A l'issue du traitement les fiches techniques et de sécurité des produits, les bordereaux de traitements (modèle en annexe du CCTP) ainsi que la carte de répartition des zones traitées seront regroupés dans un même dossier et produit dans le DDOE.

12.2.5 - ANTIGRAFFITI

Définition

Un produit antigraffiti est un produit destiné à rendre possible l'élimination d'une peinture ou d'une encre. On distingue les produits **antigraffitis préventifs**, destinés à protéger le parement, des produits curatifs, destinés à éliminer les graffitis.

Les produits préventifs sont souvent des résines à base acrylique, adjuvantées ou non de téflon, des résines polyuréthanes ou des résines silicones. On trouve également des microcires, ou des produits à base de polysaccharides.

La famille des produits antigraffitis préventifs comprend :

- **Les produits permanents** qui ne sont pas évacués même lorsque le graffiti est éliminé ;
- **Les produits sacrificiels** qui sont partiellement ou totalement évacués en même temps que le graffiti lors de son élimination, ce qui impose un retraitement après chaque opération de dégraffitage.

Ce chapitre ne traite que des produits préventifs.

Fonction

On exige d'un traitement antigraffiti préventif :

- Qu'il assure une protection efficace du parement ;
- Qu'il ne change pas l'aspect (couleur, brillance, rugosité) du mur ni sa susceptibilité à l'encrassement (physico-chimique et biologique) ;
- Qu'il affecte le moins possible la perméabilité à la vapeur d'eau des matériaux traités ;
- Qu'il n'engendre aucune dégradation de nature physico-chimique (sels) ou biologique (développement de moisissures).

La protection des parements par l'application d'un produit antigraffiti doit faire l'objet d'une étude préalable comprenant :

- Une étude en laboratoire, dont l'objectif est de définir des conditions qui assurent une qualité de protection suffisante ou acceptable ;
- Une phase de tests sur le terrain, visant à évaluer simultanément l'impact esthétique, l'efficacité du traitement et son adaptabilité aux contraintes du site ;
- L'établissement d'un protocole d'application adapté.

Etude préalable

L'objectif principal de l'étude consiste d'une part à déterminer le degré de protection du parement contre la pénétration des graffiti, et d'autre part d'évaluer l'influence de la présence superficielle d'un produit sur les propriétés initiales de l'enduit (persistance du traitement et innocuité). Pour sélectionner un produit sur la base de l'évaluation des performances du traitement, il convient d'effectuer un certain nombre de tests à la fois en laboratoire et sur le terrain.

L'impact des traitements est évalué en comparant avant et après application, certaines propriétés physiques des pierres. Les propriétés du parement traitées sont déterminées après un délai de 3 semaines au minimum.

Capacité de protection :

- Essai de résistance du film de produit à l'eau ruisselante, évalué soit par observation microscopique soit par des essais de reprise d'eau à la pipette de Karsten en fonction d'un nombre croissant de ruissellements d'eau ;
- Essai de résistance à l'encrassement.

Innocuité du traitement :

- Mesure de la perméabilité à la vapeur d'eau avant et après traitement ;
- Mesure de la couleur et de la brillance ;
- Caractérisation des états de surface (aspect et morphologie du film, encroûtement biologique).

Selon le type de produit, certaines propriétés complémentaires doivent être évaluées pendant l'étude préalable :

- Pour les produits sacrificiels, la fréquence recommandée de retraitement ;

- Pour les produits permanents, la persistance du film protecteur, la rémanence de son efficacité suite à une ou plusieurs opérations successives de graffittage-dégraftage.

Suivi

Après le traitement, il peut être nécessaire de suivre les zones traitées. Le borderau de traitement (en annexe au CCTP, article 15.3) assure la mémoire du traitement initial.

Le suivi sera mené d'un point de vue :

- physico-chimique et biologique : reprise d'altération, d'encroûtement ;
- esthétique : contrôle visuel de l'aspect des zones traitées, mesures de couleurs ;
- hydrodynamique : test de reprise d'eau à la pipette de Karsten sur une ou plusieurs zones de référence.

La fréquence d'intervention est fonction de la fréquence réelle de sollicitation du site protégé par le traitement antigraffiti. Les rapports de toutes les opérations seront regroupés dans un même dossier qui devra figuré au DDOE.

12.3 - VÉRIFICATION DE LA CONSOLIDATION DE L'ENDUIT ANCIEN

[Voir article 19.4.4.1 – Tableau 9 pour les essais à effectuer]

- Selon les possibilités, les contrôles sont réalisés lors des essais préalables en laboratoire sur des fragments ou sur des prélèvements dans les zones d'essais de convenance (prélèvement par carottage ou sciage),
- Dureté superficielle (à comparer avec les résultats sur l'enduit altéré),
- Colorimétrie (évaluation des variations de couleur induite par la consolidation),
- Profondeur d'imprégnation et consommation,
- Porosité,
- Capillarité ou perméabilité,
- Après la consolidation de l'enduit altéré, ces contrôles peuvent être répétés sur l'enduit restauré de manière à comparer ses propriétés avant et après consolidation.

CHAPITRE 13 - ENDUITS À NEUF ET RÉFECTION PARTIELLE DES ENDUITS

13.1 - PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES ENDUITS

13.1.1 - PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

L'examen préalable du support et des vestiges d'enduit [Voir Chapitre 11 - Enduits - Description et préparation de l'état existant et du support du présent fascicule] permet de définir la formulation et la nature des matériaux identiques ou les plus appropriés de l'enduit à réaliser. Les prescriptions générales seront conformes à la norme NF P 15-201 (DTU 26.1) sauf indication contraire du CCTP.

Nota : Il est à noter que la norme NF P 15-201 référencée DTU 26.1 définit les règles de préparation et d'exécution des enduits épais en matière de liants en poudre et qu'elle ne traite pas des enduits réalisés uniquement à base de chaux en pâte. Dans le cas d'utilisation d'un tel liant, il appartient à l'architecte d'être très précis dans ses stipulations puisqu'elles constituent les seules données contractuelles.

13.1.1.1 - RECHARGES ET RENFORMIS

La recharge constituée généralement de mortier et d'éléments de terre cuite est destinée à combler des cavités importantes d'une profondeur pouvant atteindre 10 cm.

Le renformis est constitué uniquement de mortier et est destiné à corriger les défauts de planéité ne dépassant pas les 5 cm d'épaisseur.

13.1.1.2 - ENDUITS

Les enduits à de liants hydrauliques et de chaux aériennes peuvent comprendre 2 à 3 couches,

13.1.2 - DOSAGES EN LIANT

Les dosages en liant du mortier de chacune des couches constituant l'enduit doivent être dégressifs ou équivalents, le plus fort étant pour le gobetis ou couche d'accrochage si cette couche est demandée au CCTP. Ils doivent tenir compte de la granulométrie des granulats.

13.1.3 - CONDITIONS CLIMATIQUES

Les enduits ne doivent pas être entrepris en période de gel, ni, sauf précautions spéciales :

- sur des supports trop chauds ou desséchés ;
- sous vent sec.

13.1.4 - PROTECTION HAUTE

La tranche supérieure d'un enduit doit être protégée. Si la protection n'est pas assurée par une toiture ou une saillie (appui de baie débordant par exemple), il peut être nécessaire de rapporter un ouvrage complémentaire.

13.1.5 - MISE EN ŒUVRE

L'enduit est réalisé soit au « jeté » directement sur le support, soit au jeté entre « nus et repères » qui permet d'obtenir des enduits à tolérance plus fine.

13.1.6 - CHAÎNE D'ANGLE ET PERCEMENTS

Au voisinage des chaînes d'angles en pierre apparente, l'enduit doit être légèrement en retrait ou au même nu que la pierre mais non en saillie.

13.1.7 - JOINTS

Les joints de structure doivent obligatoirement traverser l'épaisseur totale de l'enduit et doivent être obturés par un calfeutrement.

13.1.8 - JONCTION MAÇONNERIE DE REMPLISSAGE ENDUITE - ÉLÉMENT D'OSSATURE

Les pièces en bois de faible largeur (20 cm) doivent être recouvertes par un papier fort, feutre, etc., et l'enduit doit comporter une armature de renfort. Pour les pièces importantes le CCTP précisera la méthode particulière de traitement de la jonction.

13.1.9 - PROTECTION DES ENDUITS FRAIS ET JEUNES

Les enduits doivent être protégés contre les vents secs et chauds ou un fort ensoleillement par tout dispositif à soumettre à l'architecte. Les bâches en plastique translucide, susceptibles de provoquer une surchauffe, sont proscrites.

Pour éviter les phénomènes d'efflorescences, il est interdit, sauf ordre de l'architecte, d'appliquer les enduits teintés par une température inférieure à 8°C et pendant les périodes particulièrement humides.

13.1.10 - LES ENDUITS INTÉRIEURS

Lorsqu'ils ont une fonction d'imperméabilisation, ils doivent être exécutés conformément aux prescriptions prévues pour les enduits extérieurs.

Lorsque la fonction d'imperméabilisation n'est pas requise, les enduits intérieurs peuvent être appliqués en une ou deux couches en fonction de la nature du support et de l'aspect recherché et conformément aux prescriptions indiquées dans les chapitres relatifs aux supports correspondants.

13.2 - EXÉCUTION DES ENDUITS À TROIS COUCHES

Les enduits réalisés en trois couches comprennent :

- une première couche d'accrochage ou gobetis ;
- une seconde couche formant le corps d'enduit ou dégrossis ;
- une troisième couche appelée couche de finition.

Les résistances mécaniques du mortier (et la rigidité) de chacune des couches constituant l'enduit doivent être dégressives, la plus forte résistance mécanique est donnée à la couche d'accrochage (1ère couche ou gobetis), sauf pour certaines finitions pelliculaires.

Les dosages sont fixés clairement au chapitre 13.4.2.1. Ils s'entendent en poids de liant par m³ de sable sec. Dans le cas de sable humide, leur volume est à majorer par suite du foisonnement qu'entraîne la présence d'eau.

L'article 19.2 - du présent fascicule donne les courbes des coefficients du foisonnement en fonction de la teneur en eau et de la finesse des sables.

L'article 19.3 - du présent fascicule donne des exemples de dosage de liant pour la constitution du mortier.

13.2.1 - COMPOSITION DES MORTIERS

Le mortier constitutif de l'enduit doit répondre aux conditions suivantes :

- protéger le mur contre les intempéries sans créer une barrière étanche contre la vapeur d'eau et la respiration du support (maçonnerie, pan de bois, etc.) ;
- avoir une bonne adhérence sur le support ;
- présenter un aspect extérieur satisfaisant.

Dans le cas d'une restauration à l'identique, la composition du mortier doit être reconnue par analyse quantitative et qualitative en laboratoire, préalablement à l'élaboration du projet.

Le champ de la "réfection à l'identique" recouvre le cas des enduits existants, mais aussi de ceux qui ont pu exister, compte tenu des témoins découverts sur place ou par analogie.

La première couche ne doit pas être dressée.

Finition

L'opération de finition est importante sur le plan esthétique. Elle peut être lissée à la truelle, lissée au feutre, lissée à l'éponge, lissée à la main de bois, lissée à la taloche, brossée, badigeonnée.

Granulométrie des sables

- 1ère couche 0,25/3,15 comportant peu d'éléments fins au maximum 15% > 3,5 au maximum 15% < 0,25
- 2ème couche 0,1/3,15 comportant au moins 5% de fines au maximum 15% > 3,15 au maximum 15% < 0,10
- 3ème couche 0,1/2

13.2.2 - EXÉCUTION DE LA PREMIÈRE COUCHE D'ENDUIT OU GOBETIS OU COUCHE D'ACCROCHAGE

Cette première couche a pour fonction d'assurer l'adhérence de l'enduit au support. Le sable utilisé doit être de granulométrie grossière. Pour bien accrocher au support, elle est fortement dosée, son épaisseur doit rester faible de façon que son retrait soit pratiquement achevé avant l'application de la 2ème couche.

Le dosage en eau doit tenir compte de l'humidité du sable, de la capillarité et de la teneur en eau du support et des conditions climatiques.

Le mortier est projeté vigoureusement sur le support, soit manuellement, soit à la machine, selon prescriptions du CCTP. La surface de cette première couche doit être rugueuse pour favoriser l'adhérence de la 2ème couche. Aucune opération de finition, lissage, talochage, surfacage, ne doit être effectuée sur cette couche.

La couche d'accrochage doit couvrir sans surcharge, la surface du support sauf dans le cas de renformis qui ne dépassera pas 5 cm d'épaisseur.

13.2.3 - EXÉCUTION DE LA DEUXIÈME COUCHE OU CORPS D'ENDUIT OU DÉGROSSIS

La deuxième couche qui constitue le corps de l'enduit lui donne sa forme définitive. Elle assure la planéité relative et la fonction d'imperméabilisation. Elle doit être homogène et compacte. Son surfacage pourra être obtenu à l'aide d'une planche de bois. Le talochage du corps d'enduit sera proscrit car il réduit trop l'accroche mécanique nécessaire pour la couche de finition. Son dosage en liant est plus faible que celui de la première couche pour réduire les risques de fissuration.

Cette couche est exécutée lorsque la première couche a effectué une partie de son retrait. Le délai d'attente, jamais inférieur à 3 jours, est variable et dépend de plusieurs paramètres : les conditions atmosphériques, la nature du support, la constitution de l'enduit de 1ère couche (épaisseur, nature du liant, composition).

Le mortier du corps d'enduit doit avoir une consistance ferme mais maniable. La couche support (gobetis) doit être humidifiée mais non ruisselante. L'application du corps d'enduit peut être effectuée en une ou deux passes, frais sur frais, suivant l'épaisseur, à la machine ou manuellement.

L'état de surface doit être rugueux (le lissage à la truelle ou à la taloche est interdit).

Cette couche doit être réalisée en fonction des caractéristiques visuelles recherchées (planitude, rectitude des arêtes, gorges, arrondis, etc.) définies au CCTP.

La valeur moyenne de l'épaisseur des deux premières couches découle de la planimétrie du support et de la planimétrie attendue de l'enduit fini. Cette épaisseur moyenne sera d'au moins 15 mm.

L'uniformité d'aspect ne pouvant pas être garantie avec ce type d'enduit, il peut être complété par une couche de finition et un badigeon.

13.2.4 - FINITIONS D'ENDUITS

L'inventaire ci-après sans être exhaustif, présente les principales finitions d'enduits et leurs utilisations fréquentes. Les finitions d'enduits couvrent une large gamme dont les variations et les nuances constituent les régionalismes. Elles participent à la constitution d'un patrimoine et d'un savoir-faire.

La couche de finition a avant tout un rôle de présentation de l'édifice ; dans le cas de finitions lisses, talochées, stuquées, elle assure également un rôle de protection et contribue à l'amélioration de l'imperméabilisation.

Dans le cas de finitions jetées au balai, à la truelle, recoupées, ce rôle de protection n'est plus nécessairement assuré et les couches précédentes doivent assurer seules l'imperméabilisation.

Aspect des enduits

Pour les monuments historiques et sans prétendre à l'exhaustivité, on peut faire mention des trois états d'enduits suivants, souvent rencontrés :

- l'enduit lissé, comportant parfois un badigeon ou un décor peint, correspondant en général au dernier état de l'enduit. Il peut parfois être travaillé de manière à simuler un appareillage de pierres ;
- l'usure de la couche de finition fait rapidement apparaître la sous-couche qui peut être choisie comme état souhaitable de la restauration. On l'obtient en général avec un mortier gratté, puis brossé après un début de prise ;
- l'enduit à pierre vue, à ne pas confondre avec la maçonnerie à joints beurrés (maçonnerie où le mortier de jointoiement vient mourir sur les moellons en recouvrant ainsi leurs parties périphériques et dont la technique de mise en œuvre est assimilable à un rejointoiement).

L'aspect de l'enduit doit être conforme aux surfaces de référence indiquées dans le CCTP et aux essais de convenance demandés par l'architecte.

Constitution de l'enduit

La composition et le nombre de couches de l'enduit sont conformes aux dispositions du CCTP.

Couche de finition

Le choix entre chaux aérienne et autres liants est un parti de restauration. À ce titre, il ne peut faire l'objet d'une recommandation *a priori*.

La chaux hydraulique naturelle et la chaux aérienne sont très fréquemment employées pour la couche de finition, soit pures, soit mélangées. La couche de finition peut également supporter une application de badigeon coloré. La constitution du mortier est conforme aux stipulations du CCTP et aux échantillons approuvés au préalable.

Les agrégats sont souvent un cas de dérogation à la NF P 18-304.

Planitude et aplomb de l'enduit fini

Il s'agit là encore d'un parti de restauration dicté par les caractéristiques du monument.

On peut exécuter des enduits souples, épousant les irrégularités du mur, à l'identique de l'existant.

Dans d'autres cas, l'architecte peut imposer des enduits dressés, dont la planéité et l'aplomb peuvent se rapprocher de ceux définis par le DTU.

13.3 - EXÉCUTION DES ENDUITS À DEUX COUCHES

Les enduits réalisés à deux couches comprennent :

- une couche formant le corps d'enduit ou dégrossis ;
- une deuxième couche appelée couche de finition.

13.3.1 - EXÉCUTION DE LA PREMIÈRE COUCHE OU CORPS D'ENDUIT OU DÉGROSSIS

[Voir article 13.2.2 du présent fascicule]

13.3.2 - EXÉCUTION DE LA DEUXIÈME COUCHE OU COUCHE DE FINITION

[Voir articles 13.2.3 et 13.2.4 du présent fascicule]

13.4 - ENDUITS AUX MORTIERS DE PLÂTRE ET DE CHAUX

Les techniques décrites ci-dessous visent les réfections d'enduit sur des maçonneries hourdées de plâtre, de chaux, de plâtre et chaux et ossature de pans de bois et lattes.

13.4.1 - LES TECHNIQUES

Les techniques décrites ci-dessous visent les réfections d'enduit sur des maçonneries hourdées de plâtre, de chaux, de plâtre et chaux et ossature de pans de bois et lattes.

13.4.2 - COMPOSITION DU MORTIER

13.4.2.1 - MORTIER DE PLÂTRE ET CHAUX CL (NF P 15-201-1 RÉFÉRENCÉE DTU 26.1)

Le plâtre gros de construction et la chaux aérienne sont compatibles quels que soient les dosages.

Sable

Le sable doit présenter une bonne répartition des grains de 0,08 à 3 mm.

Il doit être composé au moins pour 1/3 de grains fins (< 0,5 mm) ; la présence de fines (de 0,1 à 0,8 mm) doit être limitée.

Nature et dosage du liant

Il y a souvent des confusions quand on désigne la chaux globalement et cela est grave de conséquence, car le mélange de plâtre avec la chaux hydraulique (naturelle ou artificielle ou chaux blanche) constitue un produit qui

s'expande, gonfle et éclate (sel de Candlot). Il faut donc s'assurer que le mortier de plâtre et chaux est constitué avec de la chaux aérienne ou de la chaux grasse, chaux éteinte, fleur de chaux.

La composition la plus courante est la suivante :

	EN VOLUME	EN POIDS
plâtre gros	3 volumes	40 kg
sable	2 volumes	30 kg
chaux aérienne	1 volume	6 kg
eau	1,5 volume	25 litres

D'autres dosages sont couramment utilisés sont :

- 1 volume de plâtre gros
- 2 volumes de chaux CL
- 3 volumes de sable très propre

ou

- 1 volume de plâtre gros
- 1 volume de chaux CL
- 1 volume de sable très propre

Le mélange doit être effectué à sec avec des sables très secs, et hydraté au fur et à mesure des besoins.

On peut se rapprocher de ces enduits anciens, mais on doit éviter de réduire de façon exagérée la proportion de sable, au risque de compromettre la solidité de l'enduit.

En cas de reprise d'un enduit existant (réparation), le respect scrupuleux, de la composition et de la mise en œuvre « à l'identique », est impératif, à défaut de quoi on risque de perturber le régime de la respiration du mur et créer des ruptures mécaniques aux raccords.

Dans ce cas, la composition du mortier doit être reconnue par analyse quantitative et qualitative en laboratoire, préalablement à l'élaboration du projet.

13.4.3 - MAÇONNERIES HÉTÉROGÈNES - ARMATURE D'ENDUIT

Lorsque des supports de nature différente sont juxtaposés, un grillage non corrodable, formant armature, devra être appliqué à chaque jonction en débordant de part et d'autre d'au moins 15 cm et fixé au support au moyen de clous, agrafes ou crochets non corrodables.

Règles de construction - Normes - DTU

NF P 15-201 référencée DTU 26.1

Protection des armatures

Les grillages et les treillis métalliques doivent être protégés contre la corrosion. Cette protection est assurée par un traitement du métal (dépôt électrolytique, galvanisation à chaud, etc.).

Il est rappelé que la protection par galvanisation à chaud des fils d'acier doit répondre aux spécifications de la Norme NF A 91-131 ; le poids minimal de zinc déposé est de 0,9 g/dm² pour les fils ; pour les fixations, le poids minimal est de 1,05 g/dm².

Lorsque le procédé de galvanisation à chaud appliqué au fil comporte un traitement spécial de lissage du revêtement de zinc après trempage le poids minimal de zinc déposé peut être abaissé de 0,9 g/dm² à 0,5 et 0,7 g/dm² respectivement pour les diamètres de fil de 3.06 et 1.53 utilisé.

La protection par dépôt électrolytique de zinc ou de cadmium doit répondre aux spécifications de la norme NF A 91-102 ; l'épaisseur minimale de métal déposé sur les fils est de 10 microns ; cette épaisseur doit être de 15 microns pour les fixations.

Grillage métallique

Les mailles sont généralement hexagonales ou rectangulaires. Les dimensions des mailles sont comprises entre 15 et 30 mm. Les diamètres des fils varient de 0,6 à 1,5 mm.

Métal déployé

Les dimensions des mailles sont comprises entre 15 mm et 30 mm.

Treillage céramique

Le treillage se compose d'un canevas métallique à mailles carrées, en fil de fer, de dimensions 20 x 20 mm, les fils étant assemblés à chaque croisement par une pastille céramique.

Localisation des armatures

La norme prescrit une armature dans les cas suivants :

- enduit appliqué sur maçonnerie hourdée au plâtre ou mortier de plâtre recouvert par un enduit à base de liants hydrauliques .
- sur les ouvrages de faible largeur et de matériaux de nature différente de celle du support. Le grillage ou le treillage doit déborder d'au moins 15cm de part et d'autre de l'ouvrage et être fixé de chaque côté par clouage, tamponnage ou gobetage.

L'emploi d'armatures métalliques ne doit être envisagé que comme « pontage » destiné à franchir une hétérogénéité du support (bois et pierre, par exemple). En aucun cas, il ne saurait être utilisé sur de grandes surfaces pour des raisons évidentes de dilatation.

Les armatures sont non corrodables afin d'éviter des taches sur le parement, et plus particulièrement dans le cas d'enduit au mortier aérien ou plâtre.

13.4.4 - FERS MIS À NU

Ils doivent être brossés et soigneusement passivés. [Voir Chapitre 17 - Réparations d'ouvrages en béton armé du présent fascicule]

13.4.5 - EXÉCUTION DES ENDUITS

Le mortier doit être mis en œuvre exclusivement par application manuelle.

Les mortiers sont mis en œuvre dans des épaisseurs moyennes de 3 à 5 cm en une ou deux passes. Il convient d'effectuer des passes successives de 2 cm dans un temps suffisamment rapproché et dans tous les cas, avant la prise complète de la couche précédente pour constituer un ensemble homogène. Il conviendra de mettre en place les effectifs suffisants pour réaliser les enduits.

Chaque passe doit être recoupée d'une manière suffisamment grossière (Berthelet ou autre) avant l'application de la suivante pour en faciliter l'accrochage.

13.4.6 - FINITION

La dernière passe du mortier doit être coupée ou lissée pour donner l'aspect de finition. Les finitions jetées-truelle ou feutrées sont déconseillées et les finitions grattées sont à proscrire, sauf avis contraire du CCTP. Dans tous les cas d'enduits plâtre et chaux il est préférable d'y associer un lait de chaux aérienne ou une huile de lin, colature ou badigeon.

Un badigeon à base de lait de chaux aérienne peut être appliqué pour protéger et éventuellement colorer la façade.

Par contre, l'application d'une peinture est déconseillée. D'une part, le séchage d'un enduit épais est long (au moins 6 mois pour une façade relativement abritée des intempéries), ce qui est incompatible avec les contraintes de mise en œuvre immédiate d'une peinture. D'autre part, il semble qu'actuellement il n'existe pas de peinture assez perméable à la vapeur d'eau pour laisser bien respirer la maçonnerie enduite. De nombreux désordres sur des façades enduites au plâtre et peintes ont été constatés.

Pour la même raison, l'application d'hydrofuge n'est pas recommandée.

13.4.7 - PROTECTION DES ENDUITS

13.4.7.1 - CONTRE LA PLUIE BATTANTE

L'enduit doit être protégé par un débord de toiture important.

13.4.7.2 - CONTRE LE RUISSELLEMENT

Les façades doivent être recoupées dans leur hauteur à chaque niveau de plancher par un bandeau recouvert sur sa partie supérieure d'une protection (zinc, cuivre, inox...) muni d'une goutte d'eau. La pente de ce bandeau doit être importante et tournée vers l'extérieur pour éviter les rejaillissements d'eau vers la façade.

Le bandeau courant doit être exécuté dans le même matériau que le corps d'enduit.

13.4.7.3 - REJAILLISSEMENTS EN PIED DE MUR

Pour éviter la conséquence de rejaillissement en pied de mur à défaut d'assise de rejaillissement de pierre, les mortiers au plâtre ou plâtre et chaux sont exclus des soubassements (pied de façade).

13.5 - « ENDUIT PRÉFABRIQUÉ MANUFACTURÉ ET D'ASSAINISSEMENT »

On entend par « enduit préfabriqué manufacturé » un enduit réalisé à partir d'un mélange dosé en usine, ne nécessitant qu'un ajout d'eau pour être mis en œuvre.

On trouve sur le marché plusieurs types de compositions, dont certaines sont relativement proches de la composition d'enduits traditionnels.

Pour un enduit à la chaux, le mélange pourra contenir :

- Liant : chaux aérienne, chaux hydraulique, ...
- Sables calcaires et siliceux
- Additifs organiques ou minéraux facilitant la mise en œuvre et assurant une bonne qualité de prise.
- Pigments minéraux.

Pour un enduits plâtre/chaux, le mélange contiendra :

- Liants : plâtre gros et chaux aérienne .

- Sables calcaires et siliceux.
- Pigments minéraux.

Ces produits pré-formulés peuvent être mis en œuvre à la main comme à la machine (tyrolienne, projection à air comprimé).

On entend par « enduit préfabriqué d'assainissement » un enduit réalisé à partir d'un mélange dosé en usine, ne nécessitant qu'un ajout d'eau pour être mis en œuvre, et adapté aux maçonneries chargées en sels.

Ceux-ci se répartissent en deux grandes classes : d'une part des mortiers mono-couche ou bi-couche sensés accumuler les sels, ne laissant apparaître aucune trace de ceux-ci en surface, et d'autre par des mortiers laissant transiter les sels sans se dégrader. Dans le cas de mortiers bi-couches, chaque couche a des propriétés particulières, aussi parle-t-on parfois de "système d'assainissement".

La composition des ces systèmes de mortiers varie notablement d'une marque à l'autre, mais on retrouve cependant certaines constantes dans leur principe de formulation :

Systèmes accumulant les sels :

- Bicouches : la couche inférieure comporte de gros pores (présence d'un entraîneur d'air dans la formulation) et/ou des agrégats très légers. La couche supérieure contient un hydrofuge de masse sensé laisser passer la vapeur d'eau mais pas les sels.
- Monocouches : ils associent les propriétés des deux couches des systèmes bicouches : présence de gros pores sensés piéger les sels, et d'une propriété hydrofuge.

Systèmes laissant transiter les sels sans se dégrader :

Ces formulations contiennent des agrégats légers mais pas d'hydrofuge.

Ces mortiers ou systèmes de mortiers d'assainissement ne sont pas beaucoup représentés sur le marché français. Leur validation est en cours (voir LRMH).

13.6 - ENDUIT AU MORTIER DE CHAUX NHL 3.5 SUR SUPPORT BASE PLÂTRE

Attention ! Le mélange chaux hydraulique et plâtre est déconseillé, surtout en présence d'humidité.

13.6.1 - LES TECHNIQUES

Les techniques décrites ci-dessous visent la réfection ou la réalisation d'enduit sur supports ou enduits au plâtre, plâtre chaux et moellons de gypse (Doc CSTB).

13.6.2 - MATÉRIAUX

L'emploi de chaux hydraulique naturelle de type NHL doit faire l'objet d'essais préliminaires pour vérification de la compatibilité avec le support.

13.6.3 - COMPOSITION DU MORTIER CONFORME AUX ENDUITS

Le dosage couramment utilisé est de : 4 volumes de chaux NHL + 10 volumes de sable soit un dosage de 300 à 350 Kg de chaux par m³ de sable sec.

13.6.4 - EXÉCUTION DES ENDUITS

Gobetis

Dans certains cas, un gobetis peut être effectué. Le dosage courant utilisé est le suivant : 5 volumes de chaux NHL + 10 volumes de sable (\pm selon prescriptions données au CCTP).

Corps d'enduit

Le corps d'enduit est la couche la plus épaisse d'un enduit traditionnel, entre le gobetis et l'enduit de finition.

Son épaisseur est généralement de 15 à 20 mm. Le dosage courant est le suivant : 4 volumes de chaux NHL + 10 volumes de sable (\pm selon prescriptions données au CCTP).

Finition

Aspect

À l'inverse des enduits plâtre-chaux CL, ce type d'enduit (cas de réfection totale), supporte tous les types de finition, du fait de l'imperméabilisation acquise avec le corps d'enduit.

Maçonneries hétérogènes

Lorsque des supports de nature différente sont juxtaposés, un grillage non corrodable ou un treillis céramique formant armature devra être appliqué à chaque jonction en débordant de part et d'autre d'au moins 15 cm et fixé au support au moyen de clous, agrafes ou crochets résistant en masse à la corrosion.

Fer mis à nu

Ils doivent être brossés et soigneusement passivés. [Voir Chapitre 17 - Réparations d'ouvrages en béton armé du présent fascicule]

Protection des enduits

Ce type d'enduit ne demande pas de protection particulière après exécution. Il permet la réalisation d'enduit de soubassement (éventuellement rez-de-chaussée) des façades enduites avec le mortier de type plâtre-chaux CL.

13.7 - CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES ENDUITS EXÉCUTÉS

Les contrôles de la qualité des enduits sont effectués sur les bases suivantes :

1. Épaisseur, planitude, aplomb, aspect (Visuellement par l'architecte)

Données à connaître sur le nouvel enduit :

[Voir article 19.4.4.2 du présent fascicule, Tableau 10 - Réfection parcellaire – et Tableau 11 - Réfection totale pour les essais à effectuer)

- Formulation complète y compris les compositions chimiques et minéralogiques des différents constituants du mélange,
- Comportement *in situ* (à vérifier si possible au préalable sur zones d'essai *in situ*),
- Sels solubles,
- Porosité,
- Capillarité,
- Perméabilité à l'air ou à la vapeur d'eau,
- Perméabilité à l'eau,

- Dureté,
- Colorimétrie,
- Retrait après 24 heures,
- Adhérence,
- Comportement au vieillissement accéléré.

2. Prise en charge et nombre de contrôles

L'intervention d'un laboratoire, la nature et le nombre de contrôles sont indiqués au CCTP.

Tous les frais afférents à ces contrôles, qu'ils soient favorables ou non à l'entreprise, sont à la charge de l'entreprise et font l'objet d'un article spécial au BPU – DE.

Les contrôles complémentaires que l'architecte jugerait nécessaire de faire effectuer peuvent être dans un des articles du CCAP.

CHAPITRE 14 - LAIT DE CHAUX - BADIGEON

14.1 - TERMINOLOGIE, DÉFINITION

Le **lait de chaux** (ou peinture à la chaux en terme générique) désigne un mélange de chaux, d'eau, coloré ou non, destiné à être appliqué en revêtement peint à l'aide de brosse sur des parements minéraux (enduits, pierre, brique).

- Ces techniques sont assimilables à des travaux de peinture.

Suivant l'usage de ce lait de chaux, il recouvre le vocabulaire suivant :

- Le **chaulage**, formé d'un lait de chaux très épais généralement blanc et présentant un aspect de surface cordé.
- La **colature**, lait de chaux quelque fois épaissi d'une charge minérale (poudre de pierre...) appliqué à la brosse et serré à l'outil.
- Le **badigeon**, lait de chaux plus dilué que le chaulage, généralement coloré destiné à être appliqué sur des parements enduits, parfois de pierres taillées. Il est masquant et atténue la texture du support.

De plus grandes dilutions sont possibles :

- L'**eau forte** ou **détrempe à la chaux** est un badigeon dilué qui permet des poses de couleurs plus saturées ; son caractère dilué lui donne un aspect plus aquarellé, plus transparent, sans atténuer la texture du support.
- Les **patines** : la très grande dilution de ces laits de chaux leur confère des propriétés de transparence et réserve essentiellement leur usage à l'homogénéisation des parements minéraux.

14.2 - MATÉRIAUX

Le **liant** [Voir article 6.1 - Liants du présent fascicule]

Chaux aérienne : utilisation de chaux aérienne éteinte pour le bâtiment (chaux CL) ou de chaux en pâte. Cette dernière permet à dosage égal des laits de chaux plus épais et une plus faible sédimentation des pigments. L'utilisation de chaux aérienne permet le stockage des laits de chaux. Ce stockage améliore en outre la qualité des laits de chaux formulés avec des chaux aériennes en poudre.

Chaux hydraulique naturelle : l'utilisation de chaux hydraulique naturelle oblige à l'application du lait de chaux dans la demi-journée ayant suivi sa préparation.

L'**eau** [Voir article 6.3 - Eau du présent fascicule].

Les **pigments** [Voir article 6.4.2 - Les pigments du présent fascicule].

Il est important de vérifier la compatibilité des pigments utilisés avec la chaux (milieu alcalin).

Les **adjuvants** :

Des adjuvants peuvent être utilisés pour faciliter la mise en œuvre ou la durabilité des laits de chaux. Dans tous les cas, il est important de vérifier leur compatibilité avec le lait de chaux (milieu alcalin), le support.

Qu'ils soient de caractère traditionnel (caséine, huile de lin...) ou de caractère contemporain (résine de synthèse...) le dosage doit être adapté. Utilisés en excès ces adjuvants peuvent dégrader des propriétés du lait de chaux autres que celles pour lesquelles ils sont utilisés (perméance et matité).

14.3 - SUPPORTS

L'application de lait de chaux s'effectue sur des parements minéraux neufs ou anciens.

Dans le cas de supports anciens, ceux-ci doivent être nettoyés de toutes traces de pulvérulence, de matériaux d'autre nature (traces de rouille, de peinture, de suie...).

Le support doit avoir une siccité uniforme (taux d'humidité uniformément réparti).

Sauf dans le cas d'application à fresque, l'humidification du support doit être réalisée avant application du lait de chaux. Celle-ci doit être d'autant plus contrôlée que le support est très absorbant.

Dans le cas d'enduits supports, des essais de convenance sont nécessaires.

14.4 - COLORATION

La coloration des laits de chaux se réalise à l'aide de pigments en poudre, on a :

1. Les terres naturelles :

les ocres d'utilisation très ancienne qui sont compatibles avec la chaux.

2. Les oxydes :

leur pouvoir colorant est important.

14.5 - TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE

Deux techniques de mise en œuvre sont possibles : à sec ou *a fresco*.

Dans le cas de l'application à sec, il convient de contrôler le caractère homogène de séchage du support, notamment dans le cas de reprise partielle.

L'application se réalise à l'aide de brosse à badigeon (brosse rectangulaire ou ronde, de grande action, en soie naturelle) en couche croisée en terminant verticalement.

Suivant la qualité du support deux ou trois couches peuvent être nécessaires, chacune des couches sera plus diluée (entre 15 et 50 %) que la précédente.

Dans le cas de supports d'enduits neufs, l'application du lait de chaux peut être réalisée sur l'enduit encore frais (à fresque ou *a fresco*), on préférera dans ce cas l'utilisation d'une chaux aérienne (pour le support et le lait de chaux).

CHAPITRE 15 - CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES PAR INJECTION DE COULIS

15.1 - COULIS ET INJECTION DE MORTIER

L'injection de coulis de mortier accompagne souvent des ouvrages de consolidation localisés (reprise de parements, percements, etc.) afin de rendre une nouvelle cohésion avec les ouvrages anciens. Dans la mesure où cette technique permet la consolidation sans démontage et conserve ainsi toutes les déformations et l'authenticité du monument, elle peut être considérée comme un des outils de la restauration moderne et être appelée à un emploi de plus en plus fréquent.

Le but de l'injection peut être double :

- ré-homogénéiser les maçonneries ;
- restituer les propriétés mécanique initiales.

Le pourcentage des vides à cœur d'une maçonnerie peut être important dès l'origine de la construction. Il peut avoir été aggravé au fil du temps et des intempéries, en particulier dans les ouvrages très exposés ou, au contraire, être resté pratiquement inchangé dans les zones protégées.

Le choix des matériaux constitutifs du coulis est très important. Des sondages réalisés après injection de coulis non stabilisé prouvent que l'on risque souvent d'obtenir un mélange hétérogène constitué de l'ancien mortier d'une part, et le nouveau liant qui se présente sous forme de blocs compacts et de filaments. Il est important d'éviter les risques de points durs, préjudiciables à la stabilité et risquant de provoquer de nouvelles ruptures et de perturber les échanges hygrométriques entraînant des effets graves sur les enduits intérieurs et peintures murales notamment (condensation).

Du fait du temps de séchage très important qu'ils requièrent, les liants aériens (chaux grasse, argile) ne pourront être utilisés à l'état pur. Ils peuvent être additionnés à des liants hydraulisés suivant des pourcentages fixés au cas par cas et devant faire appel à des analyses préalables.

Techniques de mise en œuvre :

Toute confortation par injection doit faire l'objet d'une étude adaptée aux objectifs.

Précautions à prendre préalablement à l'injection :

- Étanchements des parements par vérification ou réfection des joints. Réservation des trous de coulage et des événements dans les joints existants, sans nécessité de forage ;
- Au besoin, mise en place de platelage de maintien pour consolider les enduits fragiles à conserver (poussée hydrostatique) ;
- Protection des ouvrages craignant l'humidité : l'injection provoque un apport d'eau ;

Injection

- L'injection gravitaire, de bas de haut doit être privilégiée à l'injection sous faible pression ;
- Le délai entre deux coulages doit correspondre au temps nécessaire à la prise du coulis (échantillon témoin). - attention au phasage du chantier -

Contrôle

Des contrôles sont systématiquement prévus, selon les conditions définies dans l'étude préliminaire à l'injection (ils doivent faire l'objet de stipulations précises dans le chapitre 5 - Contrôles et tolérances des ouvrages finis du CCTP).

15.1.1 - OBJET DU PRÉSENT CHAPITRE

Le présent chapitre est destiné à déroger et compléter la réglementation en vigueur en matière d'ouvrages de confortation interne des maçonneries par injection de coulis dans le cadre de la restauration des monuments historiques.

15.1.2 - NATURE DES PRODUITS CONSTITUANT LES COULIS

15.1.2.1 - QUALITÉ DES COULIS À INJECTER

La nature du ou des coulis ainsi que leurs conditions de mise en œuvre sont définies au CCTP à partir des études préliminaires. Le ou les coulis doivent posséder les qualités suivantes :

- facilité d'injection : le coulis doit rester stable pendant la durée d'injection ;
- le coulis doit effectuer le moins de retrait possible ;
- le coulis doit être stable dans le temps et ne pas perdre ses caractéristiques mécaniques sous l'action d'agents extérieurs.

Les liants utilisés pour la confection de coulis sont de trois catégories :

- plâtre,
- chaux,
- ciment.

15.1.2.2 - LES COULIS DE PLÂTRE, DE CHAUX OU DE CIMENT

Sont constitués de :

- Ciments conformes à la norme NF P 15-301 , de ciments spéciaux (par exemple : ciments finement broyés),
- Chaux de construction conformes à la Norme NF P 15.311,
- Plâtre,
- D'eau de gâchage conforme à la norme NF P 18-303.
- Éventuellement de charges dont le rôle peut être de s'opposer à la décantation ou d'expanser le coulis ou de le rendre thixotrope.
- De produits agissant sur les conditions de prise ou performances finales :
adjuvants conformes à la norme NF P 18-103. - *additions par exemple des fumées de silice conformes à la norme NF P 18-502* –.

Le plâtre et les liants hydrauliques (ciment, chaux hydraulique) ne doivent être en aucun cas mélangés.

15.1.3 - ÉTUDE PRÉALABLE D'INJECTABILITÉ

Cette étude comprend trois phases :

15.1.3.1 - ÉTUDE DE LA MAÇONNERIE EXISTANTE

Cette étude consiste en une identification des matériaux composant la maçonnerie (caractéristiques physico-chimiques des matériaux dans toute l'épaisseur des murs, piliers, etc. [pierres de taille, moellons, briques, mais aussi les matériaux de remplissage, fourrure, mortier de pose, etc.]).

La nature des liants composants le mortier en place doit être déterminé avant la formulation du coulis de confortation, afin d'éviter une incompatibilité entre matériaux. Ainsi, les maçonneries anciennes présentant des restes de plâtre interdisent l'injection de coulis hydrauliques.

Il est également nécessaire de déterminer les dimensions respectives des murs, des matériaux de parements, des fourrures, des maçonneries de fondation, de réaliser une reconnaissance de sol, etc.

Les analyses préliminaires doivent permettre d'estimer les volumes de vide à injecter et la nature du coulis à injecter.

15.1.3.2 - UNE ÉTUDE DU OU DES COULIS EN LABORATOIRE

À partir de l'étude de la maçonnerie, les caractéristiques, du ou des coulis, sont définies : nature des liants, maniabilité, retrait, etc...

L'étude en laboratoire permet de mettre au point le ou les coulis ayant les caractéristiques recherchées.

15.1.3.3 - ÉPREUVE DE CONVENANCE SUR CHANTIER

Cet essai consiste à réaliser sur le chantier dans un ou des volumes de maçonnerie bien délimités, une épreuve d'injection. Cette épreuve permet de tester la ou les compositions de coulis mises au point par le laboratoire.

À l'aide de cet essai, on va donc affiner les compositions de coulis, préciser le maillage d'implantation des injecteurs, des événements, leur profondeur, leur diamètre, la pression d'injection, la hauteur des bandes, observer les résurgences de coulis (par le sol, le parement, etc.).

La pression d'injection doit être adaptée à l'état de la maçonnerie. Une pression trop forte peut déformer les parements, voire même ruiner la maçonnerie, sous l'effet de la poussée hydrostatique. Une pression trop faible ne permet pas au coulis de s'infiltrer efficacement dans la maçonnerie à consolider.

Les zones expérimentales seront ensuite contrôlées par carottage, par mesure de vitesse de propagation du son, par auscultation au radar, etc. et l'on pourra ainsi juger de l'efficacité de l'injection et au besoin revoir certains paramètres de l'injectabilité.

Si les résultats sont favorables, on pourra estimer plus précisément la ou les quantités de coulis à injecter, ce qui permettra d'évaluer l'incidence du coulis sur la statique de l'édifice.

15.1.4 - VÉRIFICATION DU PAREMENT ET DE LA BASE DE LA MAÇONNERIE AVANT INJECTION

Il faut vérifier que :

- l'étanchéité des joints entre les matériaux constitutifs de la maçonnerie est bonne ;
- lorsque les maçonneries sont recouvertes d'un enduit, l'étanchéité et l'adhérence de cet enduit soient satisfaisantes ;
- la base du mur à injecter soit étanche pour éviter que le coulis ne s'infilte et ne se perde dans le sol ;
- la surface des maçonneries existantes qui vont être mises en contact avec le produit d'injection est apte à la recevoir.

Pour les maçonneries très fragilisées ou instables, il faut :

- mettre en place des étais, voir des coffrages, avant le début des travaux d'injection car l'apport d'eau dans la fourrure par le coulis peut diminuer les liaisons internes, ce qui peut conduire à la ruine de l'ouvrage ;
- remailler les fissures.

15.1.5 - INJECTION DU OU DES COULIS

Pour l'injection du ou des coulis, des trous sont faits à espacements réguliers avec un outil adapté à l'état de la maçonnerie. Les événements sont mis en place. A titre indicatif, l'espacement est égal, au maximum, à l'épaisseur de la maçonnerie. Les percements sont réalisés de dans les joints.

L'injection peut se faire par gravité ou sous faible pression (0,2 ou 0,3 MPa).

Dans le cas d'injection de deux coulis, le moins fluide est injecté en premier, afin de remplir les vides importants, et le coulis le plus fluide est injecté ensuite pour remplir les vides les plus fins et imprégner le mortier de pose.

L'opération d'injection est effectuée par tronçons sur une hauteur maximale d'un mètre.

Pendant l'opération d'injection, il est nécessaire de mesurer la quantité de produit injecté par injecteur, la pression d'injection, le fonctionnement des événements et d'examiner la zone injectée et l'ouvrage pour déceler toute fuite ou déformation de la structure.

Des prélèvements sont effectués à la sortie des événements pour vérifier la qualité du coulis, en particulier la fluidité au cône de Marsh.

15.1.6 - CONTRÔLE DE L'INJECTION

Une épreuve de contrôle a pour objet de vérifier la bonne exécution des travaux.

Elle peut être réalisée :

1. par carottage éventuellement complété par des essais mécaniques réalisés sur ces carottages ;

Objectifs des essais destructifs sur carotte :

- vérifier la cohésion du produit injecté par rapport au mortier en place ;
- vérifier l'adhésion du coulis à la maçonnerie (observation micro et macroscopique, essai d'arrachement) ;
- vérifier la conformité des propriétés entre les matériaux injectés et anciens ;

2. par examen endoscopique (depuis le forage),
3. par mesure de la vitesse de propagation du son avec comparaison à la valeur initiale,
4. par auscultation au radar,
5. par analyse chimique du coulis.

Afin d'obtenir des résultats probants, il est nécessaire de coupler les examens destructifs et non destructifs et de procéder à un contrôle de l'injection à plus long terme, pour des raisons pratiques, il est préférable de les réaliser avant les travaux de finition.

L'intervention d'un laboratoire, la nature et le nombre de contrôles sont indiqués au CCTP. Tous les frais afférents à ces contrôles, qu'ils soient favorables ou non à l'entreprise, sont à la charge de l'entreprise et font l'objet d'un article spécial au BPU – DE. Les contrôles complémentaires que l'architecte jugerait nécessaire de faire effectuer sont régis par l'article spécifique du CCAP.

CHAPITRE 16 - FOURNITURE ET POSE DE CARRELAGE

CARRELAGE EN TERRE CUITE

La norme NF P 61-202-1 référencée DTU 52.1 précisent les clauses applicables aux carrelages céramiques dont font partie les carrelages en terre cuite.

Dans le cas des monuments historiques, et notamment pour tenir compte des sujétions du parti de restauration, on peut être amené à adopter, par dérogation à la norme (à spécifier au marché) des conditions particulières :

Pour la couche de désolidarisation

L'emploi de film étanche, préconisé par la norme, peut provoquer une augmentation des montées capillaires dans les murs périphériques. Ils peuvent perturber la respiration des supports (bois, maçonnerie), en particulier dans le cas d'ouvrages en étage. On pourra, au contraire, commander l'emploi de sable ou de film perméable de type anti-contaminant (non tissé).

Pour la constitution du mortier de pose

- mortier maigre dosé à 250/300 kg de liant(s) par m³ de sable sec avec application d'un liant pur par barbotine ou poudrage humidifié

Pour la largeur et la constitution des joints

- pose à joints vifs avec coulis de NHL
- pose à joints larges (2 à 10mm) avec mortier dosé à 400-1000 kg de liant NHL par m³ de sable sec (granulométrie 0,08/1 mm)
- pose à joints très larges (supérieurs à 10 mm) avec mortier dosé à 800/1100 kg de liant NHL par m³ de sable sec (granulométrie 0,08/3 mm)

Pour la constitution du mortier de jointoiement

Généralement même mortier que le mortier de pose et en NHL pur pour ce qui concerne la pose en joints vifs.

Joints de fractionnement

Commentaires de l'administration

Il pourra être prescrit, dans certains cas, une plus grande souplesse dans la localisation des joints de fractionnement.

Joints périphériques

- à défaut d'un relevé en matériau résilient, un vide d'au moins 3 mm doit être réservé entre la dernière rangée de carreaux et les parois verticales des murs et cloisons ainsi qu'autour des poteaux. Ce vide doit exister dans le mortier de pose et la forme. Il peut être supprimé pour les surfaces inférieures à 7 m²,
- le vide des joints périphériques est débarrassé de tous dépôts, déchets, mortiers ou plâtres. Il peut être laissé libre ou garni d'un matériau compressible, non pulvérulent, imputrescible dans les conditions normales d'exploitation.

CHAPITRE 17 - RÉPARATIONS D'OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ

17.1 - OBJET DU PRÉSENT CHAPITRE

Le présent fascicule technique est destiné à déroger et compléter la réglementation en vigueur en matière de réparation des ouvrages en béton armé dans le cadre de la restauration des monuments historiques.

Sont traités au titre du présent chapitre :

- le ragréage,
- le traitement des fissures,
- la réalcalinisation,
- la déchloruration.

Ne sont pas traités au titre du présent chapitre :

- le remplacement des aciers,
- le béton précontraint,
- la stabilité structurelle des ouvrages en béton armé.

17.2 - EXTRAITS DES NORMES ET TEXTES RÉGLEMENTAIRES

17.2.1 - EXIGENCES D'ENROBAGE MINIMAL DES ARMATURES

Dans tous les cas où il s'agit de la protection des armatures, l'enrobage des aciers est défini comme la distance la plus faible entre l'acier et la surface du béton la plus proche.

Un document en vigueur assez ancien sur ce sujet est le DTU 21 (Norme P 18-201) - Exécution des travaux en béton - qui reprend un extrait du chapitre A.7 des règles BAEL 83, qui ont été remplacées par les règles BAEL 91, que l'on examinera ci-après et dont on doit considérer qu'elles constituent maintenant le référentiel pour le DTU 21.

Le DTU 23.1 - Murs en béton banché - exige, dans le cahier des charges, un enrobage minimal des armatures de peau des murs extérieurs de :

- 3 cm dans les cas d'exposition courante
- 3 ou 5 cm dans les cas d'exposition à des atmosphères très agressives, suivant qu'il existe ou non une protection complémentaire efficace de l'acier ou du béton.

Les Règles BAEL 91 exigent au paragraphe A.7.1., un enrobage au moins égal à :

- 5 cm pour les ouvrages à la mer ou exposés aux embruns ou aux brouillards salins, ainsi que pour les ouvrages exposés à des atmosphères très agressives

- 3 cm pour les parois coffrées ou non qui sont soumises (ou sont susceptibles de l'être) à des actions agressives, des intempéries ou à des condensations ou encore, eu égard à la destination des ouvrages, au contact d'un liquide
- 1 cm pour les parois qui seraient situées dans les locaux couverts et clos et qui ne seraient pas exposées aux condensations

Il est précisé par ailleurs que l'enrobage de 3 cm peut être réduit à 2 cm lorsque le béton présente une résistance supérieure à 40 MPa en se fondant sur la constatation qu'en général la compacité du béton croît avec sa résistance.

L'Eurocode 2 (P 18-711), qui définit cinq classes d'exposition pour les ouvrages en béton (voir tableau 1) précise les enrobages minimaux requis pour un béton de classe courante (voir tableau 2) en rappelant que ces valeurs minimales sont à associer aux caractéristiques du béton, notamment au dosage en ciment, à choisir en fonction des mêmes classes d'exposition (voir tableau 3).

Comme il est mentionné que ces enrobages minimaux doivent être augmentés de la valeur des tolérances pour obtenir l'enrobage minimal requis et que la valeur maximale de celles-ci est fixée à 5 mm pour des éléments préfabriqués et des dalles coulées en place et à 10 mm dans les autres cas, on constate que les valeurs requises sont en harmonie avec les valeurs issues des autres documents, sauf pour l'environnement intérieur sec pour lequel elles sont plus sévères.

Voir tableaux, ci-après

• **Tableau 1 : Classes d'exposition en fonction de l'environnement (Eurocode 2)**

Classe d'exposition	Exemples de conditions d'environnement	
1 Environnement sec	Intérieur des bâtiments d'habitation courants ou bureaux	
2 Environnement humide	a sans gel	<ul style="list-style-type: none"> intérieur des bâtiments humides (ex : blanchisseries) atmosphère extérieure terrains non agressifs et/ou saturés d'eau
	b avec gel	<ul style="list-style-type: none"> atmosphère extérieure avec risque de gel terrains non agressifs et/ou dans l'eau et exposés au gel composants intérieurs soumis à une humidité élevée et exposés au gel
3 Environnement humide avec gel et emploi de sels anti-verglas	<ul style="list-style-type: none"> composants intérieurs et extérieurs exposés au gel et aux sels anti-verglas 	
4 Environnement marin	a sans gel	<ul style="list-style-type: none"> composants totalement ou partiellement immergés dans l'eau de mer, ou dans une zone d'embruns composants en atmosphère saturée de sel (zone côtière)
	b avec gel	<ul style="list-style-type: none"> composants totalement ou partiellement immergés dans l'eau de mer, ou dans une zone d'embruns et exposés au gel composants en atmosphère saturée de sel et exposés au gel
Les classes suivantes se rencontrent seules ou combinées avec les classes ci-dessus :		
5 Environnement chimique agressif	a	environnement chimique légèrement agressif (gaz, liquide ou solide) <ul style="list-style-type: none"> atmosphère industrielle agressive
	b	environnement chimique moyennement agressif (gaz, liquide ou solide)
	c	environnement chimique fortement agressif (gaz, liquide ou solide)

Tableau 2 : Enrobages minimaux requis pour un béton de classe courante (Eurocode 2)

Degrés d'exposition		1	2a	2b	3	4a	4b	5a	5b	5c
enrobage	armatures passives	15	20	25	40	40	40	25	30	40
minimal (mm)	acier de précontrainte	25	30	35	50	50	50	35	40	50

17.2.2 - DOSAGE MINIMAL EN CIMENT

Comme pour l'enrobage des armatures, le DTU 21 se réfère aux Règles BAEL et reprend dans son paragraphe 3.3. des valeurs citées dans le document de 83 en fonction des conditions d'exposition des ouvrages. Ces valeurs ne figurent pas dans le BAEL 91 en vigueur qui ne propose de dosages minimaux qu'en fonction de la classe de résistance à obtenir et des conditions de fabrication.

Quant au DTU 23-1, il demande, dans son paragraphe 3.1., d'adopter les dosages minimaux prescrits par le DTU 21 « pour les ouvrages exposés ». On se retrouve donc en fait renvoyé indirectement à la norme P 18-325 (ENV 206) d'août 1991 qui, dans son paragraphe 6.2.2. définit des teneurs minimales en ciment (voir tableau 3) en fonction des classes d'exposition reprenant celles de l'Eurocode 2 (tableau 1).

Tableau 3 : Exigences de durabilité en fonction des conditions d'environnement (P 18-325) (ENV 206)

Exigences	Classe d'exposition								
	1	2a	2b	3	4a	4b	5a	5b	5c
Rapport maximum eau/ciment pour :béton non armé	-	0,70	-	-	-	-	-	-	-
• béton armé	0,65	0,60	6,55	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,45
• béton précontraint	0,60	0,60	-	-	-	-	-	-	-
Teneur minimale en ciment en kg/m ³ pour : (mm)									
• béton non armé	150	200	200	-	-	-	200	-	-
• béton armé	260	280	280	300	300	300	280	300	300
• béton précontraint	300	300	300	-	-	-	300	-	-

La norme P 18-305 de décembre 1994 sur le béton prêt à l'emploi définit également des teneurs minimales en ciment (voir tableau 4) sur la base de classes d'environnement qui reprennent celles de l'Eurocode 2 mais en les complétant par des sous-classes 2_{b1} et 2_{b2} et 4_{a1} et 4_{a2}, les indices 1 et 2 de celles-ci correspondant respectivement à une exposition sans gel ou avec gel, faible et à une exposition avec gel sévère (expositions très précisément définies dans la norme).

Tableau 4 : Spécifications des bétons (P 18-305)

		Classe d'environnement										
		1	2a	2b ₁	2b ₂	3	4a ₁	4a ₂	4b	5a	5b	5c
BCN	Teneur minimale en ciment ou en liant équivalent (en kg/m ³)											
&	• béton non armé	150	200	240	300	330	330	350	350	330	350	385
BCS	• béton armé	260	280	280	310	330	330	350	350	330	350	385
	• béton précontraint	300	300	300	315	330	330	350	350	330	350	385

Enfin le fascicule 65-A définit également des dosages minimaux en ciment en fonction de l'environnement et pour des valeurs courantes de la dimension maximale du granulat D en millimètre utilisées en génie civil (voir tableau 5).

Tableau 5 : Dosages minimaux en ciment

PARTIES D'OUVRAGE	D = 16	D = 20	D = 25	D = 50
Non exposées	-	-	-	-
En béton armé, exposées à un milieu sans agressivité particulière et hors des cas ci-dessous	$\frac{550}{5\sqrt{D}}$ 315	300	290	250
En béton armé, exposées à un milieu sans agressivité particulière comportant un parement fin :	$\frac{550}{5\sqrt{D}}$ 345	330	315	275
En béton armé, exposées à des conditions agressives sévères* ou coulées sous l'eau et en béton précontraint :	$\frac{550}{5\sqrt{D}}$ 400	385	370	320

* Des indications complémentaires peuvent être trouvées dans le fascicule de documentation AFNOR P 18-011 intitulé « Bétons - Classification des environnements agressifs ».

17.2.3 - TENEUR MAXIMALE EN IONS-CHLORÉS

Elle a d'abord été définie dans le DTU 21-4 (norme P 18-203) « Utilisation du chlorure de calcium et des adjuvants contenant des chlorures dans la confection des coulis, mortiers et bétons ». La teneur maximale susceptible d'être solubilisée est fixée à 1% de la masse du ciment pour des coulis, mortiers et bétons non armés et à 0,65% de la masse du ciment pour les bétons armés. Le tableau ci-après indique, à défaut d'essais préalables de détermination de la teneur en ions-chlore des constituants, les teneurs maximales pouvant être ajoutées par l'adjuvant (voir tableau 6).

Tableau 6 : Teneurs maximales admissibles susceptibles d'être ajoutées par l'adjuvant (en % par rapport à la masse du ciment) selon le DTU 21-4 (P 18-203) d'Octobre 1977, erratum d'Avril 1979

Nature du liant	Destination du produit	Granulats de carrière, granulats de ballastière pouvant justifier d'une teneur en ions-chlore < 0,1‰		Granulats marins lavés, granulats de ballastière ne pouvant justifier d'une teneur en ions-chlore < 0,1‰ (*)	
		Ions-chlore (%)	Chlorure de calcium (Cl ₂ Ca, 2H ₂ O) - (%)	Ions-chlore (%)	Chlorure de calcium (Cl ₂ Ca, 2H ₂ O) - (%)
CPA	Coulis, mortiers et béton non armé	1	2	0,75	1,50
CPA	Béton armé	0,65	1,30	0,35	0,70
CLK HF	Béton non armé	0,50	1	0,30	0,60

(*) Pour les granulats de ballastière, les teneurs en ions - chlore pouvant être inférieures à la valeur forfaitairement prise en compte dans ce cas, il y a tout intérêt à faire des essais en vue de déterminer les teneurs réelles en chlorure.

Les mêmes teneurs limites sont reprises dans le fascicule 65-A qui fixe par ailleurs à 0,15% de la masse du ciment la teneur limite pour les bétons précontraints par post-tension.

Des prescriptions un peu plus sévères sont données dans la norme expérimentale P 18-325 (ENV 206) d'Août 1991. Il est précisé qu'elles doivent être adoptées « en l'absence de valeurs spécifiées dans les normes nationales ou dans les règlements en vigueur sur le lieu d'utilisation du béton » (voir tableau 7).

Tableau 7 : Teneur maximale en chlorure de béton

Béton	Cl par kg de ciment
Béton non armé	1 %
Béton armé	0,4 %
Béton précontraint	0,2 %

Selon cette norme, les adjuvants à base de chlorures sont en principe exclus du béton armé et du béton précontraint. La norme P 18-305 sur le béton prêt à l'emploi renvoie au DTU 21-4 (référence P 18-203) pour les teneurs en chlorures et précise que le producteur de béton ne peut incorporer du chlorure de calcium ou un adjuvant chloré qu'avec l'accord exprès de l'utilisateur.

17.3 - DÉFINITIONS

17.3.1 - DÉFINITIONS RELATIVES AUX DÉSORDRS

- Dégradation superficielle : est appelée dégradation superficielle, tout affaiblissement de la qualité de protection des bétons d'une structure en surface et sur une profondeur de quelques centimètres ne mettant pas en cause la tenue d'ensemble de cette structure.
- Dégradation structurelle : est appelée dégradation structurelle, tout abaissement des caractéristiques des composants d'une structure mettant en cause la tenue d'ensemble de cette structure.
- Carbonatation : transformation de la portlandite en carbonate de calcium par l'action du gaz carbonique dissous dans la phase interstitielle.

Elle s'effectue plus ou moins lentement, selon :

- la compacité du béton (si le béton est poreux, la réaction est plus rapide),
- sa constitution (plus ou moins riche en $\text{Ca}(\text{OH})_2$),
- l'environnement.

17.3.2 - DÉFINITIONS RELATIVES AUX FISSURES

- **Ouverture**

L'ouverture est la largeur entre lèvres. Elle peut être évaluée à l'œil nu ou de préférence être mesurée à l'aide d'un fissuromètre. Elle est déterminante pour le choix des produits de réparation à utiliser.

- **Tracé**

Le tracé d'une fissure est le développé de sa partie visible, sur toutes les surfaces de la structure. Son aspect est souvent révélateur de l'origine de la fissure ; il est rarement rectiligne. Une fissure est dite « franche » lorsque son tracé est continu.

- **Profondeur**

- Fissure de surface :

Une fissure est dite de surface quand elle ne traverse pas l'épaisseur de la structure. L'ouverture dans ce cas est maximum en surface et nulle au sein du matériau.

- Fissure aveugle :

Une fissure est dite aveugle, lorsqu'elle est traversante, mais non accessible d'un ou plusieurs côtés de la structure.

- Fissure traversante :

Une fissure est dite traversante lorsqu'elle est visible sur au moins deux faces de la structure.

- Faïençage

Réseau de microfissures se présentant sous forme d'un dessin géométrique à mailles irrégulières et qui s'inscrivent généralement dans un carré n'excédant pas 20 cm de côté. Ce réseau n'intéresse le plus souvent que la couche superficielle de béton (ou de l'enduit à base de liants hydrauliques).

- **Microfissure**

Ouverture très fine, au tracé plus ou moins régulier et linéaire, le plus souvent discontinu, et dont la largeur est inférieure à 0,2 mm. Elle peut évoluer jusqu'à former un réseau.

- **Fissure**

Ouverture linéaire dont la largeur est comprise entre 0,2 et 2 mm.

- **Lézarde ou crevasse**

Ouverture dont la largeur dépasse 2 mm.

- **Activité d'une fissure**

L'activité d'une fissure est caractérisée par la variation de son ouverture dans le temps.

- Fissure "passive" ou "morte"

Fissure dont l'ouverture ne varie plus de façon sensible dans le temps quelles que soient les conditions de température ou de sollicitation de l'ouvrage. La cause est devenue négligeable, ou a disparue.

- Fissure active

Fissure dont l'ouverture varie dans le temps en fonction des gradients thermiques ou hygrométriques, ou des sollicitations de l'ouvrage (absence de joint, tassement d'appuis, conséquences de défauts de conception ou d'exécution, etc...). L'amplitude de cette variation s'appelle le « souffle ».

17.3.3 - DÉFINITIONS RELATIVES AUX MATÉRIAUX ET AUX TECHNIQUES DE RÉPARATION

- **Adjuvant**

- Les adjuvants sont définis par la norme NF P 18-103. Cette définition est la suivante : « Produit dont l'incorporation à faible dose dans le béton, le mortier ou le coulis, provoque les modifications recherchées de telle ou telle de leurs propriétés, à l'état frais ou durci ».

- **Ajout**

Est appelé ajout ou addition, tout produit complétant la composition de base d'un béton ou d'un mortier, qui est incorporé à la fabrication, de façon à répondre aux conditions particulières d'exécution.

- **Barbotine**

Mélange hydraulique très riche en ciment servant comme couche d'accrochage

- **Calfeutrement**

C'est un colmatage avec des produits souples pour rétablir une étanchéité des fissures à l'eau et à l'air, ou pour éviter des pénétrations de matières solides risquant de bloquer le mouvement de la fissure ou du joint.

- **Couche d'accrochage ou gobetis**

Est appelée couche d'accrochage, la couche mince appliquée sur le support avant mise en œuvre de mortier ou de béton, destinée soit à améliorer l'accrochage des matériaux de réparation, soit à assurer l'adhérence.

- **Déchloration électro-chimique**

Méthode électro-chimique pour enlever les chlorures du béton.

- **Injection**

Il s'agit de faire pénétrer dans des fissures un produit susceptible de créer une liaison mécanique et/ou une étanchéité entre les parties disjointes.

- **Passivation**

Opération consistant à traiter, par voie chimique ou électrolytique, un support métallique préalablement décapé afin d'améliorer la résistance à la corrosion.

- **Pontage et protection localisée**

Il s'agit de recouvrir en surface des fissures actives ou non pour donner une étanchéité à la structure. Cette technique doit permettre si nécessaire, la pose d'un revêtement de finition.

- **Ragréage**

Opération consistant à remédier aux imperfections importantes d'une surface de béton par application d'un mortier ou de ciment afin de permettre la pose ultérieure d'un système d'étanchéité ou de protection.

- **Réalcalinisation**

Méthode consistant à augmenter l'alcalinité du béton carbonaté soit par des méthodes de surpression soit par des méthodes électro-chimiques (électro-osmose).

17.4 - DIAGNOSTIC

Les méthodes de réparation à mettre en œuvre doivent être choisies à l'issue d'une procédure qui comprend :

- a. l'établissement de l'historique de l'ouvrage précisant si possible :
 - _ la composition, les conditions de mise en œuvre des bétons,
 - _ les définitions des contraintes prévues par le calcul,
 - _ les modifications de charges et de structures.
- b. la nature et le relevé des modénatures et décorations.
- c. les investigations essais, analyses, etc..., concernant le processus de dégradation, en particulier la présence d'agents agressifs (chlorures) dans les bétons, l'épaisseur du béton carbonaté, les phénomènes d'alcali-réaction, l'examen des armatures (vérification de la section active), etc.
- d. les causes des désordres constatés (origine mécanique et/ou chimique) ainsi que l'étendue des parties d'ouvrage devant faire l'objet de réparation.
- e. les contraintes d'exploitation, actuelles et futures.
- f. les contraintes d'environnement, et notamment, les facteurs physiques et chimiques susceptibles de dégrader les réparations.
- g. les objectifs recherchés concernant la durabilité des réparations envisagées et leur aspect.

17.5 - PRODUITS

• NATURE DES PRODUITS

Les produits utilisés pour la réparation des ouvrages en béton peuvent être classés en 3 catégories principales, selon que le liant qui assure la cohésion de l'ensemble est de nature :

- hydraulique (ciment,...),
- organique réactif (résine synthétique),
- mixte, c'est-à-dire à la fois hydraulique et organique réactif.

Les produits à base de liants hydrauliques peuvent se subdiviser eux-mêmes selon que le liant en question est un ciment seul ou qu'il est modifié par ajout de polymère.

Les produits à base de résines synthétiques sont assez différents les uns des autres selon les transformations physiques et chimiques qui se produisent au cours de leur mise en œuvre et selon la structure du composite obtenu finalement (linéaire ou tridimensionnel).

Les produits mixtes dont le liant actif est constitué à la fois de ciment et de résine active font intervenir à la fois la prise et le durcissement du liant hydraulique et la réticulation du polymère organique.

17.5.1.1 - PRODUITS À BASE DE LIANTS HYDRAULIQUES (LH)

Ces produits sont regroupés dans les deux familles suivantes selon que le liant hydraulique est modifié ou non par des polymères organiques.

17.5.1.1.1 - Produits à base de liants hydrauliques avec ajouts éventuels (LHA)

Ces produits sont constitués principalement :

- d'un liant (ciment),

- de granulats (roulés ou concassés),
- d'ajouts.

L'eau est ajoutée au moment de l'emploi. Elle doit être conforme à la norme NF P 18-303.

Divers adjuvants et fibres peuvent avoir été incorporés au mélange pour lui conférer des propriétés particulières.

Les liants utilisés sont conformes aux normes en vigueur (NF P 15-301, NF P 15-314, NF P 15-315, P 15-316,...) et bénéficient du droit d'usage de la marque NF - Liants Hydrauliques. Pour les travaux en milieu agressif, ils doivent être titulaires de la certification « prise mer » (PM) ou « travaux en eaux à haute teneur en sulfate » (ES) selon le cas. On choisira de préférence des produits bénéficiant du droit d'usage de la marque NF - Adjuvants.

Les produits peuvent être :

- préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs prêts à l'emploi (il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire sans autre adjuvant) ;
- préparés sur site par malaxage des différents constituants, par exemple pour le béton projeté. Dans ce cas, le dosage des constituants doit être justifié par une étude préalable de composition.

17.5.1.1.2 - Produits à base de liants hydrauliques modifiés par des polymères organiques (LHM)

Ces produits font appel à des polymères dits « résines miscibles » (c'est-à-dire en réalité en dispersion stable dans l'eau) qui peuvent se regrouper en grandes familles, dont :

- vinyliques (acétate, propionate, laurate de polyvinyle),
- acryliques,
- styrène-butadiène.

Ils se présentent sous l'une des deux formes suivantes :

- monocomposant

le polymère est sous forme de poudre mélangée au liant hydraulique. On ajoute sur le chantier l'eau nécessaire.

- bicomposant
 - _ le composant A contient la résine et l'eau nécessaire à l'hydratation du ciment,
 - _ le composant B contient le ciment, le sable et les fines inertes ainsi que les additifs éventuels : fibres, fumées de silice...

Sur le chantier, le produit est obtenu uniquement par mélange des composants A + B sans aucun autre ajout.

On choisira de préférence des produits bénéficiant du droit d'usage de la marque NF - Produits Spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique.

17.5.1.2 - PRODUITS À BASE DE RÉSINES SYNTHÉTIQUES (LR)

Les résines synthétiques sont généralement des polymères organiques qui peuvent être :

- soit des systèmes polymériques monocomposant, adjuvantés ou chargés,
- soit des systèmes polymériques bicomposant, présentés en emballages prédosés. Les constituants, adjuvantés ou chargés sont à mélanger au moment de l'emploi,
- soit des systèmes polymériques à trois composants : au moment de l'emploi un accélérateur et un catalyseur doivent être ajoutés à la résine au moment de l'application.

17.5.1.2.1 - Résines époxydes (EP)

Le terme « résine époxyde » prête souvent à confusion car il s'applique aussi bien à l'un des composants du mélange, appelé aussi "base" (résine pure ou modifiée), qu'au résultat de la réaction de cette « base » avec le « durcisseur » (polyamine en général) qui lui est associé.

À côté des systèmes époxydes classiques, sans solvant, il existe des liants époxy-polyuréthannes, des liants époxydes en émulsion ou en dispersion aqueuse, dont les conditions de mise en œuvre et les caractéristiques sont sensiblement différentes de celles des systèmes originaux tout en conservant les propriétés essentielles des résines époxydes.

17.5.1.2.2 - Polyuréthannes (PUR)

Le terme « polyuréthane » désigne une famille de polymères obtenus par polycondensation (polyaddition) de di ou polyisocyanates avec des di ou polyols.

La polycondensation peut également se faire par réaction des polyisocyanates avec l'humidité de l'air. La grande réactivité des isocyanates avec l'eau permet ainsi d'utiliser des produits à un seul composant. Ces produits comportent des groupes - NCO qui réagissent avec l'humidité pour former le polymère avec un dégagement simultané de dioxyde de carbone (gaz carbonique). Cependant, la réticulation est plus lente que dans le cas des systèmes à deux composants. C'est pourquoi on utilise ces produits pour la réalisation de joints, de revêtements minces ou de revêtements de sols.

Si la réactivité élevée des isocyanates avec l'eau est mise à profit pour la réalisation de couches minces en monocomposant, cette même propriété peut provoquer des effets indésirables avec les systèmes à deux composants utilisés en épaisseur plus importante, en présence d'humidité. En effet, le dioxyde de carbone formé dans ce cas conduit à des défauts d'étanchéité et d'adhérence, et réduit sensiblement les performances mécaniques des systèmes polyuréthannes bicomposants.

17.5.1.2.3 - Résines de méthacrylate de méthyle (PMMA)

Les polyméthacrylates de méthyle et copolymères associés sont issus de mélanges de monomères et d'oligomères acryliques ou méthacryliques que l'on fait durcir par polymérisation initiée au moyen de catalyseurs organiques (péroxydes).

Les résines de cette famille sont très réactives et permettent des interventions même à basses températures (-20° C), avec remise en service des ouvrages très rapidement (quelques heures à -20°C). Elles sont très peu sensibles à la saponification induite par la réaction alcaline du béton en présence d'eau, à la différence des polyesters. Elles présentent cependant l'inconvénient d'une odeur forte et persistante.

17.5.1.2.4 - Polyesters insaturés (UP)

Comme pour les époxydes le terme « polyester » s'applique aussi bien à l'un des composants du mélange, appelé base, qu'au résultat de la réaction de cette base avec les autres composants (catalyseur et accélérateur). La base est constituée d'un polyester comportant des doubles liaisons, dissous dans un diluant réactif fluide qui comporte lui aussi une double liaison (styrène le plus souvent), et joue le rôle d'agent de réticulation.

Les polyesters se présentent donc souvent sous forme de systèmes à trois composants (la base, le catalyseur et l'accélérateur), qui réticulent selon un mécanisme de polymérisation en chaîne.

La formulation de la base peut inclure des adjuvants complémentaires, en particulier des plastifiants destinés à diminuer la fragilité des produits obtenus, ainsi que des charges minérales dont l'intérêt essentiel est de réduire sensiblement le retrait du produit formulé.

17.5.1.2.5 - Polyacrylamides (PAAm)

L'utilisation de ces produits repose sur la faculté de certains monomères acrylamides solubles dans l'eau de polymériser sous l'action d'un catalyseur à la température ambiante en donnant un solide plus ou moins élastique emprisonnant l'eau de dissolution.

Les acrylamides se présentent habituellement sous forme d'un système à trois composants :

- une base acrylamide en solution aqueuse,
- un accélérateur de polymérisation,
- un amorceur de polymérisation, généralement un persulfate d'ammonium que l'on dilue dans de l'eau.

Les coulis d'acrylamides sont généralement incolores et de viscosité comparable à celle de l'eau. Les gels obtenus présentent de faibles propriétés mécaniques et ne peuvent être utilisés que dans des milieux humides en

permanence (ouvrages ou terrain naturel) car ils ont la propriété de gonfler à l'eau (jusqu'à 200% en volume) et de se rétracter à l'air.

17.5.1.3 - PRODUITS MIXTES À BASE DE CIMENT ET DE POLYMÈRE ORGANIQUE RÉACTIF

Cette famille est représentée essentiellement par les systèmes époxy-ciment (EP-C).

Ces produits se présentent le plus souvent sous forme de trois composants prédosés, à mélanger au moment de l'emploi.

Les composants A et B sont les constituants du système époxyde (base et durcisseur en émulsion dans l'eau) et le constituant C est le mélange granulaire contenant le ciment et les charges fines. Le ciment réagit au moment de l'emploi avec l'eau des émulsions A et B.

On admet que les cristaux formés lors de l'hydratation du ciment s'enchevêtrent à travers le réseau formé par la réaction du système époxyde.

17.5.2 - CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES DES PRODUITS LES PLUS UTILISÉS

Légende :

LHA	:	Produits à base de liants hydrauliques avec ajouts
LHM	:	Produits à base de liants hydrauliques modifiés par des polymères organiques
EP	:	Résines époxydes
PUR	:	Polyuréthane
EP-C	:	Produits mixtes à base de ciment et de polymère organique réactif
+++	:	Plus le nombre de + est élevé, plus le produit est adapté à la caractéristique recherchée
-	:	Non recommandé
O	:	Le produit ne répond pas à la question posée

Tableau 8

CARACTÉRISTIQUES	LHA LHM ⁽¹⁾	EP	PUR	EP-C
Adhérence support sec	+	+++	⁽²⁾ ++	++
Adhérence support humide	++	+	⁽³⁾ -	++
Adaptation à la fissuration du support	+	+	++ ou +++	+
Effet passivant	+++	⁽⁴⁾ O	⁽⁴⁾ O	++ ou +++
Module d'élasticité	élevé	moyen	faible	moyen
Compatibilité thermique	⁽⁵⁾ +++	⁽⁵⁾ +	⁽⁵⁾ +	⁽⁵⁾ ++
Résistance à l'abrasion	⁽⁶⁾ ++	⁽⁶⁾ +++	⁽⁶⁾ ++	⁽⁶⁾ ++
Résistance à la perméabilité aux liquides en pression	++	⁽⁷⁾ +++	⁽⁷⁾ +++	++
Fluage -à 20°C -à 50°C	faible faible	moyen moyen	élevé élevé	moyen moyen
Retrait	⁽⁸⁾ élevé	faible	faible	moyen

Remarques :

- (1) Dans le domaine des ouvrages d'art, la plupart des produits à base de liants hydrauliques effectivement utilisés sont à base de LHM. Les LHA (produits à base de liants hydrauliques avec ajout), sont par contre très largement employés dans le bâtiment.
- (2) Dans le cas où le support est très alcalin, il peut être nécessaire d'utiliser un primaire approprié et il convient de le vérifier auprès du fabricant du produit.
- (3) Les polyuréthannes peuvent être utilisés sur support humide avec un primaire approprié.
- (4) Pour obtenir l'effet passivant, à savoir un effet protecteur des métaux ferreux par phosphatation à chaud ou à froid, il faut utiliser un primaire (passivant).
- (5) La compatibilité thermique est envisagée dans le cas présent pour les mortiers en épaisseur > 2 cm. C'est la capacité à suivre les déformations thermiques du béton.
- (6) La comparaison de la résistance à l'abrasion est donnée en supposant que les granulats sont identiques pour toutes les familles de produits.
- (7) Le pourcentage en poids de résine sera au moins égal à 20%.
- (8) Il existe des LHM à compensation de retrait destinés plus spécifiquement aux scellements et calages.

17.6 - RAGRÉAGE

17.6.1 - ÉLIMINATION DES BÉTONS DÉGRADÉS

Pour l'élimination en épaisseur, on peut citer les moyens suivants :

Le piquage : action ponctuelle d'un outil type pointerolle de marteau piqueur. Cette méthode permet d'enlever une forte épaisseur de support et de dégager des armatures corrodées mais elle peut provoquer la microfissuration des granulats.

Le bouchardage : c'est la frappe mécanique d'un outil pneumatique ou électrique comportant plusieurs dents ou pointes de diamant. Elle peut varier de quelques millimètres à 1 ou 2 centimètres. Des microfissurations peuvent en résulter. L'aspect est très rugueux et assez régulier.

Le rabotage mécanique : action d'un rabot électrique à molettes ou à outils multiples. Il permet l'enlèvement de quelques millimètres à quelques centimètres. Ce procédé sert surtout à préparer des surfaces planes non armées, fissurées et polluées. Il peut provoquer des amorces de fissuration. L'aspect est très rugueux et irrégulier.

Le ponçage : obtenu par des machines rotatives munies de disques abrasifs. Elles peuvent travailler à l'eau avec éventuellement une aspiration ou à sec. La puissance de la machine et la qualité des abrasifs déterminent, comme pour le sablage, un travail superficiel ou un travail sur quelques millimètres. Cette méthode sert à préparer des surfaces planes de faible superficie et sans fissure. L'état de surface est fin et régulier, mais il faut veiller ensuite à bien désincruster le support des poussières qui auraient pu le colmater.

Le grenailage : effectué par des machines projetant sur le support une grenaille recyclée en circuit fermé avec aspiration. L'aspect de surface peut varier d'une texture assez fine à grenue.

Le broissage : le broissage à la brosse métallique doit être suivi d'un dépoussiérage à l'air comprimé ou à l'aide d'un aspirateur.

Le sablage et l'hydro-sablage : ils provoquent l'agression du support par un jet de sable sous pression (à sec) ou sous pression d'eau (humide). Les réglages des pressions, ainsi que la granulométrie du sable utilisé, permettent soit d'effectuer un simple décapage ou d'éliminer la laitance soit d'enlever plusieurs millimètres de béton. L'aspect après intervention est une rugosité liée à la dureté des granulats et du liant du support.

L'hydro-décapage : cette technique recouvre des équipements très divers combinant des pressions et des débits d'eau variés (de quelques MPa à quelques centaines de MPa, de quelques litres d'eau par minute à quelques centaines de litres par minute). L'eau chaude peut parfois être utilisée. Il s'ensuit une variété de préparations et d'aspects allant du simple nettoyage d'un support encrassé jusqu'à la destruction du béton. Cette méthode permet une bonne élimination des granulats dessertis et des matières dégradées mais elle peut présenter des risques pour le personnel.

Parmi les techniques de démolition moins traditionnelles du béton, on peut citer :

Le sciage au diamant : cette technique permet la découpe du béton sur des épaisseurs jusqu'à 53 cm en mur ou en dalle. La scie est composée d'un bâti portant le moteur hydraulique qui coulisse sur un rail cranté fixé sur la paroi à découper.

Ce rail permet le déplacement longitudinal du bâti et lui sert de guide. Le disque est lubrifié à l'eau.

Le broyage hydraulique ou croquage : le matériel est constitué d'un robot commandé à distance, éventuellement sur chenilles, constitué d'un bras hydraulique articulé en 3 parties sur un dispositif pivotant. Le bras est équipé d'une pince à béton avec mâchoire hydraulique permettant le broyage du béton jusqu'à 40 cm d'épaisseur. Cette méthode fournit des gravois du type de ceux avec marteau piqueur, mais sans les inconvénients habituels : bruit, vibration ou onde de choc.

17.6.2 - PRÉPARATION DES ARMATURES

L'objectif est de dégager totalement la périphérie des armatures présentant des traces de corrosion sur une longueur telle qu'apparaisse à chaque extrémité une partie saine.

Si l'on utilise un revêtement anticorrosion, le nettoyage doit être poursuivi jusqu'à disparition totale des produits de corrosion, des matières étrangères de toute nature (laitance, morceaux de béton adhérents,...), des produits de nettoyage.

Le décapage des armatures peut être fait : par sablage, par grenaillage, au disque abrasif ou à la brosse métallique.

La passivation des armatures par un revêtement anticorrosion compatible avec les matériaux de réparation doit être immédiatement effectuée.

Il est possible de supprimer ce revêtement lorsque le matériau de réparation est à base de liant hydraulique et que l'épaisseur de l'enrobage est suffisante pour assurer la protection des armatures dans les conditions d'environnement de l'ouvrage et dans ce cas, un produit stabilisateur de rouille qui transforme la rouille en chélate non réactif aux agents atmosphériques peut être employé. Pour que ce produit puisse agir, il ne faut pas supprimer totalement la rouille. Toutefois il faut éliminer la rouille mal adhérente ou trop épaisse par les moyens déjà cités ci-dessus.

Dans le cas de corrosion importante, une étude particulière doit être réalisée afin de vérifier que la section des armatures restante sera compatible avec le taux de travail qui s'exercera.

Dans le cas contraire, il faudra prévoir le remplacement des aciers qui seront selon leur situation sans protection particulière contre la corrosion, galvanisés ou inoxydables dans la masse.

Nota : Nous signalons que selon la nature des aciers rencontrés (ductilité), les règles de la construction neuve relatives au pliage, au soudage, sont applicables. Tenir compte des phénomènes d'électrolyse, de « l'effet de piles » entre aciers différents (pas de contact : acier galvanisé/acier « autres »).

17.6.3 - NETTOYAGE DES SURFACES

L'opération de nettoyage des surfaces est réalisée immédiatement avant la mise en œuvre des mortiers et bétons ou de la couche d'accrochage. Elle est destinée à faire disparaître toute poussière et toute souillure subsistant après élimination des bétons dégradés.

Il faut s'assurer de la compatibilité entre la méthode de nettoyage prévue et les produits de réparation (support sec ou humide).

Les méthodes de nettoyage utilisables peuvent être les suivantes :

- à sec : brossage, aspiration, soufflage à l'air déshuilé,
- humide : lavage à l'eau avec ou sans détergent.

Dans le cas de lavage à l'eau, les excédents d'eau doivent être éliminés soit par soufflage à l'air déshuilé, soit par aspiration.

17.6.4 - PRODUITS

Les produits de ragréage recommandés suivant la forme et l'importance de la dégradation sont les suivants :

Tableau 9

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUIT ⁽¹⁾
Dégradation superficielle du béton due à l'environnement, sans armature apparente	Élimination du béton dégradé et reconstitution de la surface du béton	<ul style="list-style-type: none"> • Mortier LHM mono ou bicomposant sur une couche d'accrochage EP ou sur gobetis ou barbotine • Mortier EP ou PU sur couche d'accrochage EP ou PUR (milieu sec) • Mortier de EP-C sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis
Trous dans le béton avec armature apparente (défaut de bétonnage)	Traitement de l'armature et colmatage des trous	<ul style="list-style-type: none"> • Mortier LHM mono ou bicomposant sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis ou barbotine • Mortier EP ou PUR sur couche d'accrochage EP ou PUR (milieu sec)
Éclatement du béton avec armature apparente non corrodée	Reconstitution du béton avec son épaisseur minimale d'enrobage	<ul style="list-style-type: none"> • Mortier mono ou bicomposant sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis ou barbotine • Mortier EP ou PUR sur couche d'accrochage EP ou PUR sur produit passivant (milieu sec)
Éclatement du béton avec armature apparente corrodée	Dégagement et nettoyage des armatures rouillées (brossage, grenaillage, etc) et reconstitution du béton avec une épaisseur minimale d'enrobage par produits ou non	<ul style="list-style-type: none"> • Mortier LHM mono ou bicomposant sur couche d'accrochage EP ou sur gobetis ou barbotine • Mortier EP ou PUR sur couche d'accrochage EP ou PUR sur produit passivant (milieu sec)

(1) **LHM** : Produits à base de liants hydrauliques modifiés par des polymères organiques

EP : Résines époxydes

PUR : Polyuréthane

EP-C : Produits mixtes à base de ciment et de polymère organique réactif

17.6.5 - PRÉPARATION DES PRODUITS

17.6.5.1 - PRODUITS À BASE DE LIANTS HYDRAULIQUES

Suivant la nature et l'importance des travaux et le mode de réparation adopté, les produits à base de liants hydrauliques peuvent être :

- préparés sur le site de l'ouvrage

- fabriqués en centrale de béton prêt à l'emploi
- fabriqués et conditionnés en usine

Les deux premiers cas correspondent à des volumes relativement importants à mettre en place. La composition du mélange doit alors faire l'objet d'une étude de laboratoire prouvant que la qualité requise peut être obtenue avec les matériaux proposés, à moins que des travaux antérieurs de même nature puissent servir de référence. L'aptitude des moyens de fabrication est vérifiée par une épreuve préalable sur le site ou en centrale.

Les produits fabriqués et conditionnés en usine se présentent :

- soit sous forme de monocomposant prédosé sec qu'il suffit de mélanger intimement avec de l'eau pour obtenir le produit désiré. La proportion d'eau à utiliser doit toujours être conforme aux indications de la notice technique du fabricant de façon à garantir les caractéristiques rhéologiques et les performances du mélange final et à limiter le retrait.
- soit sous forme d'un bi ou tri-composant prédosé en usine. Les deux (ou trois) constituants sont conditionnés en emballages dont les poids respectifs sont en proportion du mélange à fabriquer. Il est impératif de mélanger intimement la totalité des deux (ou trois) composants livrés en unités de conditionnement prêts à l'emploi en respectant les consignes de préparation figurant sur les notices techniques qui peuvent conseiller par exemple d'ajouter progressivement la poudre à la totalité ou à une fraction du liquide de gâchage afin d'éviter la formation de grumeaux ; le reliquat du liquide pouvant être introduit à la fin.

Le mélange peut être réalisé soit à l'aide d'un agitateur électrique à hélice ou à palettes dont la vitesse est réglable, soit à l'aide d'un malaxeur à axe vertical.

La capacité de la cuve du mélangeur doit être adaptée au volume unitaire à mettre en œuvre. L'ordre d'introduction des constituants doit être conforme aux instructions du producteur. La durée du malaxage doit être suffisante pour assurer l'homogénéité du mélange.

17.6.5.2 - PRODUITS À BASE DE RÉSINES SYNTHÉTIQUES

Il s'agit de produits généralement bi ou tri composants et conditionnés en usine sous forme d'emballages inviolables, prédosés dans les proportions voulues pour le mélange définitif. Il convient de respecter scrupuleusement ces proportions et de ne pas fractionner le contenu des emballages.

Ces produits sont généralement disponibles en unités de conditionnement d'importance variable, ce qui permet d'adapter le volume du mélange à fabriquer aux moyens de mise en œuvre disponibles et aux conditions de température qui influent sur la durée d'utilisation pratique.

Pour les liants fluides, le mélange doit être effectué avec un agitateur à hélice, électrique ou pneumatique, à faible vitesse de rotation afin d'éviter l'inclusion de bulles d'air. Pour les liants à consistance pâteuse, un agitateur à hélice convient.

Dans tous les cas il faut se conformer aux consignes de préparation fournies par les notices techniques du fabricant.

17.6.5.3 - PRODUITS À MATRICE MIXTE EN CIMENT POLYMÈRE

Ces produits se présentent généralement sous forme de trois composants :

- a. une résine
- b. un durcisseur
l'un de ces deux constituants (ou les deux) étant en émulsion ou en dispersion aqueuse
- c. un mélange en poudre contenant le ciment, les charges et les adjuvants ou additifs spéciaux

Ces produits sont livrés dans des unités de conditionnement prédosés qui permettent de préparer le mélange définitif en respectant les proportions prévues par le fabricant, à la condition impérative de ne pas fractionner le contenu des emballages, et de ne pas ajouter d'eau.

Dans tous les cas, il est impératif de respecter les spécifications de la notice technique fournie par le fabricant.

17.6.6 - APPLICATION DES PRODUITS ET MATÉRIELS DE MISE EN ŒUVRE

Au moment de l'application des produits, il est souvent nécessaire de vérifier l'état du support prêt à les recevoir, ainsi que les conditions climatiques ambiantes qui constituent des points d'arrêt si la nature des produits à appliquer n'est pas compatible avec l'un de ces facteurs.

Rappelons que l'état du support au moment de l'application peut être :

- une surface sèche,
- une surface humide,
- une surface ruisselante,
- une surface immergée.

Les conditions climatiques à prendre en considération lors de l'application sont :

- la température,
- l'humidité relative,
- le vent.

17.6.6.1 - RÉPARATION DE SURFACE ET RECONSTITUTION PARTIELLE D'ÉLÉMENTS DE STRUCTURE

17.6.6.1.1 - Produits à base de liants hydrauliques avec ajouts éventuels (LHA)

Application sans couche d'accrochage : l'application directe des produits à base de liants hydrauliques, sans couche d'accrochage nécessite le plus souvent d'humidifier la surface du béton support à refus. Cette opération peut être faite 24 heures avant l'application, notamment par temps sec pour imprégner le support ; une simple réhumidification de celui-ci doit ensuite être prévue juste avant l'application elle-même. Certains produits peuvent être appliqués directement sur support sec mais dans tous les cas, il est nécessaire de se conformer à la notice technique fournie par le fabricant.

Application sur couche d'accrochage en liants hydrauliques : il convient de bien mouiller le support pour imprégner d'eau le béton ancien puis d'éliminer par brossage l'eau en excès lorsque la couche d'accrochage est constituée d'une barbotine à base de liants hydrauliques, modifiés ou non, ou d'un gobetis. L'application de cette couche d'accrochage en faible épaisseur (quelques millimètres) peut être faite au balai, à la brosse, éventuellement par projection. Elle est suivie sans délai de la mise en œuvre du mortier de réparation.

Application sur couche d'accrochage en résines synthétiques : dans le cas des supports en béton très poreux ou dans le cas de mortier faiblement dosé en liant, il est souvent nécessaire de prévoir une couche d'accrochage en résines synthétiques pour améliorer la liaison entre le subjectile et le produit rapporté. L'application de ce primaire d'accrochage au pinceau, à la brosse ou au rouleau, en couche mince, implique généralement que le support ait été préalablement séché. Le mortier de réparation est mis en œuvre lorsque le liant de résine devient poisseux.

Mise en œuvre : les produits à base de liants hydrauliques peuvent être mis en place en une ou plusieurs couches successives d'épaisseur pouvant varier de quelques millimètres à plusieurs centimètres (5 cm, voire 10 cm).

Brosse, taloche, truelle crantée ou lisseuse, pompe, machine à projeter peuvent être utilisées en fonction de l'importance des travaux et des conditions de chantier. Si nécessaire le serrage doit être assuré ou amélioré par damage. Le surfacage final est effectué à la taloche ou à la lisseuse après tirage du mortier à la règle.

Les délais de mise en place des mortiers et bétons après fabrication sont fonction des constituants et des ajouts éventuels. Il est recommandé de se reporter au mode d'emploi du fabricant qui précise ces délais.

La température de mise en œuvre est normalement comprise entre 5°C et 35°C, mais il est évident que la température du subjectile peut être prépondérante quant à la prise et au durcissement du produit.

L'application des produits à base de liants hydrauliques doit être évitée en plein soleil, par vent desséchant ou lorsqu'il y a des risques de gel.

Un traitement de cure efficace doit être prévu pour éviter tout risque de dessiccation prématurée. Une humidification permanente pendant 48 heures ou l'utilisation d'une protection par feuille plastique parfaitement fixée est également acceptable.

17.6.6.2 - PRODUITS À BASE DE LIANTS RÉSINES SYNTHÉTIQUES

Les outils d'application sont choisis en fonction de la nature et de la consistance des produits et de la position de l'application (surface horizontale, verticale, inclinée).

La consistance des produits est déterminante sur le choix des outils. On peut les classer grossièrement en trois catégories :

- produits liquides,
- produits pâteux,
- mortiers ou microbétons.

Les produits liquides peuvent être appliqués soit sous forme de film réalisé en une ou plusieurs couches successives, soit en masse quand il s'agit de remplir une cavité.

L'application peut être faite manuellement ou mécaniquement.

L'application manuelle apporte une action mécanique qui favorise l'imprégnation du produit dans les microspores du support, améliorant ainsi l'adhérence. La brosse, le rouleau ou la raclette peuvent être utilisés en position plancher exclusivement.

L'application mécanique permet d'augmenter les rendements de mise en œuvre sous forme de film ou en masse. Elle induit l'utilisation de pots en pression ou de pompes permettant de véhiculer le produit au travers de tuyauteries souples pour alimenter les outils situés en extrémité. Les pompes sont conçues pour des produits monocomposant ou bicomposant ; dans ce dernier cas elles disposent en sortie d'un mélangeur statique.

Les outils disponibles sont :

- soit des pistolets : le produit pulvérisé se dépose sur le support, le choix des buses de pulvérisation reste un élément important devant faire l'objet d'un essai de convenance,
- soit des brosses ou des rouleaux auto-alimentés : le manche de ces outils est creux et permet l'alimentation permanente des produits.

Les produits pâteux sont, le plus souvent, utilisés pour remplir des engravures, ou pour réaliser des films épais ou des surfaces d'encollage. Ils peuvent être appliqués manuellement ou mécaniquement.

L'application manuelle peut être réalisée au moyen de spatules, de couteaux à enduire, de pistolets à crémaillère permettant l'extrusion du produit à travers une buse fixée sur une cartouche, ou à la main gantée quand il s'agit d'enduire une surface complexe, dans des délais très brefs.

L'application mécanique est faite au moyen de pompes permettant une extrusion des produits sous forte pression. Ce sont généralement des pompes à piston.

La consistance des mortiers ou microbétons est fonction de la nature et du pourcentage de la résine utilisée pour le mélange.

Les mortiers généralement pauvres en liant, permettent d'être travaillés relativement facilement, et d'être modelés sans utilisation de moule. Il faut cependant, pour assurer leur adhérence au support, les appliquer sur un primaire d'accrochage.

L'application manuelle se fait au moyen d'outils de maçonnerie, lisses et propres, tels que la truelle lisseuse, le plateau, la truelle langue de chat, etc.

Le produit doit être déposé sur le support et serré fortement en couche d'épaisseur raisonnable. Dans le cas d'épaisseur importante, on peut travailler en plusieurs couches.

17.6.6.3 - PRODUITS À MATRICE MIXTE EN CIMENT POLYMÈRE

Les produits à matrice mixte ciment polymère doivent être appliqués immédiatement après fabrication du mélange sur la surface de béton à traiter, préalablement recouverte d'un primaire compatible lorsque la notice technique le prévoit.

Il est impératif de respecter les délais donnés par le fabricant entre la mise en œuvre du primaire et celle du revêtement afin d'assurer un bon accrochage sur le support.

17.7 - TRAITEMENT DES FISSURES DE STRUCTURE

Le choix de la technique et du produit de réparation dépend de la géométrie et de l'activité des fissures, de l'état des supports (humidité, etc.), de l'accessibilité à la fissure et des conditions climatiques.

17.7.1 - CHOIX DE LA TECHNIQUE ET DU PRODUIT DE RÉPARATION

[Voir tableau 10 ci-après]

Les techniques et les produits recommandés suivant l'activité des fissures sont donnés ci-dessous :

Tableau 10

DÉFAUT	TRAITEMENT	PRODUITS UTILISABLES ⁽¹⁾
Fissures passives Fissure d'ouverture 0,6 mm < e < 3 mm	<ul style="list-style-type: none"> Colmatage par injection ou calfeutrement 	<ul style="list-style-type: none"> Liant LHM ou LHA (injection) Liant EP ou PUR ou coulis de ciment (injection)
Fissures actives	<ul style="list-style-type: none"> Injection <ul style="list-style-type: none"> a) sans blocage mécanique : produits souples b) avec blocage mécanique : produits rigides Calfeutrement avec des produits souples après ouverture des fissures ⁽²⁾ Pontage par application de bande collée ⁽³⁾ Pontage par revêtement souple armé avec des armatures textiles 	<ul style="list-style-type: none"> Mastics EP ou mortier LHM (calfeutrement) Liant PUR ou PAAM (milieux humides en permanence) Liant EP ou coulis de ciment ultra fin Mastics élastomères de 1ère catégorie (label SNJF) essentiellement PUR et silicones Colle EP + bande élastomère Liant EP-PUR ou PUR et armatures textiles

Légende

(1) Produits utilisables

- LHA** : Liants hydrauliques avec ajouts
- EP** : Résines époxydes
- LHM** : Produits à base de liants hydrauliques modifiés par des polymères organiques
- PUR** : Polyuréthane
- EP-C** : Produits mixtes à base de ciment et de polymère organique réactif

PAAm : Polyacrylamides

Remarques

- (2) On utilise de préférence ce procédé
- (3) Dans le cas où l'on cherche à étancher des fissures actives

17.7.2 - PRÉPARATION DES SUPPORTS ET EXÉCUTION DU TRAITEMENT

17.7.2.1 - INJECTION

L'injection doit être précédée du nettoyage des fissures. En cas de doute, afin d'éliminer la calcite et toutes les impuretés qui ont pu s'y introduire, les fissures sont lavées à l'eau sous pression avec éventuellement des produits adaptés tels que les détergents. Elles sont ensuite rincées à l'eau douce.

L'utilisation de produits d'injection à base de liant hydraulique nécessite une humidification préalable des fissures.

L'utilisation de produits à base de résine incompatible avec un support humide nécessite au contraire le séchage à l'air sec sous pression en vérifiant l'efficacité du filtre à huile du compresseur, pour qu'il ne contamine pas l'air environnant.

L'injection peut être réalisée au moyen d'injecteurs collés ou d'injecteurs forés distants de 20 cm à 1 m selon la configuration du support, certains d'entre eux pouvant servir d'évents. Les injecteurs collés, adaptés aux faibles pressions d'injection (0,5 MPa) et aux faibles débits sont disposés longitudinalement à cheval sur la fissure. Les injecteurs forés sont disposés dans des trous forés dans le plan de la fissure ou dans une direction interceptant ce plan.

La fissure est cachetée extérieurement entre les injecteurs à l'aide d'un produit pâteux, d'un mastic... Après cette opération la communication entre injecteurs et événements est vérifiée à l'air comprimé.

L'injection des fissures demande une attention particulière à la température extérieure, à celle du support et à la durée pratique d'utilisation du produit, dans les conditions de mise en œuvre. L'injection peut être réalisée à l'aide d'une pompe manuelle, à moteur, à piston, à membrane, à engrenage ou à l'aide de pots à pression.

Des pompes à piston ou engrenage sont utilisables : la pression devant être, adaptée à l'ouverture des fissures, et contrôlable. Lorsque les composants du produit n'ont pas été pré-mélangés, il faut utiliser une pompe par composant et un pistolet mélangeur placé à proximité du point d'injection. Un réglage précis de ce type d'appareillage doit être prévu.

Les pots à pression peuvent être à sortie haute ou basse, à réservoir indépendant ou à enveloppe déformable. La mise en pression est assurée par une pompe manuelle, par un compresseur ou par des bouteilles d'air comprimé. La pression est contrôlée à l'aide de manomètres. Dans certains cas, une injection gravitaire peut être réalisée en disposant les réservoirs au dessus des injecteurs mais le débit est alors difficile à régler.

La liaison entre les pompes ou les pots et les injecteurs est assurée par des flexibles devant résister à la pression de mise en œuvre, être compatibles avec les produits et adaptés aux injecteurs pour assurer l'étanchéité.

17.7.2.2 - CALFEUTREMENT

Le calfeutrement implique l'ouverture de la fissure manuellement ou par meulage électrique ou pneumatique, l'élimination de la poussière par brosse ou soufflage à l'air sec et déshuilé. En cas de venue d'eau, un pré-étanchement est à prévoir en fond de la partie élargie soit par colmatage avec une pâte de ciment à prise accélérée soit par injection d'une résine qui gonfle en présence d'eau. Le nettoyage et le séchage des lèvres de la fissure doivent suivre cette opération.

Le mastic de calfeutrement est mis en œuvre à l'aide d'un pistolet manuel ou pneumatique à débit contrôlable et muni d'embout d'ouverture adaptée à l'écartement des lèvres de la fissure. Le produit de calfeutrement proprement dit est mis en œuvre soit manuellement à la truelle ou à la langue de chat, soit par projection pour les produits hydrauliques, soit à l'aide de pompes manuelles ou pneumatiques pour les produits organiques. Un primaire d'accrochage doit être appliqué lorsque la notice technique le prévoit. Le serrage du produit de calfeutrement puis son talochage et un lissage final achèvent la mise en œuvre. La protection du produit contre la pluie, les salissures et les chocs doit être assurée pendant sa polymérisation.

17.7.2.3 - PONTAGE

Toute trace de matière susceptible de nuire à l'adhérence au support est à éliminer par des moyens mécaniques appropriés.

Le pontage est appliqué avec le matériel prescrit par le fabricant pour la mise en œuvre des produits à base de liant de résine. Le pontage d'une fissure active pour la rendre étanche nécessite une ouverture en U ou en V au fond de laquelle on dispose un fond de joint en mousse sur lequel on applique un mortier élastique type élastomère avec un primaire si le producteur le préconise (règles SNJF).

17.8 - TRAITEMENT DE SURFACE DES BÉTONS

L'objectif de la restauration est de conforter des ouvrages tout en leur conservant un aspect résultant en général du passage dans le temps. Un bon travail de reprise ne doit pas se voir.

Le traitement de surface des parties neuves s'attache donc à une parfaite harmonisation de celles-ci avec les parties conservées éventuellement nettoyées. Une grande attention est portée à la granulométrie des granulats, à leur coloration et à celle du liant, au mode de fabrication de ces zones (vibration, non vibration, ...) et à leur vieillissement.

Un traitement de vieillissement physique et de patine (coloration) de l'ensemble de la partie restaurée débordant plus ou moins sur les parties conservées est souvent indispensable pour une bonne intégration des parties neuves.

17.9 - RÉALCALINISATION DU BÉTON

À la suite du processus de carbonatation, l'alcalinité du béton diminue. En conséquence, l'acier perd sa protection par dépassement et commence à rouiller.

Pour arrêter ce phénomène de dégradation et sans enlever le béton carbonaté, mais ne présentant pas de désordres apparents, on peut utiliser une technique électro-chimique qui réalcalinise le béton.

Cette technique engendre deux phénomènes qui coexistent simultanément :

- d'une part, un gel alcalin appliqué à l'extérieur du béton est entraîné vers l'intérieur durant le processus,
- d'autre part, il se produit une réaction cathodique aux armatures qui provoque la formation d'ions hydroxydes.

Cette méthode est basée sur le processus électro-osmotique qui se produit lorsque l'armature d'acier et un conducteur appliqué à l'extérieur (par exemple un treillis d'acier) sont reliés à une source de courant continu. Un gel alcalin à base Na_2CO_3 appliqué à l'extérieur et recouvrant le conducteur externe, est «entraîné» vers l'intérieur pendant ce processus électro-osmotique, et augmente finalement le pH de l'eau interstitielle.

En augmentant l'alcalinité d'un béton carbonaté, la carbonatation ultérieure est arrêtée et la couche de passivation de l'armature d'acier est rétablie.

Par conséquent, la rouille (l'hématite) se transforme en magnétite ; cette transformation s'accompagne d'une diminution du volume de sorte que la pression sur le béton diminue.

Comme nous l'avons déjà mentionné, il se produit également une réaction cathodique aux armatures qui provoque la formation d'ions hydroxydes qui participent à la réalcalinisation.

17.9.1 - OPÉRATIONS PRÉALABLES

17.9.1.1 - CONTRÔLE DE LA SENSIBILITÉ AUX RÉACTIONS ALCALI-GRANULATS

Lors de la phase diagnostic, un examen pétrographique permet de déceler les réactions alcali-silice, en déterminant le nombre d'ions sodium et potassium présents dans le béton et en comparant avec la valeur maximale admise en Na_2O équivalent.

Lors de l'application de la méthode, en utilisant un électrolyte à base de Na_2CO_3 , le Na_2O équivalent augmente d'un nombre calculable d'ions sodium.

S'il n'y a pas de danger de dépasser la valeur limite, la méthode peut être appliquée : d'une part on introduit de façon électro-osmotique une solution de Na_2CO_3 et d'autre part l'alcalinité est obtenue du fait de la réaction cathodique.

Si cette valeur limite risque d'être dépassée, suite à une introduction de Na_2CO_3 , on ne travaille que sur la production d'ions hydroxydes autour de l'armature.

Cette augmentation locale diffuse rapidement. Cette méthode prend cependant plus de temps, étant donné que lors de l'utilisation de Na_2CO_3 comme électrolyte, l'augmentation de l'alcalinité est la conséquence des deux processus.

17.9.1.2 - TRAITEMENT DE LA SURFACE

La surface ne doit pas présenter d'irrégularités qui provoqueraient des courts-circuits entre anodes et cathodes.

Il peut s'agir de fissures atteignant les armatures.

Les fissures qui affectent la conductibilité sont traitées.

La réparation des bétons, des écailllements et délaminations est effectuée.

Les produits et opérations de traitement des fissures, des écailllements et des délaminations ne doivent pas modifier la conductibilité du béton.

17.9.2 - APPLICATION DE LA MÉTHODE DE RÉALCANISATION

Les processus électro-chimiques ne peuvent avoir lieu à une température de l'air inférieure à 0°C .

17.9.2.1 - CONTRÔLE DE LA CONTINUITÉ ÉLECTRIQUE DES ARMATURES

Après repérage des armatures, la continuité électrique doit être contrôlée pour chaque section à réalcaliniser, au moins tous les 10 m^2 . On présume que la continuité de l'armature a été établie quand la résistance électrique mesurée entre deux points (sur différentes barres de l'armature) est inférieure à 1 ohm ; si la résistance est supérieure, un couplage doit être réalisé.

17.9.2.2 - EXÉCUTION DE LA CONTINUITÉ DE L'ARMATURE

Si les conditions de la continuité de l'armature ne sont pas remplies, de nouvelles connexions entre les barres de l'armature doivent être exécutées, en dégagant des ouvertures où les barres se croisent et en branchant des connexions sur ces deux barres.

Dans chaque section à réalcaliniser, un nombre suffisant de barres doivent être branchées, afin de remplir ces conditions.

De nouvelles mesures doivent être exécutées, afin de vérifier la continuité.

Tout acier dégagé doit être protégé afin de prévenir des courts-circuits.

17.9.2.3 - CONNEXIONS DES CÂBLES ÉLECTRIQUES AUX ARMATURES

Le contact entre les armatures et le convertisseur doit être établi tous les 10 m² (sauf si stipulé autrement). Le raccord s'effectue par vis ou soudure si l'acier est soudable.

Le point de contact doit être isolé avec un matériau non-conducteur.

Chaque câble doit avoir un code (par exemple : couleur), pour ne pas les confondre avec les câbles de l'anode (treillis).

17.9.2.4 - INSTALLATION DES ANODES

Le réseau d'anodes (treillis d'acier) doit être installé de sorte qu'il ne puisse pas y avoir un court-circuit entre le réseau d'anodes et les armatures. Les raccordements à l'anode sont réalisés tous les 6 à 10 m².

Le réseau d'anodes doit être installé de sorte qu'il y ait une distance d'environ 2 cm entre les anodes et la surface en béton.

Chaque câble de raccordement doit avoir un code (par exemple : couleur), de sorte qu'on ne puisse pas les confondre avec les câbles de la cathode reliés à l'armature du béton.

17.9.2.5 - CONTRÔLE DE LA RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE ENTRE LES RÉSEAUX D'ANODES ET L'ARMATURE

La résistance électrique entre le réseau d'anodes et l'armature doit être supérieure à 0,1 Mohm.

17.9.2.6 - PROJECTION DE L'ENDUIT

L'enduit est un gel alcalin, s'il n'y a pas de problème d'alcali-réaction [Voir article 17.9.1.1 du présent fascicule] qui est constitué de fibres cellulosiques, imprégné d'un sel adéquat.

L'enduit doit être en contact intime avec le béton. La projection doit être exécutée de telle façon qu'il n'y ait pas de problème d'environnement, ni de dégât aux constructions proches ou à des parties de ces constructions.

17.9.2.7 - HUMIDIFICATION DE L'ENDUIT

L'enduit mis en place doit être conservé humide toute la durée du processus avec protection si nécessaire. Pendant des périodes d'exposition à la lumière du soleil directe combinée au vent, ces zones doivent être protégées.

17.9.2.8 - CONNEXIONS ÉLECTRIQUES

Les connexions électriques doivent être établies à chaque section sous un contrôle strict. Avant de raccorder une nouvelle section, des mesures de la résistance entre l'armature et le treillis d'anodes doivent être exécutées afin de contrôler qu'il n'y ait pas de contact électrique.

Le courant mesuré dans chaque section de travail sera au maximum de 1 A/m² de la surface en béton. La tension doit être inférieure à 48 V.

17.9.2.9 - ADAPTATION ET CONTRÔLE DU COURANT/TENSION ÉLECTRIQUE

Après raccordement électrique, le courant et la tension doivent être contrôlés les deux ou trois premiers jours en mesurant tous les câbles individuellement, afin de vérifier la distribution du courant dans chaque section.

Ces mesures doivent être répétées jusqu'à la fin du traitement.

En outre, le courant total et la tension doivent être enregistrés de façon automatique soit mesurés manuellement, au moins une fois par jour ; si nécessaire, le courant est adapté, conformément aux conditions relatives à la densité de courant maximale (1 A/m² de béton).

17.9.2.10 - CONTRÔLE DU PROCESSUS DE RÉALCALINISATION

Durant le traitement électro-chimique, des échantillons de béton doivent être prélevés, afin de contrôler la valeur du pH.

La valeur du pH est contrôlée à l'aide de phénolphthaléine (une solution de phénolphthaléine de 0,1% dans un mélange 50/50 éthanol/eau) sur des carottes forées d'un diamètre de 20 mm.

17.9.2.11 - FIN DU TRAITEMENT

Le traitement de réalcalinisation peut varier de quelques jours à plusieurs semaines (2 ou 3).

Lorsque les critères finals sont atteints, le processus est arrêté et le matériel démonté.

17.10 - DÉCHLORURATION DU BÉTON

Les chlorures sont très agressifs, ils conduisent à une corrosion accélérée des armatures qui est appelée « corrosion par points ou piqûres ».

La technique de déchloruration, semblable à celle de la réalcalinisation agit sur la teneur en chlorure. Il se produit un déplacement des ions chlore vers la surface du béton où ils sont purgés dans le gel.

17.10.1 - OPÉRATIONS PRÉALABLES

17.10.1.1 - TRAITEMENT DE LA SURFACE

La surface ne doit pas présenter d'irrégularités qui provoqueraient des courts-circuits entre anodes et cathodes.

Il peut s'agir de fissures atteignant les armatures.

Les fissures qui affectent la conductibilité sont traitées.

La réparation des bétons, des écailllements et délaminations est effectuée.

Les produits et opérations de traitement des fissures, des écailllements et des délaminations ne doivent pas modifier la conductibilité du béton.

17.10.2 - APPLICATION DE LA MÉTHODE DE RÉALCALINISATION

Les processus électro-chimiques ne peuvent avoir lieu à une température de l'air inférieure à 0°C.

17.10.2.1 - CONTRÔLE DE LA CONTINUITÉ ÉLECTRIQUE DES ARMATURES

Après repérage des armatures, la continuité électrique doit être contrôlée pour chaque section à réalcaliniser, au moins tous les 10 m². On présume que la continuité de l'armature a été établie quand la résistance électrique mesurée entre deux points (sur différentes barres de l'armature) est inférieure à 1 ohm ; si la résistance est supérieure, un couplage doit être réalisé.

17.10.2.2 - EXÉCUTION DE LA CONTINUITÉ DE L'ARMATURE

Si les conditions de la continuité de l'armature ne sont pas remplies, de nouvelles connexions entre les barres de l'armature doivent être exécutées, en dégageant des ouvertures où les barres se croisent et en branchant des connexions sur ces deux barres.

Dans chaque section à réalcaliniser, un nombre suffisant de barres doivent être branchées, afin de remplir ces conditions.

De nouvelles mesures doivent être exécutées, afin de vérifier la continuité.

Tout acier dégagé doit être protégé afin de prévenir des courts-circuits.

17.10.2.3 - CONNEXIONS DES CÂBLES ÉLECTRIQUES AUX ARMATURES

Le contact entre les armatures et le convertisseur doit être établi tous les 10 m² (sauf si stipulé autrement). Le raccord s'effectue par vis ou soudure si l'acier est soudable.

Le point de contact doit être isolé avec un matériau non-conducteur.

Chaque câble doit avoir un code (par exemple : couleur), pour ne pas les confondre avec les câbles de l'anode (treillis).

17.10.2.4 - INSTALLATION DES ANODES

Le réseau d'anodes (treillis d'acier) doit être installé de sorte qu'il ne puisse pas y avoir un court-circuit entre le réseau d'anodes et les armatures. Les raccords à l'anode sont réalisés tous les 6 à 10 m².

Le réseau d'anodes doit être installé de sorte qu'il y ait une distance d'environ 2 cm entre les anodes et la surface en béton.

Chaque câble de raccordement doit avoir un code (par exemple : couleur), de sorte qu'on ne puisse pas les confondre avec les câbles de la cathode reliés à l'armature du béton.

17.10.2.5 - CONTRÔLE DE LA RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE ENTRE LES RÉSEAUX D'ANODES ET L'ARMATURE

La résistance électrique entre le réseau d'anodes et l'armature doit être supérieure à 0,1 Mohm.

17.10.2.6 - PROJECTION DE L'ENDUIT

L'enduit doit être en contact intime avec le béton. La projection doit être exécutée de telle façon qu'il n'y ait pas de problème d'environnement, ni de dégât aux constructions proches ou à des parties de ces constructions.

17.10.2.7 - HUMIDIFICATION DE L'ENDUIT

L'enduit mis en place doit être conservé humide toute la durée du processus avec protection si nécessaire. Pendant des périodes d'exposition à la lumière du soleil directe combinée au vent, ces zones doivent être protégées.

17.10.2.8 - CONNEXIONS ÉLECTRIQUES

Les connexions électriques doivent être établies à chaque section sous un contrôle strict. Avant de raccorder une nouvelle section, des mesures de la résistance entre l'armature et le treillis d'anodes doivent être exécutées afin de contrôler qu'il n'y ait pas de contact électrique.

Le courant mesuré dans chaque section de travail sera au maximum de 1 A/m² de la surface en béton. La tension doit être inférieure à 48 volts.

17.10.2.9 - ADAPTATION ET CONTRÔLE DU COURANT/TENSION ÉLECTRIQUE

Après raccordement électrique, le courant et la tension doivent être contrôlés les deux ou trois premiers jours en mesurant tous les câbles individuellement, afin de vérifier la distribution du courant dans chaque section.

Ces mesures doivent être répétées jusqu'à la fin du traitement.

En outre, le courant total et la tension doivent être enregistrés de façon automatique soit mesurés manuellement, au moins une fois par jour ; si nécessaire, le courant est adapté, conformément aux conditions relatives à la densité de courant maximale (1 A/m^2 de béton).

17.10.2.10 - CONTRÔLE DU PROCESSUS DE DÉCHLORURATION

Durant le traitement électro-chimique, des échantillons de béton doivent être prélevés, afin de contrôler la teneur en chlorure.

La teneur en chlorure peut être contrôlée à l'aide d'une méthode d'analyse rapide de chantier (par exemple avec des électrodes sélectives).

17.10.2.11 - FIN DU TRAITEMENT

La durée du traitement de déchloruration peut atteindre entre 4 et 6 semaines.

Lorsque les critères finals sont atteints, le processus est arrêté et le matériel démonté.

CHAPITRE 18 - DÉROGATION AUX DOCUMENTS GÉNÉRAUX

Pour mémoire.

CHAPITRE 19 - ANNEXES

19.1 - EMPLOI DES PIERRES CALCAIRES PAR TEMPS FROID

Recommandations professionnelles provisoires

Durant l'hiver, où les périodes de pluie suivies de gel ne sont pas rares, l'emploi de pierres calcaires peut s'accompagner de désordres si des précautions particulières ne sont pas prises à temps.

En effet, les pierres peuvent être gorgées d'eau au moment de leur emploi puis, sous certaines conditions, se fendre, se déliter ou s'effriter par l'action du gel.

Les désordres apparaissent en œuvre, généralement avant l'achèvement de l'ouvrage. La quantité d'eau qui les provoque est la conséquence en tout ou partie de :

- l'eau de carrière
- l'eau de pluie
- l'eau du sol

Il est donc possible en agissant au stade de l'extraction et à celui de l'utilisation de diminuer cette quantité d'eau pour la ramener à une valeur acceptable susceptible de ne pas provoquer de désordre¹.

C'est pourquoi, les entrepreneurs de taille et de pose de pierre et les carriers, réunis dans le cadre de la révision de la Norme NF B 10-001 "Pierre", ont décidé de lier leurs efforts, avec le concours du CEBTP² pour résoudre le problème ainsi posé. Dans ce but, un certain nombre de carriers vont garantir, pour certaines pierres, dès le courant de l'hiver 1972/1973 et cela durant une première période expérimentale de deux ans³, une teneur en eau de carrière inférieure à celle qui peut provoquer des désordres en période de gel. Les entrepreneurs de leur côté, s'ils veulent bénéficier pleinement de cette garantie, devront bien suivre les règles de l'art pour le choix, le stockage et la mise en œuvre des pierres.

Les présentes recommandations qui s'adressent aux entrepreneurs, rappellent ces quelques règles de l'art essentielles ainsi que les modalités d'application des nouvelles dispositions prises pour éviter les sinistres de gel.

Elles n'affectent pas le droit pour l'entrepreneur de recourir contre le fournisseur en garantie des vices cachés lorsque aucune vérification n'est faite à son initiative au moment de la livraison.

19.1.1 - DOMAINE D'EMPLOI

Ces recommandations s'appliquent aux pierres calcaires, généralement tendres et demi-fermes, utilisées pour le montage des murs traditionnels porteurs ou non sous les dénominations courantes suivantes .

PIERRES DE TAILLE :

- _ Morceaux taillés,
- _ Morceaux massifs,
- _ Pierres pré-taillées (pré-sciées),

1 Un excès d'eau dans le plâtre lors du coulage des joints peut être également une source de désordre si le gel survient brusquement. L'eau en excès peut alors prendre en glace et détruire les arêtes des pierres bordant le joint. Le cas est rare et fortuit. Il ne comporte pas de prévention.

2 Centre Expérimental de recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics - 12 Rue Brancion - 75015 PARIS Centre d'Expertise du Bâtiment et des Travaux Publics - Domaine de Saint-Paul - 102, route de Limours - 78471 Saint Rémy les Chevreuses Cedex.

3 Renseignements fournis par :
- le Groupement Technique des Entreprises de Taille et de Pose de Pierre
- l'Union Nationale de la Maçonnerie- 9 Rue Lapérouse - 75180 PARIS CEDEX 16
- la Fédération de la Pierre de Construction - 3 Rue Alfred Roll - 75017 PARIS

- _ Moellons,
- _ Moellons équarris.

19.1.2 - MODALITÉS D'APPLICATION DE LA GARANTIE DE TENEUR EN EAU ACCEPTABLE

19.1.2.1 - DÉFINITIONS

On appelle :

- Teneur en eau critique, la quantité d'eau contenue dans la pierre à partir de laquelle des altérations sont constatées en période de gel.
- Teneur en eau limite acceptable, la quantité d'eau au-delà de laquelle des risques d'altération en période de gel sont à craindre.
- Teneur en eau de livraison, celle qui est effectivement mesurée au moment de la mise à disposition de la livraison¹.

En outre, il est rappelé que selon la terminologie de l'AFNOR on désigne par :

- _ Fourniture : l'ensemble d'une commande. Elle peut être livrée en une ou plusieurs fois selon l'importance de la commande.
- _ Livraison : la quantité livrée ou mise à disposition en une seule fois.
- _ Lot : la quantité prélevée dans la livraison pour les besoins des essais de contrôle.

19.1.2.2 - CONSISTANCE DE LA GARANTIE

La garantie de teneur en eau acceptable, consiste, pour le carrier, à mettre à la disposition de l'entrepreneur au moment de la livraison, une fourniture présentant une teneur en eau inférieure ou au plus égale à la teneur en eau limite définie ci-dessus.

Cette garantie court toute l'année.

19.1.2.3 - MISE À DISPOSITION DE LA FOURNITURE

La teneur en eau évolue en fonction du temps. Elle est mesurée au moment du départ de la livraison de la carrière pour le carrier.

La livraison peut être effectuée :

- à la carrière, dans le cas où l'entrepreneur fait son affaire du transport
- au chantier dans le cas où le carrier a la charge du transport

Le choix de l'une ou l'autre solution est une question de convenances entre les parties, à fixer à la commande. Dans tous les cas des précautions sont à prendre durant le transport pour protéger les matériaux des eaux de pluie.

19.1.2.4 - LIBELLÉ DU BORDEREAU DE LIVRAISON

Le bordereau de livraison établi par le carrier est remis par le livreur au représentant de l'entrepreneur au moment de la mise à disposition de la livraison.

¹ Ces teneurs en eau sont exprimées en pourcentages en poids.

Il doit comporter, pour la nature de pierre considérée, en dehors des indications habituelles qui définissent la fourniture (nature de la pierre, quantité, dimensions, taille, repérage, dureté, etc.) les valeurs suivantes de teneur en eau :

- teneur en eau critique,
- teneur en eau limite,
- teneur en eau de livraison.

19.1.3 - PRÉCAUTIONS À PRENDRE SUR LE CHANTIER

19.1.3.1 - CONTRÔLE DE LA TENEUR EN EAU GARANTIE

Dès l'arrivée de la livraison sur le chantier, l'entrepreneur, s'il le désire, peut faire procéder au contrôle de la teneur en eau garantie.

On procède de la manière suivante :

19.1.3.1.1 - Mode opératoire

On prélève un bloc de 200 g à 1 kg. Celui-ci est pesé pour déterminer sa masse humide. Il est séché par une méthode rapide (alcool à brûler, réchaud à butane). Le bloc est de nouveau pesé, afin de connaître sa masse sèche.

La teneur en eau de la pierre en % est égale à :

$$\frac{\text{masse humide} - \text{masse sèche}}{\text{masse sèche}} \times 100$$

- Interprétation des résultats

Le nombre de prélèvements est fonction de l'importance de la nature et de l'hétérogénéité de la livraison. Il devra être suffisant pour être représentatif de celle-ci.

La teneur en eau ainsi déterminée, si toutes les précautions pendant le transport ont été prises, doit être inférieure ou égale à la teneur en eau limite acceptable.

19.1.3.1.2 - Précautions de stockage

Les précautions de stockage consistent à mettre les pierres à l'abri de l'humidité.

19.1.3.1.3 - Protection contre les remontées d'eau du sol

Les pierres qui ne sont pas stockées sous abri doivent être isolées du sol et non pas à son contact, de manière à éviter les remontées capillaires. Celles-ci, indépendamment du fait qu'elles réhydratent le matériau, risquent de provoquer des taches et des efflorescences étant donné qu'elles sont toujours plus ou moins chargées de sels contenus dans le sol.

On peut réaliser un isolement satisfaisant soit à l'aide d'un platelage en bois constitué de bastings ou de madriers, soit plus simplement à l'aide de bastings ou même de chevrons placés sous les pierres. Le choix de l'une ou de l'autre solution, dépend surtout des dimensions des pierres et de la résistance du sol ; ainsi, pour des petits modules la première solution sera mieux adaptée que la seconde puisque le platelage offre une aire continue, par contre, pour les gros modules se sera l'inverse.

Certains bois, comme le chêne, qui comportent du tanin peuvent provoquer des taches. Ils sont à exclure.

L'attention est attirée sur le fait qu'un lit de paille ne saurait constituer une isolation suffisante. En outre, la paille d'avoine mouillée risque de provoquer des taches.

L'essentiel est de créer une ventilation efficace entre la pierre et le sol.

19.1.3.1.4 - Protection contre l'eau de pluie

En dehors de la mise sous abri, on peut réaliser cette protection soit à l'aide de bâches, soit à l'aide de feuilles de polyane solidement fixées aux matériaux.

19.1.3.2 - PRÉCAUTIONS DE MISE EN ŒUVRE

Pendant la construction, des précautions seront prises pour protéger les maçonneries contre la pluie et la neige.

On peut citer essentiellement :

19.1.3.2.1 - Protection des lits d'attente

Durant la période où le gel est à craindre, on protégera les lits d'attente à chaque arrêt du travail contre les chutes de pluie ou de neige. Pour cela, on pourra utiliser soit des bâches soit des feuilles de polyanes.

L'emploi de sacs ou paillasons est à proscrire.

19.1.3.2.2 - Protection des assises de murs sur planchers

Tant que la couverture du bâtiment n'est pas réalisée, l'eau de pluie s'infiltre d'étage en étage sur certains planchers. Il peut en résulter une imprégnation importante des pieds de murs. Pour cette raison, on devra exercer une surveillance de tous les niveaux pour prévenir cet inconvénient. Des rigoles en plâtre seront réalisées si besoin est, à l'exclusion de tout solin appliqué contre le pied du mur.

De plus, pour les façades orientées sous les pluies fouettantes, il pourra être nécessaire d'obturer les baies et ouvertures par des feuilles de plastique armé, genre GRILTEX.

19.1.3.2.3 - Protection des parements de façades

Lorsque la couverture est réalisée, il peut arriver que les travaux de zinguerie en cours conduisent à laisser en attente la pose des descentes bien que les gouttières ou les chéneaux soient en place. Il peut en résulter à l'emplacement des cuvettes et culottes, un écoulement concentré des eaux de pluie qui ruissellent le long des murs. La pierre risque alors d'être mouillée abondamment pendant un certain temps.

Si l'on ne peut poser les descentes rapidement, il faudra installer provisoirement des tubes coudés formant "gargouille" branchés sur les cuvettes et culottes, de manière à éloigner les eaux des parements des façades.

19.2 - FOISONNEMENT DES SABLES

(Extrait du DTU 26.1/ NF P 201-15-1))

Les volumes indiqués pour les sables supposent qu'ils sont à l'état sec ; or, dans la plupart des cas, les sables sont plus ou moins humides ; il en résulte que leur volume est à majorer par suite du foisonnement qu'entraîne la présence de l'eau.

Ce foisonnement peut atteindre des valeurs relativement importantes et, si l'on n'en tient pas compte dans le cas de sables humides, le dosage réel de celui-ci en volume conduit à un sous-dosage en sable préjudiciable à la bonne composition du mortier et à son ouvrabilité en particulier.

Le foisonnement est fonction du degré de finesse du sable et de sa teneur en eau.

Les études ont permis d'avoir des précisions à ce sujet, en particulier le foisonnement des sables usuels à béton 0/5 mm en fonction de leur module de finesse jusqu'à une teneur en eau de 12 %.

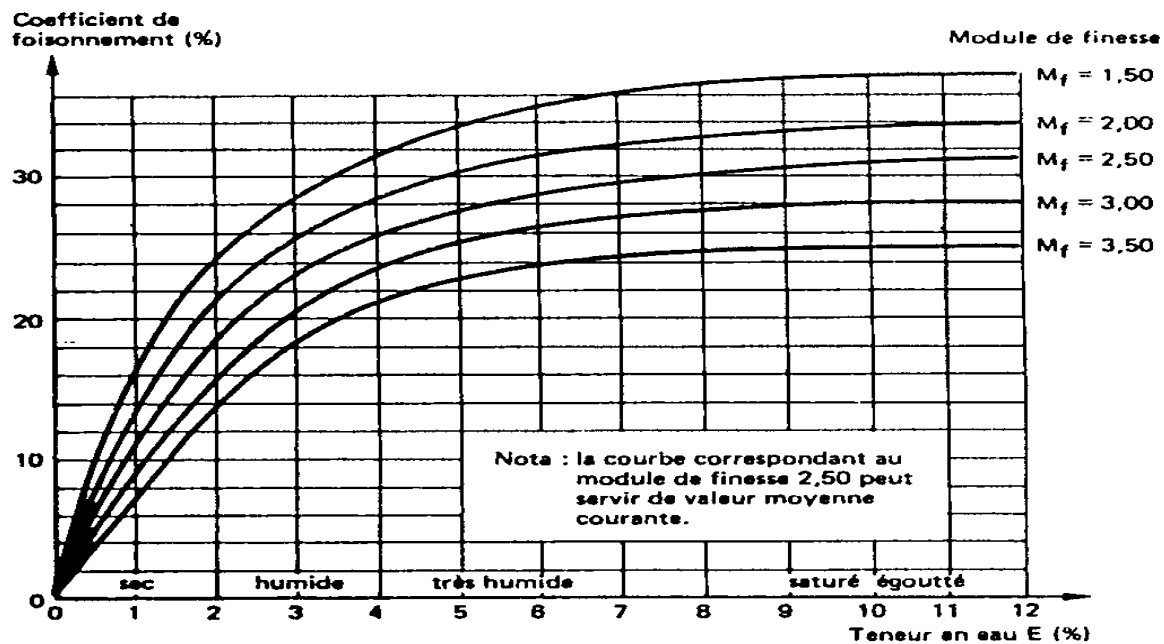
Les sables fins présentant une surface spécifique beaucoup plus grande que les sables grossiers, il en résulte que leur foisonnement est beaucoup plus important.

Le foisonnement du sable de granularité habituelle 0/5 mm a été étudié en faisant varier le degré de finesse de ce sable en le composant à partir des sables élémentaires en proportions diverses.

Pour ces divers degrés de finesse, c'est le module de finesse qui a été pris comme paramètre.

Les résultats sont représentés sur le graphique ci-après.

Foisonnement des sables usuels à béton 0/5 mm en fonction de leur finesse
















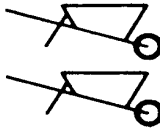

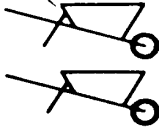

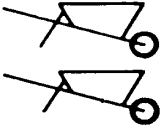

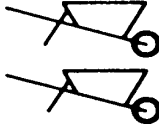

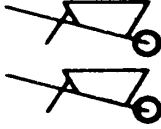



Il est à remarquer que, pour ces sables, le module de finesse le plus usuel est en général de l'ordre de 2.5 à 3.0 et que leur humidité est souvent de 3 à 6% ; on peut en conclure que, sauf étude plus détaillée du problème, on peut, en première et grossière approximation, considérer qu'il faut prendre en compte un coefficient de foisonnement de + 25 %.

Autrement dit, pour un volume apparent de sables sec de 400 litres, il faut prévoir 500 litres.

Le tableau ci-après établi par l'école d'Avignon, donne les corrections à faire pour des dosages au seau ou à la brouette en fonction de l'humidité du sable pour un module de finesse de celui-ci de 2.5.

Foisonnement des sables pour un module de finesse de 2.50, moyenne constante

	Sable très sec	Sable sec	Sable humide	Sable très humide	Sable saturé
Pour un seau de 10 litres	 5 %	 10 %	 15 %	 20 %	 25 %
Pour une brouette de 60 litres	  57 litres	  54 litres	  51 litres	  48 litres	  45 litres
Pour deux brouettes de 60 litres soit 120 litres	  115 litres	  106 litres	  100 litres	  96 litres	  90 litres

19.3 - EXEMPLE DE DOSAGE DES LIANTS POUR MORTIERS

À titre indicatif :

1. Densité des liants :	NHL	CIMENT	CL	P.G.C.
	0,8 kg/l	1 kg/l	0,5 kg/l	1kg/l

Volume des matériels :

- _ 1 pelle = 5 l
- _ 1 seau = 10 l, 2 pelles
- _ 1 brouette = 60 l, 6 seaux, 12 pelles

* Le dosage des pelles est donné à titre d'ordre de grandeur.

2. Exemples de dosage :

- _ Dressage

320 kg de NHL par m³ de sable sec :

4 seaux de NHL pour 10 seaux de sable ou 20 pelles.

- _ Finition

200 kg de chaux aérienne par m³ de sable sec :

4 seaux de chaux aérienne pour 10 seaux de sable ou 20 pelles,
ou

2,5 seaux de chaux en pâte pour 10 seaux de sable.

19.4 - TABLEAUX

19.4.1 - UTILISATION DES TABLEAUX :

Priorité 1 : Essai indispensable dans tous les cas pour mesurer des effets de l'intervention impossibles à évaluer sans analyse.

Priorité 2 : 2 possibilités :

- L'essai n'est pas indispensable dans la mesure ou l'évaluation visuelle à l'œil, au toucher, en sonnant le matériau ou par une analyse de priorité 1 peut donner des indications suffisantes si l'on n'a pas besoin de données chiffrées précises (cas d'un enduit de très grande valeur dans le but de prévenir tout risque et de disposer d'une donnée à archiver pouvant se révéler utile dans le futur).
- L'essai n'est indispensable que dans certains cas particuliers de dégradation.

Priorité 3 : Essai facultatif pouvant apporter des données intéressantes dans le cadre d'une étude plus générale pour la compréhension de certains phénomènes.

Remarques :

- Les listes proposées ne sont pas exhaustives et d'autres essais peuvent apporter des informations intéressantes,
- Les résultats et les données exigés peuvent être obtenus par des essais ou des observations rapides sur le terrain sans nécessiter obligatoirement des essais de laboratoire,
- Les données fiables déjà obtenues pour des cas très proches de celui à traiter peuvent être réutilisées sans qu'il y ait nécessité de refaire systématiquement de nouveaux essais.
- Tous les essais mentionnés ne sont pas à mettre en œuvre systématiquement.

19.4.2 - ANALYSES AMONT

19.4.2.1 - CONSOLIDATION D'UN ENDUIT ALTÉRÉ

TABLEAU 1 - DONNÉES À CONNAÎTRE SUR LA NATURE DES ALTÉRATIONS DE L'ENDUIT

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	Priorité
Observation de l'enduit à l'œil nu et à la loupe de terrain	Description de l'état de conservation de l'enduit	Repérer des altérations particulières de l'enduit, qui nécessitent une intervention préalable à la restauration	1
Examen du support	Description de la nature et de l'état du support	Repérer des altérations particulières du support, qui nécessitent une intervention préalable à la restauration	1
Dosage des sels solubles	Teneurs en sels solubles de l'enduit et du support.	Dans le cas d'une altération active, mise en évidence d'une salinisation	2

TABLEAU 1 - DONNÉES À CONNAÎTRE SUR LA NATURE DES ALTÉRATIONS DE L'ENDUIT

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	Priorité
Mesure de l'humidité	Taux d'humidité dans l'enduit et dans son support	Dans le cas d'une altération active, mise en évidence de remontées capillaires, d'infiltration...	2

TABLEAU 2 : DONNÉES À CONNAÎTRE SUR L'ENDUIT ANCIEN

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	Priorité
Examen à l'œil nu et à la loupe binoculaire de prélèvements d'enduit	Stratigraphie, épaisseur des couches, finition, peinture à la chaux ?	Connaissance de la technique d'enduit	1
Colorimétrie	Code de couleur (coordonnées L*a*b* ou autre système)	Valeur de référence avant consolidation	1
Examen pétrographique en section polie ou en lame mince	Texture, nature des liants, des granulats et des pigments	Détermination de la formulation de l'enduit à consolider	1
MEB sur cassure	Examen de la pâte, des contacts pâte-granulats, recherche des phases hydrauliques...	//	2
Diffraction des rayons X	Composition minéralogique dont les liants	//	2
Analyse chimique	Composition chimique	//	2
ATD / ATG	Courbe de déshydratation et de perte pondérale en fonction de la température	Détermination de la formulation de l'enduit à consolider. Mise en évidence et dosage des phases hydrauliques	2
Porosité totale ou porosimétrie	Capacité de stockage des fluides	Valeur de référence avant consolidation	2 ou 3
Perméabilité à la vapeur d'eau ou perméabilité à l'air	Capacité de transfert de l'air et de la vapeur d'eau	Valeur de référence avant consolidation	1
Imbibition capillaire ou absorption à la pipette de Karsten	Capacité de transfert de l'eau	Valeur de référence avant consolidation, si carottage impossible	1
Mesure de dureté ou résistance à l'abrasion ou résistance au percement	Valeur de dureté superficielle ou de résistance superficielle avant consolidation	Valeur de référence avant consolidation	1

19.4.2.2 - RÉFECTION PARTIELLE D'UN ENDUIT ANCIEN LACUNAIRE**TABLEAU 3 : DONNÉES À CONNAÎTRE SUR LA NATURE DES ALTÉRATIONS**

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	Priorité
Observation à l'œil nu et à la loupe de terrain de l'enduit	Description de l'état de conservation de l'enduit	Repérer des altérations particulières de l'enduit, qui nécessitent une intervention préalable à la restauration	1
Examen du support	Description de la nature et de l'état du support	Repérer des altérations particulières du support, qui nécessitent une intervention préalable à la restauration	1
Dosage des sels solubles	Teneurs en sels solubles de l'enduit et du support	Dans le cas d'une altération active, mise en évidence d'une salinisation	2
Mesure de l'humidité	Taux d'humidité dans l'enduit et dans son support	Dans le cas d'une altération active, mise en évidence de remontées capillaires, d'infiltration...	2

TABLEAU 4 : DONNÉES À CONNAÎTRE SUR L'ANCIEN ENDUIT

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	Priorité
Examen à l'œil nu et à la loupe binoculaire de prélèvements d'enduit	Stratigraphie, épaisseur des couches, type de finition, présence de peinture à la chaux, type de coloration	Connaissance de la technique d'enduit	1
Examen pétrographique en section polie ou en lame mince	Texture, nature des liants et des granulats, taille des granulats	Valeur de référence pour la mise au point du nouvel enduit	1
MEB	Examen de la pâte, des contacts pâte-granulats	//	2
Diffraction des rayons X	Composition minéralogique	//	1
Analyse chimique	Composition chimique, détermination de l'hydraulicité ou de la pouzzolanité, dosage liant/granat	//	1
ATD / ATG	Courbe de déshydratation et de perte pondérale en fonction de la température	Identification et dosage des phases hydrauliques	2

TABLEAU 4 : DONNÉES À CONNAÎTRE SUR L'ANCIEN ENDUIT

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	Priorité
Porosité totale ou porosimétrie	Capacité de stockage des fluides	Valeur de référence pour la mise au point du nouvel enduit	2 ou 3
Perméabilité à la vapeur d'eau ou perméabilité à l'air	Capacité de transfert de la vapeur d'eau ou de l'air	Valeur de référence pour la mise au point du nouvel enduit	1
Imbibition capillaire ou absorption à la pipette de Karsten	Capacité de transfert de l'eau	Valeur de référence pour la mise au point du nouvel enduit	1

19.4.2.3 - RÉFECTION TOTALE D'UN ENDUIT (L'EXISTANT EST UNE MAÇONNERIE SANS ENDUIT OU AVEC UN ENDUIT RÉCENT À PIOCHER)

TABLEAU 5 : DONNÉES À CONNAÎTRE SUR LE (OU LES) SUPPORT (S) PIERRE ET MORTIER DE JOINT SI CELUI-CI REPRÉSENTE UNE PART IMPORTANTE DE LA SURFACE À ENDUIRE

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	Priorité
Examen du support	Description de la nature et de l'état du support	Repérer des altérations particulières du support, qui nécessitent une intervention préalable à la restauration	1
Dosage des sels solubles	Teneurs en sels solubles du support	Dans le cas d'une altération active, mise en évidence d'une salinisation	2
Porosité totale ou porosimétrie	Capacité de stockage des fluides	Valeur de référence pour la mise au point du nouvel enduit	2 ou 3
Imbibition capillaire ou absorption à la pipette de Karsten	Capacité de transfert de l'eau	Valeur de référence pour la mise au point du nouvel enduit	1
Mesure de l'humidité	Taux d'humidité dans l'enduit et dans son support	Dans le cas d'une altération active, mise en évidence de remontées capillaires, d'infiltration...	2

19.4.3 - PRODUITS UTILISÉS

19.4.3.1 - DONNÉES À CONNAÎTRE SUR LES PRODUITS UTILISÉS

TABLEAU 6 : PRODUIT DE CONSOLIDATION

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	Priorité
*	Formulation du produit et application	Connaissance de la nature du produit (type, principales propriétés) et de l'aspect fini	1
Application <i>in situ</i>	Zones d'essais	Comportement <i>in situ</i>	1

* Données fournies par le fabricant dans la fiche technique ou dans tout autre document officiel.

TABLEAU 7 : MORTIER DE BOUCHAGE

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	PRIORITÉ
*	Formulation du mortier, application du produit	Connaissance de la nature du produit (type, principales propriétés) et de l'aspect fini	1
Dosage des sels solubles	Teneurs en sels solubles du mortier après prise ¹	Éviter d'utiliser des matériaux susceptibles d'apporter des sels solubles	1
Application <i>in situ</i>	Zones d'essais	Comportement <i>in situ</i>	1

* Données fournies par le fabricant dans la fiche technique ou dans tout autre document officiel s'il s'agit d'un produit ou d'un mélange de produits prêts à l'emploi ou par le restaurateur

¹ **Attention !** Les résultats des dosages peuvent être différents avant et après la prise du mortier.

TABLEAU 8 : COULIS D'INJECTION

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	Priorité
*	Formulation du coulis	Connaissance de la nature du produit (type, principales propriétés)	1
Application <i>in situ</i>	Zones d'essais	Comportement <i>in situ</i> , contrôle de la prise en milieu fermé, de la qualité du remplissage et de la facilité de l'injection	1
Retrait	Valeur de retrait linéaire	Un fort retrait du produit au cours du séchage et de la prise diminue considérablement l'adhérence	2

TABLEAU 8 : COULIS D'INJECTION

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	Priorité
Dosage des sels solubles	Teneurs en sels solubles du coulis après prise ¹	Éviter d'utiliser des matériaux susceptibles d'apporter des sels solubles	1
*	Valeur de viscosité	Indication sur la facilité d'injecter le produit	2
*	Essai d'injectabilité	Indication sur la facilité d'injecter le produit	2
Résistance à l'arrachement	Évaluation de l'adhérence et examen du type de rupture ¹	La rupture doit se produire dans le coulis mais ni à l'interface coulis/enduit (adhérence trop faible), ni dans l'enduit (adhérence trop forte, dommageable pour l'enduit)	1
Porosité totale	Capacité de stockage des fluides	Obtenir une capacité proche de celle de l'enduit	2
Imbibition capillaire ou perméabilité à l'air	Capacité de transfert de l'eau et de l'air	Obtenir une capacité proche de celle de l'enduit	1

* Données fournies par le fabricant dans la fiche technique ou dans tout autre document officiel s'il s'agit d'un produit ou d'un mélange de produits prêts à l'emploi, ou par le restaurateur

¹ **Attention !** les résultats des dosages peuvent être différents avant et après la prise du mortier.

19.4.4 - ANALYSE DU RÉSULTAT OBTENU

19.4.4.1 - CONSOLIDATION

TABLEAU 9 : VÉRIFICATION DE LA CONSOLIDATION SUR L'ENDUIT ANCIEN CONSOLIDÉ

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	PRIORITÉ
Mesure de la dureté superficielle ou de la résistance à l'abrasion ou de la résistance au percement	Valeur de dureté superficielle ou de résistance superficielle après consolidation	À comparer avec les valeurs obtenues avant consolidation	1
Colorimétrie	Code de couleur (coordonnées L*a*b* ou autre système)	À comparer avec les valeurs obtenues avant consolidation	1
Sondage	Profondeur d'imprégnation (et	Vérifier que la consolidation a été	1

TABLEAU 9 : VÉRIFICATION DE LA CONSOLIDATION SUR L'ENDUIT ANCIEN CONSOLIDÉ

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	PRIORITÉ
	consommation)	réalisée de façon homogène qualitativement et quantitativement	
Porosité totale ou porosimétrie	Capacité de stockage des fluides	Vérifier que la consolidation n'entraîne pas une variation trop importante par rapport à la capacité de stockage mesurée avant consolidation	1
Imbibition capillaire ou perméabilité à l'air ou à la vapeur d'eau ou absorption à la pipette de Karsten	Capacité de transfert des fluides : eau, air ou vapeur d'eau	Vérifier que la consolidation n'entraîne pas une variation trop importante par rapport à la capacité de transfert mesurée avant consolidation	

19.4.4.2 - RÉFECTION**TABLEAU 10 : DONNÉES À CONNAÎTRE SUR LE NOUVEL ENDUIT DANS LE CAS D'UNE RÉFECTION PARCELLAIRE**

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	PRIORITÉ
Examen pétrographique en section polie ou lame mince	Texture, nature des liants et des granulats, taille des granulats	À comparer avec la texture et les compositions chimiques et minéralogiques de l'enduit ancien	1
Diffraction des rayons X	Composition minéralogique	//	2
Analyse chimique	Composition chimique, détermination de l'hydraulicité ou de la pouzzolanité, dosage liant/granulat	//	2
ATD / ATG	Courbe de déshydratation et de perte pondérale en fonction de la température	Identification et dosage des phases hydrauliques	3
Dosage des sels solubles	Teneurs en sels solubles de l'enduit après prise 1	Éviter d'utiliser des matériaux susceptibles d'apporter des sels solubles	1
Application <i>in situ</i> , examen à l'œil	Zones d'essais, texture, aspect de surface	Comportement <i>in situ</i> . Vérifier que l'enduit de restauration	1

TABLEAU 10 : DONNÉES À CONNAÎTRE SUR LE NOUVEL ENDUIT DANS LE CAS D'UNE RÉFECTION PARCELLAIRE

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	PRIORITÉ
		présente une texture proche de l'enduit ancien	
Porosité totale ou porosimétrie	Capacité de stockage des fluides	Obtenir une capacité proche de celle de l'enduit ancien	2
Imbibition capillaire ou absorption à la pipette de Karsten	Capacité de transfert de l'eau	Obtenir une capacité proche de celle de l'enduit ancien	1
Perméabilité à la vapeur d'eau ou perméabilité à l'air	Capacité de transfert de la vapeur d'eau et de l'air	Obtenir une capacité proche de celle de l'enduit	1
Dureté ou résistance à l'abrasion ou résistance au percement	Valeur de dureté superficielle	Vérifier la dureté de l'enduit de restauration	2
Colorimétrie	Code de couleur (coordonnées L*a*b* ou autre système)	Vérifier que l'enduit de restauration présente une teinte proche de celle de l'enduit ancien	2
Retrait après 24 heures	Valeur de retrait linéaire	Un fort retrait du produit au cours du séchage et de la prise provoque du faïençage et donc un vieillissement rapide de l'enduit	2
Essai d'arrachement	Adhérence et nature de la rupture	La rupture doit se produire dans l'enduit mais ni à l'interface pierre/enduit (adhérence trop faible), ni dans la pierre (adhérence trop forte, dommageable pour l'enduit)	1
Vieillissement accéléré	Examen de l'état des éprouvettes vieilles	Tenue au vieillissement dans un milieu particulièrement agressif	2

TABLEAU 11 : DONNÉES À CONNAÎTRE SUR LE NOUVEL ENDUIT DANS LE CAS D'UNE RÉFECTION TOTALE

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	PRIORITÉ
Examen pétrographique en section polie ou en lame mince	Texture, nature des liants et des granulats, taille des granulats	Déterminer la texture et les compositions chimiques et minéralogiques de l'enduit	1
Diffraction des rayons X	Composition minéralogique	//	2

TABLEAU 11 : DONNÉES À CONNAÎTRE SUR LE NOUVEL ENDUIT DANS LE CAS D'UNE RÉFECTION TOTALE

ESSAI	RÉSULTAT	INTÉRÊT / APPORT	PRIORITÉ
Analyse chimique	Composition chimique, détermination de l'hydraulicité ou de la pouzzolanité, dosage liant/granulat	//	2
ATD / ATG	Courbe de déshydratation et de perte pondérale en fonction de la température	Identification et dosage des phases hydrauliques	3
Dosage des sels solubles	Teneurs en sels solubles de l'enduit après prise ¹	Éviter d'utiliser des matériaux susceptibles d'apporter des sels solubles	1
Application <i>in situ</i>	Zones d'essais	Comportement <i>in situ</i>	1
Porosité totale ou porosimétrie	Capacité de stockage des fluides	Obtenir une capacité proche de celle de la pierre	2
Imbibition capillaire ou absorption à la pipette de Karsten	Capacité de transfert de l'eau	Obtenir une capacité proche de celle de la pierre	1
Perméabilité à la vapeur d'eau ou perméabilité à l'air	Capacité de transfert de la vapeur d'eau et de l'air	Obtenir une capacité proche de celle de la pierre	1
Dureté ou résistance à l'abrasion ou résistance au percement	Valeur de dureté superficielle	Vérifier la dureté de l'enduit de restauration	2
Colorimétrie	Code de couleur (coordonnées L*a*b ou autre système)	Contrôler la teinte de l'enduit	2
Retrait après 24 heures	Mesure du retrait linéaire	Le retrait doit être limité pour éviter les risques de fissuration pendant la prise et le séchage	2
Essai d'arrachement	Adhérence	La rupture doit se produire dans l'enduit mais ni à l'interface pierre/enduit (adhérence trop faible), ni dans la pierre (adhérence trop forte, dommageable pour la pierre)	1
Vieillissement accéléré	Examen de l'état des éprouvettes vieilles	Tenue du vieillissement dans un milieu particulièrement agressif	2

¹ **Attention !** les résultats des dosages peuvent être différents avant et après la prise du mortier.

LIVRE II - CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES

NOTE LIMINAIRE

Lorsque dans le présent CCTP - type figure la formule « à l'identique », elle implique le respect des contraintes archéologiques et architecturales liées à l'histoire du bâtiment concerné ainsi qu'une identité d'aspect avec les parties conservées, mais elle ne préjuge pas d'un usage strict des matériaux initiaux comme des techniques de mise en œuvre.

Le présent CCTP - type, comme les autres pièces de marché qui le complètent, doit en conséquence définir pour chaque ouvrage (ou élément d'ouvrage) toutes les données à imposer pour sa réalisation, soit en fonction des normes qui sont rappelées, soit en y dérogeant.

Pour un certain nombre de ces ouvrages, il est fait mention de « surfaces de références » à localiser sur le bâti existant pour permettre à l'entreprise de connaître très précisément « le résultat » qui lui sera imposé et répondre ainsi à la notion d'identique évoquée ci-avant.

Les prescriptions pour l'établissement du marché sont inscrites en noir, les recommandations en noir italique et les commentaires de l'administration en noir italique sur fond grisé.

CHAPITRE 1 - CLAUSES COMMUNES PROPRES AU CHANTIER

Ce chapitre est à adapter dans le cas où l'opération ne comprendrait qu'un seul lot.

1.1 - OBJET DU CHANTIER

Préciser l'objet de la restauration intéressant tous les corps d'état.

1.2 - INSTALLATIONS COMMUNES DE CHANTIER

- description des installations
- lot chargé de la prestation

Ce chapitre est à adapter dans le cas où l'opération ne comprendrait qu'un seul lot. Préciser l'objet de la restauration intéressant tous les corps d'état.

Note générale

Les installations de chantier doivent être étudiées en détail avec beaucoup de précision. Elles dépendent :

- de l'importance de l'opération
- de la situation du chantier dans l'environnement (urbain, rural, visibilité par le public, co-visibilité, etc.)
- de l'accessibilité, des embarras de l'édifice pendant les travaux, etc.

Prescriptions à faire figurer dans l'article

Dans cet article, le maître d'œuvre renvoie au plan d'installation de chantier s'il existe, définit la nature de ces installations et indique les entreprises à qui incombent les prestations et les responsabilités, de sorte que chaque entreprise puisse estimer, sans équivoque, les prestations ayant une incidence directe ou indirecte sur ses prix.

À ce titre, sans que cette liste soit limitative, sont à préciser les prestations suivantes :

- À qui incombe ;
 - l'établissement du plan d'organisation du chantier,
 - l'emprise du chantier,
 - les emprises tolérées d'implantation des installations communes,
 - les conditions de raccordements des fluides (eau, électricité, téléphone, assainissement)
 - l'équipement commun de chantier (bureaux de chantier, réfectoire, locaux d'hygiène et leur équipement, entretien),
 - les dispositifs pour l'évacuation provisoire des eaux pluviales,
 - la remise en état des locaux et des extérieurs en fin de travaux,
- À qui **incombent** ;
 - les frais de voirie et de police,
 - les conditions de gardiennage du chantier,
 - les conditions d'enlèvement des gravats (emplacement des goulottes, des stockages, etc.),

- les dispositions relatives aux clôtures extérieures et intérieures (constitution, hauteur, aspect, dispositifs d'accès, durée de location, éclairage, entretien, etc.),
- les dispositifs d'accès des matériaux et des ouvriers tels qu'ascenseurs, monte-matériaux, sapines (emplacement, charges, exploitation, entretien, etc.),
- les échafaudages y compris ceux assurant la desserte du chantier (emplacement, finalité, charges supportées, emplacement des planchers de travail, durées d'immobilisation, déplacements découlant du phasage du chantier, dispositifs disposés sur les échafaudages destinés à assurer la sécurité des personnes et des biens, éclairage, entretien, etc.),
- les protections lourdes destinées à assurer la sécurité des personnes et des biens (emplacements, fonction, charges supportées, durée d'immobilisation, déplacements découlant du phasage du chantier, éclairage, entretien, etc.) telles que ;
- les planchers de garantie, avec ou sans ossature, pour protection d'ouvrages dans le cas de travaux à l'aplomb ou en surplomb,
- les auvents de protection sur échafaudages (pare-éclats),
- les cloisons de garantie au droit des verrières destinées ;
- à assurer la protection de l'ouvrier et celle des verrières elles-mêmes,
- à interdire l'effraction.
- les tunnels de sécurité au droit des passages publics, constitués de parois et plafond ou d'un plafond seulement,
- les passages provisoires du public pendant la durée des travaux,
- le panneau de chantier,
- etc...

1.3 - SUJÉTIONS LIÉES À L'EXPLOITATION DE L'ÉDIFICE

Le maître d'œuvre précise à cet article les sujétions liées à l'exploitation de l'édifice, telles que :

- les horaires de travail imposés,
- les interruptions liées à l'exploitation,
- les parcours imposés pour l'approvisionnement du chantier,
- etc.

CHAPITRE 2 - CLAUSES GÉNÉRALES PROPRES AU PRÉSENT LOT

2.1 - OBJET DES TRAVAUX DU PRÉSENT LOT

Préciser l'étendue des travaux propres au lot.

Rappeler l'objet des travaux :

Restauration de bâtiment (reprise en sous-œuvre, drain, réfections de sol, restitution d'anciens niveaux, reconstitution de remblais, de banquettes).

Aménagement d'abords (modification de niveaux existants, ...).

Recherches archéologiques (sondages, fouilles, ...).

2.2 - DOCUMENTS TECHNIQUES CONTRACTUELS

Ceux énumérés au chapitre 3 du Fascicule Technique.

2.3 - ÉCHAFAUDAGES

Dans cet article, le maître d'œuvre détaille les échafaudages mis à la charge du présent lot et qui ne relèvent pas des "Installations communes de chantier" du Chapitre 1, pour tous les travaux commencés ou poursuivis à plus de 4,00 m de hauteur à compter du sol ou du plancher de la construction sur lequel repose l'échafaudage.

Il précise les conditions d'installation ayant incidence directe ou indirecte sur le prix de l'entreprise dans les mêmes conditions qu'à l'article « Installations communes de chantier », et notamment :

- échafaudage simple ou double (intérieur et extérieur) Cf. Fascicule Technique ;
- déplacement de l'échafaudage ;
- distance minimale et maximale entre l'échafaudage et la maçonnerie ;
- hauteur de l'échafaudage et du dernier plancher ;
- location ;
- protections ;
- etc.

2.4 - SUJÉTIONS PARTICULIÈRES D'EXÉCUTION DES OUVRAGES

Dans cet article, le maître d'œuvre indique les sujétions particulières d'exécution des travaux (ou de certains travaux) telles que :

- difficultés d'accès

- *nature du sol*
- *présence de réseaux*
- *proximité de constructions*
- *risques archéologiques*
- *nappes phréatiques, sources*
- *exécution dans l'embaras des étais*
- *exécution en sous œuvre*
- *exécution en locaux encombrés*
- *etc.*

2.5 - PROTECTION DES EXISTANTS

L'entrepreneur doit prévoir toutes les dispositions nécessaires pour assurer la protection des ouvrages existants et notamment des éléments anciens :

- *sols, élévation, surplomb, voûte, arc, etc.*
- *épiderme, parement, moulures, sculpture et peintures*

Les dispositions proposées doivent être soumises au maître d'œuvre.

Les protections lourdes sont détaillées au titre des installations communes de chantier.

Le maître d'œuvre détaille, au présent article, les dispositifs de protections particuliers que la nature des travaux et/ou l'état des existants peuvent nécessiter (protection mécanique contre les chocs et chutes d'outils, contre les écrasements de moulures, poinçonnements, platelage, couchis, etc.) si les prescriptions ci-contre lui semblent insuffisantes.

2.6 - DOSSIER DES OUVRAGES EXÉCUTÉS

L'entreprise doit remettre au maître d'œuvre en fin de travaux un dossier des ouvrages exécutés.

Le maître d'œuvre précise le contenu exact du dossier, en fonction de la nature des ouvrages (complexité des travaux, qualité de l'édifice ou partie d'édifice traitée, etc.) :

- *dossier n°xxx* *Cf. Fascicule Technique et CCTP*

L'entreprise doit fournir tous les attachements figurés détaillés correspondants aux travaux exécutés.

Le maître d'œuvre apporte toutes précisions ou exigences complémentaires sur le contenu du dossier.

CHAPITRE 3 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES DE TERRASSEMENT

3.1 - TERRASSEMENT

Règles de construction - Normes - DTU

Sans objet.

Dispositions particulières relatives aux fouilles archéologiques

L'intervention des services régionaux de l'archéologie poursuit deux objectifs :

- Fournir les éléments destinés à nourrir la réflexion des architectes en chef des monuments historiques dans le cadre des études architecturales qui leur sont confiées ;*
- Fixer les contraintes liées à la prise en compte de l'intérêt archéologique présenté par chaque monument. Ces contraintes sont de deux ordres : l'étude archéologique conclut soit à la nécessité de conserver les vestiges in situ, ce qui implique pour le maître d'œuvre de les intégrer à son projet, soit à la levée de toute hypothèque après réalisation d'une fouille exhaustive.*

Si les travaux intéressent le sous-sol du monument ou ses abords, il conviendra de procéder à une évaluation du potentiel archéologique. La réalisation nécessitera l'autorisation du conservateur régional des monuments historiques au titre de la loi du 27 septembre 1941 portant réglementation des fouilles archéologiques.

Les conclusions de cette évaluation devront clairement fixer les conditions de prise en compte de ces vestiges, faire apparaître les données qu'il conviendrait de conserver ainsi que la nécessité éventuelle de réaliser une fouille préalable aux travaux en donnant une estimation financière, les délais et les conditions de mise en œuvre.

S'il s'agit de travaux n'ayant aucun impact sur le sous-sol, le service régional de l'archéologie devra clairement expliciter la nature et la motivation des études archéologiques complémentaires qui devraient être mises en œuvre ainsi que les données qu'elles sont susceptibles de livrer.

Il convient néanmoins de noter que pour assurer la qualité de la proposition du service régional de l'archéologie, il est absolument indispensable que celui-ci dispose d'un dossier qui doit comprendre une copie de la commande de l'état au maître d'œuvre, un descriptif des travaux envisagés, un descriptif des études que le maître d'œuvre souhaite obtenir lors de cette évaluation archéologique. À ces documents devra être joint un plan figurant l'implantation des travaux affectant le sous-sol et les sondages à réaliser.

Recherche archéologique dans le cadre d'une étude préalable

Un diagnostic est généralement établi pour évaluer entre autres les conditions de réalisation des fouilles archéologiques.

À la fin du diagnostic, il sera remis au maître d'ouvrage et au maître d'œuvre un exemplaire du rapport scientifique et, s'il y a lieu, un devis concernant une fouille archéologique.

Dans le cadre de la procédure, il revient au conservateur régional des monuments historiques, en liaison avec le service régional de l'archéologie, de s'assurer ensuite que les observations de ce dernier ont bien été intégrées par le maître d'œuvre dans le projet architectural et technique.

Dès que l'échéancier des travaux sera connu, la conservation régionale des monuments historiques en informe le service régional de l'archéologie afin que celui-ci puisse prendre toute disposition utile quant à la réalisation des recherches archéologiques prévues dans le projet architectural et technique.

Lors de la réalisation des travaux, le service régional de l'archéologie est informé de leur déroulement par transmission des procès-verbaux au conservateur régional par l'architecte en chef des monuments historiques et participe en tant que de besoin aux réunions de chantier.

Il convient de noter que l'ensemble des interventions archéologiques mentionnées ci-dessus (évaluation du potentiel archéologique, fouille préalable aux travaux) est imputable au budget de l'opération.

Autorisations administratives

Le service des mines devra éventuellement être informé des travaux afin d'obtenir en retour les informations relatives aux éventuelles carrières, sources, nappes phréatiques, ...

3.2 - ÉTAIEMENTS - ÉTRÉSILLONNEMENTS - BLINDAGES

Dispositions générales

L'entrepreneur sera tenu de signaler à l'avance les parties de fouilles qui devront être étrésillonnées ou blindées pour éviter les éboulements, à défaut, il sera passible de tous frais et dommages qui en résulteraient.

Dispositions particulières

Localisation

3.3 - MESURES DE SAUVEGARDE

Dispositions générales

En cas d'urgence, l'entrepreneur de terrassement aura l'obligation de prendre les mesures de sauvegarde nécessaires.

Cette obligation n'entraînera jamais aucun supplément sauf s'il s'agit de travaux supplémentaires commandés par le maître d'ouvrage.

Les étalements et autres ouvrages devront toujours faire l'objet d'attachements et de constats photographiques.

Dispositions particulières

Localisation

3.4 - OBJETS TROUVÉS DANS LES FOUILLES

Dispositions générales

L'entrepreneur devra signaler immédiatement au maître d'œuvre les parties de fouilles où la présence d'objets ou de matériaux ayant un caractère archéologique ou artistique aura été constatée, ou paraîtra probable.

Dispositions particulières

Localisation

3.5 - DÉMOLITIONS D'OUVRAGES DANS LES FOUILLES

Dispositions générales

Pour les maçonneries à démolir qui pourraient être trouvées dans les fouilles, on appliquera les prix de démolitions prévus par les bordereaux concernant les travaux de maçonnerie, exception faite des démolitions en grande partie qui feront l'objet de stipulations spéciales du maître d'œuvre.

Les matériaux seront transportés aux emplacements désignés par le maître d'œuvre. Les volumes de ces maçonneries seront déduits du cube des terres de la fouille.

L'emploi d'explosifs est strictement interdit.

Dispositions particulières**Localisation****3.6 - FOUILLES PAR ENGINS MÉCANIQUES****Dispositions générales**

L'entrepreneur sera tenu pour responsable des conséquences des conditions d'emploi et des résultats obtenus par l'utilisation d'engins mécaniques de son choix. Il devra obtenir l'accord du maître d'œuvre sur le principe de l'utilisation des engins mécaniques ainsi que sur les modalités d'exécution.

L'archéologue responsable d'opération surveillera les travaux de recherche archéologique, qui seront exécutés éventuellement à l'aide d'une petite pelle mécanique mise à sa disposition par l'entreprise.

Dispositions particulières**Localisation****3.7 - FOUILLES DE PUITS**

Les fouilles de puits pourront faire l'objet de prescriptions spéciales à décrire.

Dispositions générales**Dispositions particulières****Localisation****3.8 - FOUILLES À POTENTIEL ARCHÉOLOGIQUE**

Afin de permettre le déroulement de l'opération d'aménagement du terrain, il devra être stipulé que le terrain sera accessible à l'équipe archéologique dès le jour convenu pour le démarrage des fouilles et qu'il sera libéré à l'issue de la période de fouilles qui sera fixée à la convention passée entre le maître de l'ouvrage et l'organisme chargé de la fouille.

Au fur et à mesure des interventions archéologiques, un contrôle des fondations pourra être prescrit.

Dispositions générales

Les fouilles seront faites avec toutes les précautions nécessaires pour la recherche et la récupération d'objets anciens ou la reconnaissance et la mise à jour des vestiges de constructions anciennes.

Elles seront conduites de telle manière que la récupération des objets trouvés dans les fouilles sera toujours faite sous la surveillance constante d'un représentant de l'entreprise, ou d'un ouvrier qualifié désigné en accord avec le maître d'œuvre et le conservateur régional de l'archéologie ou son représentant.

Chaque objet doit être récupéré au fur et à mesure et le contrôle fait à chaque coup de pioche, en suivant scrupuleusement les indications données par le titulaire de l'autorisation de fouille.

Un deuxième contrôle doit également être fait au fur et à mesure du chargement des camions.

Les prix du bordereau ne comprennent pas implicitement le criblage des déblais si cela est nécessaire.

Dispositions particulières**Localisation**

3.9 - INCIDENCES DES FOUILLES ARCHÉOLOGIQUES

Dispositions générales

Les objets récupérés seront rangés soigneusement et mis en dépôt aux endroits désignés par le maître d'œuvre à qui il appartient de prendre l'attache du conservateur régional de l'archéologie.

Les fouilles archéologiques proprement dites font l'objet de conventions spéciales hors marché.

Dans tous les cas de fouilles archéologiques, les « temps morts » occasionnés par les études spéciales des terrains ou les découvertes de vestiges ne seront payés que sur attachements écrits et contrôlés par le maître d'œuvre lorsqu'ils dépasseront les modalités ci-après :

Préciser :

En fonction de l'importance des moyens mis en œuvre ;

- une indemnité d'immobilisation,*
- une perte d'industrie,*

Les arrêts cumulés ne pourront excéder (à titre indicatif) ;

- 1 h par jour,*
- 3 h par jour,*
- 1 jour par mois, etc. ...*

Un ordre de service signé par le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage devra justifier les fouilles archéologiques.

Dispositions particulières

Localisation

3.10 - ATTACHEMENTS FIGURÉS ET RELEVÉS

Dispositions générales

Tous les travaux de terrassements feront l'objet d'attachements graphiques précis donnant les profils et les niveaux des fouilles.

L'entrepreneur sera tenu de faire établir par un géomètre un relevé suivant un carroyage (quadrillage) comportant les cotes de niveau avant et après l'exécution des travaux.

Pour les opérations importantes, suivant stipulations du marché.

Dispositions particulières

Localisation

3.11 - RETROUSSAGE DE SOL EXISTANT

Dans les articles suivants préciser à chaque fois :

- *AVEC contraintes archéologiques ;*
- *SANS contrainte archéologique ;*
- *le résultat à atteindre (profil à obtenir, nature du revêtement en finition, nature des terrains rencontrés) ;*
- *le moyen ;*
 - manuel,*
 - mécanique (le type d'engin ; les limites d'emploi),*

- l'utilisation d'explosifs,
- la façon de faire : (par partie, en grande dimension, sous surveillance archéologique, présence du public) ;
- les précautions d'exécution (tenue des ouvrages pendant les travaux, assistance aux équipes d'archéologues).

Dispositions générales**Dispositions particulières****Localisation****3.12 - FOUILLES EN RIGOLES****Dispositions générales****Dispositions particulières****Localisation****3.13 - FOUILLES EN TRANCHÉES****Dispositions générales****Dispositions particulières****Localisation****3.14 - PUIITS****Dispositions générales****Dispositions particulières****Localisation****3.15 - EXCAVATIONS SUPERFICIELLES****Dispositions générales****Dispositions particulières****Localisation****3.16 - VIDAGES ENTRE MAÇONNERIES****Dispositions générales****Dispositions particulières****Localisation**

3.17 - REMBLAIS

Les remblais seront exécutés avec le matériau des fouilles afin d'éviter entre autre les phénomènes de drain.

Dispositions générales

Dispositions particulières

Localisation

3.18 - ÉBOULIS

Dispositions générales

Dispositions particulières

Localisation

3.19 - FOUILLES EN PRÉSENCE D'EAU

Préciser les moyens mis en œuvre pour réduire ou supprimer la présence d'eau dans les fouilles, à titre indicatif :

- batardeau ;
- aiguilles drainantes ;
- rabattement de nappe ;
- palplanches.

Dispositions générales

Dispositions particulières

Localisation

3.20 - POMPAGE - ÉPUISEMENTS

Dispositions générales

Dispositions particulières

Localisation

3.21 - ÉVACUATION DES EAUX

Dispositions générales

Dispositions particulières

Localisation

3.22 - ÉVACUATION DES VASES

Dispositions générales

Dispositions particulières

Localisation

3.23 - ÉVACUATION DES DÉBLAIS

Préciser :

- *Tri des matériaux*
- *Récupération d'ouvrages tels que ...*

Dispositions générales

Compris manutentions, enlèvements et droits de décharge éventuels.

Dispositions particulières

Localisation

3.24 - REMISE EN ÉTAT DES TERRAINS

Dispositions générales

Dispositions particulières

Localisation

CHAPITRE 4 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES DE DÉMOLITIONS ET DÉPOSES

4.1 - DÉMOLITIONS

Règles de construction - Normes - DTU

Sans objet.

L'entrepreneur doit prendre toutes les précautions préalables pour assurer la parfaite conservation de l'édifice : stabilité, éléments de décors, équipements divers. Sauf cas particuliers, les démolitions doivent être réalisées avec soin.

Au fur et à mesure des travaux de démolition et en fonction de l'ouvrage à démolir, toutes précautions doivent être prises, tant en matière d'étalement et de stabilité que de protection contre l'eau et les intempéries.

4.2 - DÉMOLITION DE MAÇONNERIE

À l'exclusion des déposes de calcaire, grès et granit faisant l'objet d'un CCTP particulier.

Pour faciliter l'établissement du quantitatif, il est souhaitable de rappeler à chaque article les sujétions particulières d'exécution du chapitre 2 du présent CCTP.

Dans les sujétions particulières d'exécution, peut également figurer l'indication des matériaux qui doivent être récupérés.

Dans le cas de démolition d'ouvrages dans lesquels la présence d'éléments anciens ou intéressants est probable, le maître d'œuvre en fait mention dans les sujétions particulières des articles concernés et retient éventuellement l'article "Enlèvement des gravois avec tri préalable" pour les dits ouvrages.

Les étalements nécessaires ou consécutifs aux démolitions et imposant des calculs doivent faire l'objet d'un article spécial, soit au présent lot, soit au lot Charpente.

C'est le cas notamment des étais destinés à assurer la stabilité des murs contigus aux démolitions, des chevalements dans gros murs, etc. et d'une manière générale toutes les fois que la valeur de l'étalement est telle qu'elle ne puisse raisonnablement pas être intégrée dans le prix de démolition.

Il convient donc de préciser dans les dispositions particulières de chaque démolition, si la valeur des étalements est incluse ou non dans le prix de démolition de manière à permettre à l'entreprise d'établir son prix.

Dans le cas où les étalements font l'objet de prix spécifiques, il convient, soit d'établir un prix forfaitaire si la prestation peut être précisément définie, soit de rédiger l'article en s'inspirant du chapitre "Ouvrages en bois loué" du chapitre charpente.

Dispositions générales relatives à tous les types de démolitions

Démolitions des maçonneries limitées aux parties strictement nécessaires afin de conserver le maximum de maçonneries anciennes, comprenant :

- toutes les tranchées nécessaires aux démolitions ;
- le coupement des rives d'enduit dans le cas de maçonnerie enduite ;
- les démolitions pour harpage dans les conditions fixées aux dispositions particulières ;
- la dépose sans conservation des ouvrages divers intégrés dans les maçonneries démolies ;
- les protections destinées à préserver les parties conservées contiguës aux démolitions ;

- les cales, étrésillons, petits étais ponctuels à caractère provisoire, à l'exclusion des étais nécessitant des calculs ;
- les gobetages, calages liés à la démolition, à l'exclusion des reprises de maçonneries, rocaillage ou autres ;
- les manutentions des gravois en attente d'enlèvement ou en attente de récupération avec protection d'usage, selon les Dispositions particulières propres à chaque ouvrage.

4.3 - DÉMOLITION D'OUVRAGES IMPORTANTS

Dispositions particulières

Regrouper dans cet article, les démolitions de murs entiers ou par grandes parties et les démolitions complètes d'ouvrages par sape, abattage, renversement.

Maintien ou coupe de harpes, etc.

Préciser en outre quels matériaux sont prévus récupérés et les étalements (cf. recommandations des Dispositions générales).

Moyens autorisés pour la démolition :

Sujétions au droit des parties conservées :

Sujétions particulières d'exécution :

Localisation

Nomenclature des ouvrages à démolir suivie de leurs dimensions.

4.4 - DÉMOLITION POUR DÉRASEMENT

Démolition de maçonnerie pour enlever la partie haute d'un mur, pour reprise ultérieure ou non.

Dispositions particulières

Nature des maçonneries à démolir :

Nature du hourdis :

Outils :

Indiquer les outils prohibés et ceux autorisés en précisant, par exemple, que d'autres outils doivent faire l'objet d'un accord du maître d'œuvre.

Traitement du mur dérasé (reprise pour valeur) :

Rocaillage, etc.

Sujétions au droit des parties conservées :

Maintien ou coupe de harpe en extrémité, etc.

Sujétions particulières d'exécution :

Telles qu'étalements (cf. recommandations des Dispositions générales)

Localisation

Nomenclature des ouvrages à démolir suivie de leurs dimensions.

4.5 - DÉMOLITION POUR REPRISE DE MAÇONNERIE

Démolition de maçonnerie pour en permettre la reprise compris toutes précautions au droit des parties conservées et façon de harpage de liaison pour les reprises.

Dispositions particulières

Nature des maçonneries à démolir :

Nature du hourdis :

Outils :

Indiquer les outils prohibés et ceux autorisés en précisant, par exemple, que d'autres outils doivent faire l'objet d'un accord du maître d'œuvre.

Sujétions au droit des parties conservées :

Telles que harpages

Sujétions particulières d'exécution :

Telles qu'étaisements (cf. recommandations des Dispositions générales).

Localisation

Nomenclature des ouvrages à démolir suivie de leurs dimensions.

4.6 - DÉMOLITION POUR DÉBOUCHEMENT DE BAIES**Dispositions particulières**

Nature des maçonneries à démolir :

Nature du hourdis :

Outils :

Indiquer les outils prohibés et ceux autorisés en précisant, par exemple, que d'autres outils doivent faire l'objet d'un accord du maître d'œuvre.

Sujétions au droit des parties conservées :

Telles que harpages.

Sujétions particulières d'exécution :

Telles qu'étaisements (cf. recommandations des Dispositions générales.)

Localisation

Nomenclature des ouvrages à démolir suivie de leurs dimensions.

4.7 - DÉMOLITION POUR PERCEMENTS

Démolition de maçonnerie pour percement (à l'exclusion de débouchements de baies et des démolitions pour tranchées faisant l'objet d'articles spécifiques) compris toutes précautions pour limiter la démolition et façon de harpage de liaison pour les reprises.

Dispositions particulières

Nature des maçonneries à démolir :

Nature du hourdis :

Outils :

Indiquer les outils prohibés et ceux autorisés en précisant, par exemple, que d'autres outils doivent faire l'objet d'un accord du maître d'œuvre.

Sujétions au droit des parties conservées :

Telles que harpages, reprise de tableaux.

Sujétions particulières d'exécution :

Telles qu'étaient (cf. recommandations des Dispositions générales).

Localisation

Nomenclature des ouvrages à démolir suivie de leurs dimensions.

4.8 - DÉMOLITION POUR TRANCHÉES ET ENTAILLES

Dans cet article, le maître d'œuvre détaille et regroupe les démolitions pour tranchées, entailles, descellerments, dont les dimensions à l'équerre (largeur + profondeur) sont supérieures à 0,60 ml.

Dispositions particulières

Nature des maçonneries à démolir :

Nature du hourdis :

Outils :

Indiquer les outils prohibés et ceux autorisés en précisant, par exemple, que d'autres outils doivent faire l'objet d'un accord du maître d'œuvre.

Sujétions au droit des parties conservées :

Sujétions particulières d'exécution :

Les tranchées nécessaires à l'incorporation d'éléments bois ou métalliques dans les maçonneries sont incluses dans les descriptions spécifiques de ces ouvrages et ne sont pas à reprendre au titre de cet article.

Localisation

Suivi des dimensions.

4.9 - RECOUPEMENT OU ABATTAGE DE SAILLIE

Dispositions générales

Recoupe ou abattage des saillies en conservation de la queue des maçonneries ¹ comprenant :

- les façons exécutées selon les Dispositions particulières ci-dessous
- tous ouvrages nécessaires pour bloquer les maçonneries avant recoupe tels que calages, rejointoiements, etc. compte tenu de l'état des existants
- les manutentions des gravois en attente d'enlèvement

Dispositions particulières

Nature et caractéristiques des maçonneries dans lesquelles s'exécutent les façons :

Outils :

Indiquer les outils prohibés et ceux autorisés en précisant, par exemple, que d'autres outils doivent faire l'objet d'un accord du maître d'œuvre.

Épaisseur des recoupements et abattages :

Aspect du nouveau parement s'il reste vu :

Localisation

¹ si celles-ci sont en moellons.

4.10 - FOURNITURE ET MISE EN PLACE D'ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES ENCASTRÉS DANS LES MAÇONNERIES EXISTANTES ET DESTINÉS À RESTER APPARENTS

Article à adapter si les éléments métalliques sont fournis par un autre corps d'état.

Règles de construction - Normes - DTU

Sans objet.

Une simplification dans la réalisation des armatures traversantes (linteaux notamment) peut consister à opérer par partie alterne/interne évitant d'importantes sujétions d'étaie.

Dispositions générales

Fourniture et mise en place d'éléments métalliques comprenant :

- les tranchées d'encastrement nécessaires à l'incorporation dans les maçonneries existantes, y compris toutes les précautions pour éviter d'endommager les maçonneries existantes ;
- toutes les manutentions de matériaux fournis jusqu'aux lieux d'emploi ;
- la fourniture, la mise en place et le calage des éléments métalliques pour mise en charge sans désordre ;
- la fourniture et la pose des éléments de liaison ou fixation y compris toutes les façons en découlant ;
- la protection des éléments métalliques prescrits dans les Dispositions particulières ;
- les hourdis de linteaux ou remplissage entre éléments métalliques y compris boisage et calage sous les existants.

(éventuellement)

- toutes les sujétions pour difficultés de mise en œuvre et de liaison ;
- les manutentions des gravois en attente d'enlèvement.

Dispositions particulières

Préciser :

- *la nature des éléments métalliques (fonction, constitution, profil, force) ;*
- *la nature et l'épaisseur des maçonneries dans lesquelles s'exécutent les façons, les outils, les modalités d'exécution ;*
- *la nature des éléments de liaison (boulons ou autres) ;*
- *la nature des hourdis de linteaux et des remplissages ;*
- *le traitement antirouille et de finition ;*
- *les sujétions particulières d'exécution telles qu'étaisements (cf. recommandations des Dispositions générales des démolitions).*

Localisation

4.11 - FOURNITURE ET MISE EN PLACE D'ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES ENCASTRÉS DANS LES MAÇONNERIES EXISTANTES ET DESTINÉS À ÊTRE RECOUVERTS

Article à adapter si les éléments métalliques sont fournis par un autre corps d'état.

Les reprises d'enduit, de maçonnerie ou de pierre de taille sont reprises à part pour leur valeur dans les articles spécifiques du présent CCTP ou du CCTP "Ouvrages en pierre de taille".

Dispositions générales

Fourniture et mise en place d'éléments métalliques comprenant :

- les tranchées d'encastrement nécessaires à l'incorporation dans les maçonneries existantes, y compris toutes les précautions pour éviter d'endommager les maçonneries existantes ;
- toutes les manutentions de matériaux fournis jusqu'au lieu d'emploi ;
- la fourniture, la mise en place et le calage des éléments métalliques pour mise en charge sans désordre ;
- la fourniture et la pose des éléments de liaison ou fixation y compris toutes les façons en découlant ;
- la protection antirouille des éléments métalliques ;
- toutes les sujétions pour difficultés de mise en œuvre et de liaison.
- les armatures métalliques non corrodables prescrites dans les dispositions particulières si le recouvrement est constitué par un enduit.
- les manutentions des gravois en attente d'enlèvement.

Dispositions particulières

Préciser :

- la nature des éléments métalliques (fonction, constitution, profil, force) ;
- la nature et l'épaisseur des maçonneries dans lesquelles s'exécutent les façons, les outils autorisés, les modalités d'exécution ;
- la nature des éléments de liaison (boulons ou autres) ;
- la nature des hourdis de linteaux et des remplissages ;
- le traitement antirouille des éléments métalliques ;
- nature, force et protection de l'armature grillagée, support d'enduit ;
- les sujétions particulières d'exécution telles qu'étaisements (cf. recommandations des Dispositions générales des démolitions).

Localisation**4.12 - FOURNITURE ET MISE EN PLACE D'ÉLÉMENTS EN BOIS ENCASTRÉS DANS LES MAÇONNERIES EXISTANTES ET DESTINÉS À RESTER APPARENTS**

Article à adapter si les éléments en bois sont fournis par un autre corps d'état.

Dispositions générales

Fourniture et mise en place d'éléments en bois comprenant :

- les tranchées d'encastrement nécessaires à l'incorporation dans les maçonneries existantes, y compris toutes les précautions pour éviter d'endommager les maçonneries existantes ;
- toutes les manutentions de matériaux fournis jusqu'aux lieux d'emploi ;
- la fourniture, la mise en place et le calage des éléments métalliques pour mise en charge sans désordre ;
- la fourniture et la pose des éléments de liaison ou fixation y compris toutes les façons en découlant ;
- le traitement insecticide et fongicide des bois à l'autoclave au moyen d'un produit de préservation ayant fait l'objet d'essais du CTBA si les bois ne sont pas purgés d'aubier ;
- le traitement d'aspect du bois restant apparent conformément aux Dispositions particulières ;
- la protection antirouille des éléments métalliques ;

- les hourdis de linteaux et de remplissage entre éléments en bois, y compris boisage et calage sous les existants ;
- toutes les sujétions pour difficultés de mise en œuvre et de liaison ;
- les manutentions des gravois en attente d'enlèvement.

Dispositions particulières

Préciser :

- *la nature des éléments en bois (fonction, essence, section, classement technologique et d'aspect, préservation) ;*
- *la nature et l'épaisseur des maçonneries dans lesquelles s'exécutent les façons, les outils, les modalités d'exécution ;*
- *la nature des éléments de liaison (boulons ou autres) ;*
- *la nature des hourdis de linteaux et des remplissages ;*
- *le traitement d'aspect des bois restant apparents (traitement à l'outil manuel, patine, traitement de surfaces, etc.) ;*
- *le traitement antirouille et de finition des ouvrages métalliques d'accompagnement ;*
- *les sujétions particulières d'exécution telles qu'étaisements (cf. recommandations des Dispositions générales des démolitions).*

Localisation

4.13 - FOURNITURE ET MISE EN PLACE D'ÉLÉMENTS EN BOIS ENCASTRÉS DANS LES MAÇONNERIES EXISTANTES ET DESTINÉS À ÊTRE RECOUVERTS

Article à adapter si les éléments en bois sont fournis par un autre corps d'état.

Les reprises d'enduit, de maçonnerie ou de pierre de taille sont traitées à part pour leur valeur dans les articles spécifiques du présent CCTP ou du CCTP "Ouvrages en pierre de taille".

Règles de construction - Normes - DTU

Sans objet.

L'emploi du bois pour les éléments destinés à être recouverts est généralement déconseillé.

Néanmoins, lorsque cette disposition est retenue, on l'accompagne de nombreuses précautions :

- *prévention contre l'humidité par ouvrages isolants*
- *traitement insecticide et fongicide*
- *adoption d'essence dure (chêne, châtaignier)*
- *revêtement de nature et disposé de manière à permettre la respiration du bois*

Dispositions générales

Fourniture et mise en place d'éléments en bois comprenant :

- les tranchées d'encastrement nécessaires à l'incorporation dans les maçonneries existantes, y compris toutes les précautions pour éviter d'endommager les maçonneries existantes ;
- toutes les manutentions de matériaux fournies jusqu'aux lieux d'emploi ;
- la fourniture, la mise en place et le calage des éléments métalliques pour mise en charge sans désordre ;
- la fourniture et la pose des éléments métalliques de liaison ou fixation y compris toutes les façons en découlant ;
- le traitement insecticide et fongicide des bois à l'autoclave au moyen d'un produit de préservation ayant fait l'objet d'essais du CTBA si les bois ne sont pas purgés d'aubier ;

- la protection antirouille des éléments métalliques ;
- les hourdis de linteaux et de remplissage entre éléments en bois, y compris boisage et calage sous les existants ;
- toutes les sujétions pour difficultés de mise en œuvre et de liaison ;
- les armatures métalliques non corrodables prescrites dans les « Dispositions particulières » si le recouvrement est constitué par un enduit ;
- les manutentions des gravois en attente d'enlèvement.

Dispositions particulières

Préciser :

- *la nature des éléments en bois (fonction, essence, classement technologique et d'aspect, préservation) ;*
- *la nature et l'épaisseur des maçonneries dans lesquelles s'exécutent les façons, les outils, les modalités d'exécution ;*
- *la nature des éléments de liaison (boulons ou autres) ;*
- *la nature des hourdis de linteaux et des remplissages ;*
- *le dispositif destiné à éviter les reprises de l'humidité des bois ;*
- *le traitement antirouille et de finition des ouvrages métalliques d'accompagnement ;*
- *la nature, la force et la protection de l'armature grillagée support d'enduit ;*
- *les sujétions particulières d'exécution telles qu'étaisements (cf. recommandations des Dispositions générales des démolitions).*

Localisation

4.14 - PETITS OUVRAGES DANS LES MAÇONNERIES

Il s'agit des ouvrages tels que : entailles et tranchées (dont les dimensions les excluent des démolitions au m³), saignées dans enduit plâtre, trous, scellements, descellements, bouchements, raccords.

Dispositions générales

Façons diverses dans les maçonneries, comprenant :

Façons proprement dites comprenant main d'œuvre et fournitures diverses.

Dispositions particulières

Nomenclature des façons à exécuter.

Indiquer en outre les dimensions si elles sont prévisibles et la nature des mortiers utilisés pour les scellements, bouchements, etc.

Localisation

4.15 - DÉPOSE D'OUVRAGES DIVERS SANS CONSERVATION

Dans cet article, l'architecte regroupe et détaille les ouvrages divers à déposer tels que huisseries, portes, revêtements divers, cheminées, canalisations, etc.

Dispositions générales

- dépose compris descellements, décalfeutremments, coupes des dispositifs de fixation,
- toutes précautions pour éviter d'endommager les éléments contigus conservés,
- les manutentions des gravois en attente d'enlèvement.

Dispositions particulières

Nomenclature des ouvrages à déposer.

Localisation**4.16 - DÉPOSE D'OUVRAGES DIVERS EN CONSERVATION**

Dans cet article, le maître d'œuvre regroupe et détaille les ouvrages divers à déposer tels que huisseries, portes, revêtements divers, cheminées, canalisations, etc.

Dispositions générales

- dépose avec précautions compris descellements, décalfeutrements, coupes des dispositifs de fixation,
- toutes précautions pour éviter d'endommager les éléments contigus conservés,
- manutention jusqu'au lieu de stockage indiqué dans les "conditions particulières" y compris toutes protections destinées à assurer la bonne conservation des ouvrages déposés,
- évacuation aux décharges des gravois consécutifs à la dépose.

Dispositions particulières

Nomenclature des ouvrages à déposer.

- lieu de stockage,
- condition de la dépose (exécution de relevés de l'existant pour remontage ultérieur),
- protections particulières des éléments stockés,
- destination future des éléments déposés.

Localisation**4.17 - DÉMOLITION D'OUVRAGES HORIZONTAUX**

La démolition des dallages en pierre, en conservation du support, et la dépose en conservation des dallages en pierre sont traitées au CCTP « ouvrages en pierre de taille ».

La démolition de dallage en pierre sans conservation du support relève du présent article.

Dispositions générales

- recoupement éventuel des rives au droit des parties conservées y compris toutes précautions pour ne pas endommager les ouvrages contigus,
- démolition par tous moyens jugés propres par l'entreprise compte tenu des matériaux à démolir, de leur épaisseur, des sujétions particulières d'exécution et de la nature des ouvrages contigus,
- les manutentions des gravois en attente d'enlèvement.

Dispositions particulières

Nature des matériaux à démolir :

Si plusieurs dispositions particulières sont prévues, il est possible de faire suivre chaque localisation des dispositions particulières.

Épaisseur :

Cas, par exemple, d'une démolition de chape en conservation des formes supports.

Sujétions particulières :

Cas d'ouvrages en terrasses, préciser les dispositifs destinés à la protection (bâchage par exemple) et les dispositifs provisoires d'évacuation des eaux.

Localisation**4.18 - DÉMOLITION DE CARRELAGE EN CONSERVATION DES SUPPORTS**

Si les revêtements de sol sont démolis sans conservation des supports, l'ouvrage est à décrire et localiser au titre des démolitions d'ouvrages horizontaux.

Dispositions générales

Démolition comprenant :

- la démolition des revêtements de sol, de leurs mortiers de pose et couches d'isolation, en conservation des formes supports y compris coupes de rives nécessaires,
- le nettoyage du support conservé,
- les manutentions des gravois en attente d'enlèvement.

Dispositions particulières

Si les ouvrages sont en terrasse, préciser les dispositifs destinés à la protection (bâchage par exemple) et les dispositifs provisoires d'évacuation des eaux.

Nature et caractéristiques des revêtements à démolir :

Mode de pose :

Nature du liant du mortier de pose :

Localisation**4.19 - DÉPOSE DE CARRELAGE EN CONSERVATION**

Cet article s'applique que les supports soient conservés ou non. Dans le cas où les supports ne sont pas conservés, la démolition desdits est reprise au titre de l'article "Démolition d'ouvrages horizontaux" du présent CCTP.

Dispositions générales

Dépose comprenant :

- la dépose des revêtements de sol et la démolition de leur arase,
- toutes précautions au droit des parties conservées y compris coupement des rives,
- le nettoyage et le décroûtage des éléments déposés,
- toutes les manutentions (montages, descentes, coltinages) imposées par le projet et stockage à l'emplacement défini dans les dispositions particulières,
- les manutentions des déchets provenant du décroûtage des éléments et leur enlèvement aux décharges.

Dispositions particulières

Nature et caractéristiques des revêtements à déposer :

Mode de pose des revêtements à déposer :

Nature du liant du mortier de pose :

Indiquer en outre :

- *si un calepin de repérage et la numérotation des éléments à déposer doivent être établis et à qui incombe cette prestation,*
- *la destination future des éléments déposés et le lieu de mise en dépôt,*

- *si les supports sont prévus conservés ou non,*
- *si les ouvrages sont sur terrasse, préciser les dispositifs destinés à la protection (bâchage par exemple) et les dispositifs provisoires d'évacuation des eaux.*

Localisation**4.20 - RÉCUPÉRATION DE MATÉRIAUX****Dispositions générales**

Récupération pour réemploi de matériaux comprenant :

- la recherche, le triage, le nettoyage, le décroûtage,
- la purge des matériaux malsains susceptibles de contenir des sels ou des spores,
- si les matériaux ne sont pas récupérés sur le site les transports éventuels jusqu'au lieu de stockage sur le chantier,
- les manutentions et l'enlèvement aux décharges des déchets provenant du nettoyage et du décroûtage.

Dispositions particulières

Lieu de récupération :

- *Soit en provenance des démolitions, effectuées au titre du marché,*
- *soit en recherche sur le site,*
- *soit en provenance d'un autre site.*

Nature et dimensions des matériaux :

Localisation

Sans objet. - Le cube approché de matériaux récupérables est donné au BPU – DE.

CHAPITRE 5 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES D'ASSÈCHEMENT - DRAINAGE DES MAÇONNERIES

ASSECHEMENT - DRAINAGE

Règles de construction - Normes - DTU

Sans objet.

Diagnostic préalable

Le diagnostic doit préciser entre autre :

- la ou les origines de l'humidité ;
- l'humidité ascensionnelle en provenance du sol ;
- les infiltrations d'eau de pluie à travers les murs ;
- l'humidité par condensation ;
- l'humidité d'origine accidentelle (fuite des évacuations d'E.P., rupture de canalisation) ;
- la combinaison entre elles de ces différentes sources d'humidité.

Méthode de diagnostic

L'établissement d'un diagnostic précis et complet comprend plusieurs phases :

1. Notation des manifestations de l'humidité, nature, importance, localisations des désordres...
2. Collecte d'informations :

- sur les manifestations de l'humidité : date de leur apparition, leur évolution, etc.
- sur la construction affectée par l'humidité : matériau constituant la maçonnerie, enduits, travaux réalisés sur la construction ou dans son voisinage, etc.

À partir des manifestations apparentes de l'humidité ou des informations obtenues, des hypothèses sur la ou les causes de l'humidification peuvent être souvent formulées. Mais dans la plupart des cas, des mesures, sondages ou prélèvements sont nécessaires pour la vérification de ces hypothèses.

3. Mesures, essais, prélèvements.

- le choix entre ces différentes opérations se fait à partir des informations obtenues pendant les deux premières phases du diagnostic.
- la plupart de ces opérations sont destructives.

La liste non exhaustive des mesures pouvant être effectuées pour établir le diagnostic est donnée ci-dessous :

- mesures de la teneur en eau des matériaux de construction d'une maçonnerie, à différentes hauteurs et profondeurs permettant de distinguer l'humidité ascensionnelle en provenance du sol, des infiltrations d'eau de pluie et de l'humidification par condensation.

Exemples d'interprétation pour les murs

- mesures du niveau de la nappe phréatique (mise en place d'un piézomètre ou relevé à partir d'un puits)
- mesures de la température et de l'humidité de l'air pour confirmer un éventuel phénomène de condensation
- mesures et suivi de l'évolution des températures en surface des matériaux pour confirmer un éventuel phénomène de condensation
- mesures de la perméabilité de l'eau des murs pour vérifier la possibilité d'infiltrations d'eau de pluie à travers la paroi et déterminer par quel cheminement (fissures, joints ...) avec la boîte de perméabilité ou la pipe de perméabilité.

À partir des conclusions du diagnostic, le choix du ou des remèdes peut être déterminé.

5.1 - TECHNIQUES POUR LUTTER CONTRE L'HUMIDITÉ ASCENSIONNELLE EN PROVENANCE DU SOL

5.1.1 - AU NIVEAU DES MAÇONNERIES

Dispositions générales

- Le long des maçonneries enterrées, contre les infiltrations latérales
 - _ galerie périphérique
 - _ drains verticaux
- Dans les murs
 - _ réduction de la section absorbante
 - _ barrière étanche à la base des murs

Préciser :

- *Insertion d'une étanchéité*
- *Injection de produits imperméabilisants (résines époxydes silicones, siliconates)*
 - _ évacuation de l'eau imprégnée dans les murs

Préciser :

- *Électro-osmose : Méthode basée sur l'utilisation des tensions électriques pour faire migrer l'eau en sens inverse de la remontée capillaire.*
- *Électrophorèse : Méthode qui reprend la technique de l'électro-osmose mais qui est complétée par l'introduction de produits de phorèse qui vont colmater les capillaires de matériaux.*
- *Procédé électronique par contre-champs magnétique : Méthode qui consiste à développer un contre champs s'opposant à l'action des champs magnétiques existant dans le bâtiment soumis à des remontées capillaires.*
 - _ doublage ventilé

Préciser :

- *Nature des matériaux mis en œuvre*

Dispositions particulières

Localisation

5.1.2 - DANS LES DALLAGES

Dispositions générales

Ventilation des dallages.

Percement d'orifice de ventilation dans les murs extérieurs afin de créer une circulation d'air.

Dispositions particulières

Localisation

5.2 - TECHNIQUES POUR LUTTER CONTRE LES INFILTRATIONS D'EAU DE PLUIE

Dispositions générales

Injection des fissures

Rejointoiement

Réfection des enduits

Application d'un hydrofuge (uniquement pour les surfaces verticales)

Mise en place d'un bardage

Réfection ou introduction d'éléments d'évacuation d'eaux pluviales (gouttières, descentes EP)

Dispositions particulières

Localisation

5.3 - TECHNIQUES POUR LUTTER CONTRE LES CONDENSATIONS

Dispositions générales

Ventilation

Préciser :

- *Ventilation mécanique (VMC) ou autres.*

Isolation thermique

Chauffage

Dispositions particulières

Localisation

5.4 - TECHNIQUES POUR SOLUTIONNER LES PROBLÈMES LIÉS À LA PRÉSENCE DE SELS

Dispositions générales

Changement de la terre du sol contaminée par les sels

Enlèvement des sels des maçonneries par application de cataplasmes

Application d'un enduit très capillaire "sacrifié" (à refaire régulièrement)

Electro-osmose

Mise en oeuvre d'un enduit d'assainissement

Dispositions particulières

Localisation

CHAPITRE 6 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES EN MOELLONS

Norme XP B 10-01

Définition des caractéristiques minimales qu'il serait souhaitable que la pierre possède suivant sa destination dans l'ouvrage.

Se reporter au texte donné au CCTP "Ouvrages en pierre de taille", article "Fourniture de pierre neuve en blocs"

Norme P 10-202-1 référencée DTU 20.1

Calcul de la résistance à la compression à laquelle les pierres porteuses doivent satisfaire.

Se reporter aux "Règles" données au CCTP "Ouvrages en pierre de taille", article "Fourniture de pierre neuve en blocs)

6.1 - MAÇONNERIE EN MOELLON NEUF DE PIERRE

Les clauses spécifiques aux ouvrages en grès et en granit sont données au Chapitre 15 - Annexes du présent CCTP.

Pour chaque opération, le maître d'Œuvre détermine les ouvrages réglés sur les bases du Chapitre « Pierre de taille » et ceux qui relèvent du Chapitre « Maçonnerie en moellons ».

D'une façon générale, sont appelés « Pierre de taille » les morceaux dressés à l'équerre sur toutes leurs faces et débités aux dimensions d'un calepin d'appareil pour s'inscrire dans une stéréotomie.

Les ouvrages en pierre ne rentrant dans cette définition sont à considérer comme ouvrages en « Moellons ».

Dispositions générales

La fourniture des moellons comprenant :

- la fourniture des moellons prescrite aux Dispositions particulières. Les « spécifications auxquelles les pierres pour moellon » doivent satisfaire sont celles données au Chapitre 7.7.3.1 du Fascicule Technique « Ouvrages en maçonnerie ».
- le transport jusqu'au lieu de stockage sur chantier

La pose des moellons comprenant :

- les manutentions des moellons depuis le lieu de stockage jusqu'au lieu de pose
- la pose proprement dite telle que définie dans les Dispositions particulières, dans les conditions prévues au Chapitre 8 du Fascicule Technique « Ouvrages de maçonnerie ».
- l'enlèvement aux décharges des déchets de pose
- le traitement de surface pour donner un caractère ancien s'il est prescrit dans les Dispositions particulières
- les essais de convenance

Les façons d'appareils, parements s'ils sont prescrits et le jointoiement comprenant :

- toutes les prestations énumérées au titre de ces ouvrages aux Dispositions particulières
- les manutentions et enlèvement des déchets de taille aux décharges
- les essais de convenance jugés nécessaires par le maître d'Œuvre

Les principaux appareils sont les suivants :

- cubique

- *allongé (assises réglées de hauteur régulière ou non entre elles et de longueur régulière ou non)*
- *opus reticulatum*
- *opus spicatum*
- *opus incertum*

Dans le cas où il n'existerait pas de surface de référence à produire, l'entreprise devra l'exécution d'une surface témoin avant montage du mur (Article 8.4 du Fascicule Technique).

Outils utilisés pour le façonnage des moellons :

La chasse, le pic et le têtou sont les outils les plus couramment employés pour l'ébauche des moellons.

On reconnaît sur certains moellons anciens l'emploi du taillant droit pour façonner les faces de façon rapide.

L'emploi du poinçon, du ciseau et du maillet est spécifique des ouvrages plus particuliers et qui s'apparentent à la pierre taillée.

Dispositions particulières

Dénomination de la pierre

Selon les cas : nom (appellation courante et local éventuellement), localisation (département, commune, carrière et banc).

Caractéristiques physiques

Pour que la fonction et la durabilité des moellons à fournir soient assurées, il convient de vérifier que leur qualité correspond bien à leur destination dans l'ouvrage, selon les dispositions de la norme NF B 10-601.

Mais, en même temps, il convient de tenir compte de la compatibilité avec le matériau existant et des problèmes spécifiques à la restauration.

Les caractères physiques à exiger dans le marché dépendent ainsi du choix final de la qualité du moellon, approprié au monument tel qu'il résulte là aussi de l'étude préliminaire de recherche du moellon à employer, signalée ci-avant.

Surface de référence

Localiser éventuellement la surface de référence.

Fourchettes dimensionnelles des moellons

Généralement celles des moellons de la surface de référence ou, en l'absence, celle du plan de calepinage du marché.

Façon d'appareil

Généralement celles des moellons de la surface de référence ou, en l'absence, celle du plan de calepinage du marché.

Les principaux appareils sont les suivants :

- *cubique*
- *allongé (assises réglées de hauteur régulière ou non entre elles et de longueur régulière ou non)*
- *opus reticulatum*
- *opus spicatum*
- *opus incertum*

Dans le cas où il n'existerait pas de surface de référence à produire, l'entreprise devra l'exécution d'une surface témoin avant montage du mur (article 8.4 du Fascicule Technique).

Outils utilisés pour le façonnage des moellons :

La chasse, le pic et le têtou sont les outils les plus couramment employés pour l'ébauche des moellons.

On reconnaît sur certains moellons anciens l'emploi du taillant droit pour façonner les faces de façon rapide.

L'emploi du poinçon, du ciseau et du maillet est spécifique des ouvrages plus particuliers et qui s'apparentent à la pierre taillée.

Parement

Généralement, celui de la surface de référence donnée ci-avant ou, à défaut, donner la description du parement exigé. Préciser en outre si la taille est mécanique, manuelle ou mixte, dans les mêmes conditions que celles données pour la taille de pierre.

Règles de construction - Normes - DTU

Les tailles manuelles : adoucies, bossagée, bouchardée, brochée, ciselée, éclatée, égrisée, pointée, ravalée, sciée, smilée, talotée sont définies dans la norme quant à leur aspect et à leur mode d'exécution.

Les définitions des parements données dans les normes peuvent évidemment ne pas correspondre rigoureusement aux aspects des parements anciens à harmoniser.

Mode de pose

À bain soufflant, (article 8.2 du Fascicule Technique « Ouvrages de maçonnerie »).

Mortier de pose (granularité, liant, et dosage)

Se reporter à l'article 8.3 du fascicule technique « Ouvrages en pierre de taille » de l'article « pose de pierre neuve en bloc ».

Règles de construction - Normes - DTU

Terminologie

Jointolement en montant :

Cette technique consiste à exécuter la finition du joint en même temps que le hourdage de la maçonnerie en refoulant le mortier de pose avant qu'il n'ait fait sa prise.

Jointolement après coup :

Cette technique consiste à exécuter la finition du joint en même temps que le hourdage de la maçonnerie en refoulant le mortier de pose avant qu'il n'ait fait sa prise.

Le jointolement après coup consiste à exécuter la finition du joint après le montage de la maçonnerie lorsque le mortier de pose a terminé sa prise. Deux cas peuvent se présenter : soit les joints ont été dégarnis aux profondeurs prescrites au fur et à mesure du montage de la maçonnerie, soit la maçonnerie a été montée « à la baguette ».

Norme P 10-202-1 référencée DTU 20.1

Quels que soient le type de mur et la nature de la maçonnerie, le profil des joints apparents des maçonneries extérieures ne doit pas s'opposer à l'écoulement des eaux de ruissellement.

Commentaire de la norme : ceci exclut notamment les joints saillants ou trop profonds.

Les joints sont, au fur et à mesure du montage de la maçonnerie, dégarnis côté extérieur sur 10 à 15 mm de profondeur, puis au plus tôt après que le mortier de pose soit suffisamment durci, les joints sont garnis avec un mortier dosé à raison de 500 à 600 kg de ciment ou 200 kg de chaux et 400 kg de ciment par m³ de sable sec 0/2. Le lissage et le serrage sont exécutés au fer.

Commentaires de la norme : Les prescriptions de la norme (profondeur du dégarnissage, nature du liant, dosage et finition) ne sont pas applicables aux travaux de restauration des monuments historiques et il doit impérativement y être dérogé. Le mortier de pose est constitué de chaux de construction (de la chaux calcique 70 à la chaux hydraulique naturelle 5)

La profondeur du joint doit être comprise entre 3 et 5 cm et peut être réalisée en deux fois :

1. fichage de mortier analogue au mortier de pose ;
2. finition suivant choix, dosage et façon retenus à l'issue des essais. Les liants aériens peuvent être utilisés pour cet usage.

On constate fréquemment dans les mortiers anciens, la présence d'ajouts (poussière de la pierre à hourder, briques ou tuiles écrasées, sable argileux, voire même de charbon de bois). On peut donc décider de reproduire ces compositions qui peuvent apporter aux maçonneries des qualités intéressantes en liaison avec leur situation et exposition particulière, sous réserve d'essais de convenance.

Dans le cas où une patine des joints est prescrite, elle doit être rapportée après coup et ne doit jamais être incorporée dans le mortier. On évite ainsi des taches irréversibles et une évolution incontrôlée dans le temps.

- largeur des joints
- profondeur des joints

Généralement de 3 à 5 cm.

- forme des joints

En retrait, en creux, demi-rond, saillant, oblique, à fleur.

- finition
- *Lissé, coupé, gratté, brossé ou autre.*
- granularité, liant et dosage
 - _ de l'avant-joint
 - _ du joint de finition

- *Commentaires ci-dessus :*

- *Dans le cas où les joints sont colorés, donner la nature des colorants.*

Sujétions particulières

Telles que :

- *en sous-œuvre ;*
- *dans l'embarras des étais et/ou des bois de charpente ;*
- *en sous-œuvre et dans l'embarras des étais et/ou des bois de charpente ;*
- *en reprise par arrachement.*

Traitement pour donner un caractère ancien

Tel que patine ou autre.

Localisation

6.2 - MAÇONNERIE EN MOELLON VIEUX DE PIERRE

Se reporter aux règles, compléments techniques et commentaires de l'article "Maçonnerie en moellon neuf de pierre " pages précédentes.

Dispositions générales

La pose des moellons comprenant :

- les manutentions des moellons depuis le lieu de récupération jusqu'au lieu de pose ;
- la retaille des moellons nécessaire pour leur donner la forme prescrite ;
- la pose proprement dite telle que définie dans les dispositions particulières, dans les conditions prévues au chapitre 8 du Fascicule Technique « Ouvrages de maçonnerie » ;
- l'enlèvement aux décharges des déchets de pose ;
- le traitement de surface pour donner un caractère ancien s'il est prescrit dans les dispositions particulières ;
- les essais de convenance ;

Les façons d'appareils, parements s'ils sont prescrits et le jointoiement comprenant :

- toutes les prestations énumérées au titre de ces ouvrages aux dispositions particulières ;
- les manutentions et enlèvement des déchets de taille aux décharges ;
- les essais de convenance jugés nécessaires par le maître d'œuvre.

Dispositions particulières

Dénomination de la pierre de réemploi

Selon le cas : nom (appellation courante et locale éventuellement).

Lieu de récupération

Surface de référence

Localiser la surface de référence.

Fourchettes dimensionnelles des moellons

Généralement celles des moellons de la surface de référence à rappeler au présent article, ou en l'absence, celle du plan de calepinage du marché.

Façon d'appareil

Généralement celle de la surface de référence ou, en l'absence, celle du plan de calepinage du marché.

Parement

Généralement celui de la surface de référence donnée ci-avant ou, à défaut, donner la description du parement exigé. Préciser en outre si la taille est mécanique, manuelle ou mixte, dans les mêmes conditions que celles données pour la taille de pierre.

Mode de pose

À bain soufflant (article 8.2 du Fascicule Technique « Ouvrages de maçonnerie »).

Mortier de pose (granularité, liant et dosage)

Voir article 6.1 « Maçonnerie en moellon neuf » du présent CCTP.

Jointoiment après coup

Adapter le texte dans le cas de jointoiment en montant.

- largeur des joints
- profondeur des joints

Généralement de 3 à 5 cm.

- finition :

En retrait, en creux, ½ rond, saillant, oblique, à fleur.

- granularité, liant et dosage

Lissé, coupé, gratté et brossé ou autre.

- de l'avant-projet
- du joint de finition

Voir article 6.1 « Maçonnerie en moellon neuf » du présent CCTP.

Sujétions particulières

Telles que :

- en sous-œuvre ;
- dans l'embaras des étais et/ou des bois de charpente ;
- en sous-œuvre et dans l'embaras des étais et/ou des bois de charpente ;
- en reprise par arrachement.

Traitement pour donner un caractère ancien

Tel que patine ou autre.

Localisation

6.3 - REJOINTOIEMENT SUR MOELLONS EN ŒUVRE

Règles de construction - Norme - DTU

Terminologie

Contrairement au jointoiement après coup et au jointoiement en montant, la technique du rejointoiement intéresse les maçonneries anciennes

Norme P 10-202-1 référencée DTU 20.1

Le rejointoiement sur maçonnerie ancienne n'est pas visé.

Compléments techniques

La réfection des joints peut être préconisée :

- soit parce qu'ils sont en mauvais état et n'assurent plus la protection nécessaire ;
- soit pour des raisons esthétiques : joints malencontreux issus de réparations maladroites ; reprises et restaurations de parties de parements que l'on veut intégrer à l'ensemble, etc.

La profondeur du joint doit être comprise entre 3 et 5 cm et peut être réalisée en 2 fois :

1. fichage de mortier répondant aux compléments techniques pour le mortier de pose des pierres neuves en blocs (CCTP Ouvrages en pierre de taille - page 18) ;
2. finition suivant choix, dosage et façon retenus à l'issue des essais. Les liants aériens peuvent être utilisés pour cet usage.

	Chaux aérienne	Chaux hydraulique naturelle	Chaux en pâte	Ciment	Sable
1 ^{ère} formule	2 v	-	-	-	3 ½ v
2 ^{ème} formule	1 v	-	-	¼ v	2 v
3 ^{ème} formule	-	0,8 v	-	-	2 v
4 ^{ème} formule	½ v	½ v	-	-	-
5 ^{ème} formule	-	-	0,8 v	-	2 v

Commentaire de l'administration

De l'avis de certains praticiens du service des monuments historiques, la 2^{ème} formule visée ci-avant n'est à utiliser qu'avec une grande prudence par suite de la présence du ciment.

On constate fréquemment dans les mortiers anciens, la présence d'ajouts (poussière de la pierre à hourder, briques ou tuiles écrasées, sable argileux, voire même de charbon de bois). On peut donc décider de reproduire ces compositions qui peuvent apporter aux maçonneries des qualités intéressantes en liaison avec leur situation et exposition particulière, sous réserve d'essais de convenance

Dans le cas où une couleur des joints est prescrite, elle doit être rapportée après coup (patine eau forte) et ne doit jamais être incorporée dans le mortier. On évite ainsi des taches irréversibles et une évolution incontrôlée dans le temps.

Quant aux moyens à mettre en œuvre pour effectuer le dégarnissage, si l'on veut préserver la pierre et ses arêtes, il convient que le CCTP insiste sur l'obligation de résultats (solution qui semble préférable à la prescription d'utilisation d'outils déterminés dont l'emploi n'est pas forcément le gage d'un résultat de qualité).

Dispositions générales

Rejointoiement sur anciens moellons comprenant :

- le rejointoiement y compris le dégarnissage et le nettoyage dans les conditions précisées au Chapitre 10 du Fascicule Technique ;
- les manutentions des gravois en attente d'enlèvement.

Dispositions particulières

Liant constituant les joints à regarnir :

Obligation de résultat :

Préciser, par exemple, que la prestation devra être réalisée en préservant le moellon et ses arêtes

En principe, ne prévoir l'exclusion d'outils déterminés que s'ils sont de nature à porter un préjudice reconnu à l'ouvrage considéré : par exemple, nécessaire d'éviter toutes vibrations aux maçonneries voisines ou intérêt de limiter la puissance des outils pneumatiques dans un but déterminé.

Forme du joint :

Finition du joint :

Nombre moyen de moellons au m² :

- Granularité, liant et dosage
 - de l'avant-joint
 - du joint de finition

Localisation

6.4 - ROCAILLAGE EN MOELLON NEUF DE PIERRE

Règles de construction - Norme - DTU

Sans objet.

Le rocaillage est l'opération qui consiste à traiter l'arase d'un mur initialement plus important, et qui était protégé par un ouvrage spécifique. Il concerne plus particulièrement les vestiges archéologiques et les arrachements.

L'opération consiste à créer une étanchéité artificielle invisible, afin de mettre à l'abri des intempéries le coeur des maçonneries :

- *reprise de l'arase, par démontage et remontage avec soin de un ou plusieurs rangs de moellons*
- *réfection des joints de pose et joints verticaux ainsi que du garnissage interne, y compris formes de pente pour évacuation des eaux*

L'opération sommaire décrite ci-dessus peut être complétée par :

- *interposition d'une étanchéité sur l'épaisseur du mur, et rapportée sous la dernière ou avant dernière assise, y compris tous travaux d'exutoires et évacuations*
- *adjonction d'hydrofuge dans le mortier de pose des assises supérieures, équivalent à une chape étanché à condition de couvrir la totalité du mur*
- etc.

En tout état de cause, on doit écarter les produits et techniques irréversibles

Dispositions générales

Rocaillage comprenant :

- la fourniture des moellons prescrits aux dispositions particulières. Les spécifications auxquelles les pierres pour moellons doivent satisfaire sont celles données au chapitre 6 du Fascicule Technique « Ouvrages en pierre de taille ».
- le transport jusqu'au lieux d'emploi.
- la pose proprement dite y compris mortier de pose et façons particulières, façons d'appareil de parement s'ils sont mentionnés aux dispositions particulières.
- les jointoiements et dispositifs destinés à assurer l'étanchéité et traitement de surface pour donner un caractère ancien, prescrits aux dispositions particulières.
- l'enlèvement aux décharges des déchets de taille et de pose.
- les essais de convenance.

Nota : La démolition préalable pour exécution du rocaillage comptée au titre de l'article « Démolition pour dérasement ».

Dispositions particulières

Largeur et hauteur du rocaillage :

Dénomination de la pierre :

Mêmes recommandations que celles données à l'article "Maçonneries en moellon neuf de pierre" (Voir CCTP "Ouvrages en pierre de taille").

Valeur des essais d'identité :

- Essais d'identité ; ces essais sont définis dans le paragraphe 7.7.3.1 du fascicule technique.

Caractéristiques physiques :

Surface de référence :

Fourchette dimensionnelle des moellons :

Façon d'appareil :

Parement :

Mode de pose :

Mortier de pose (liant et dosage) : Éviter les liants solubles, chaux aériennes et plâtre.

Jointoiement après coup :

- largeur des joints
 - _ profondeur des joints
 - _ forme des joints
 - _ finition des joints
- granularité, liant et dosage
 - _ de l'avant-projet
 - _ du joint de finition

Dispositifs destinés à assurer l'étanchéité :

et éventuellement les dispositifs d'évacuation des eaux

Façon du dessus du rocaillage :

Traitement pour donner un caractère ancien :

Localisation

6.5 - ROCAILLAGE EN MOELLON VIEUX DE PIERRE

Dispositions générales

Rocaillage comprenant :

- le transport depuis le lieu de récupération jusqu'aux lieux d'emploi
- la retaille des moellons nécessaires pour leur donner la forme prescrite
- la pose proprement dite y compris mortier de pose et façons d'appareil de parement s'ils sont mentionnés aux dispositions particulières
- les jointoiements et dispositifs destinés à assurer l'étanchéité et traitement de surface pour donner un caractère ancien, prescrits aux dispositions particulières
- l'enlèvement aux décharges des déchets de pose

- les essais de convenance

Nota : La démolition préalable pour exécution du rocaillage comptée au titre de l'article « Démolition pour dérasement ».

Dispositions particulières

Largeur et hauteur du rocaillage :

Dénomination de la pierre :

Numéro d'identification :

Lieu de récupération :

Surface de référence :

Fourchette dimensionnelle des moellons :

Façon d'appareil :

Parement :

Mode de pose :

Mortier de pose (liant et dosage) : Éviter les liants solubles, chaux aériennes et plâtre.

Jointoiement après coup :

- largeur des joints
- profondeur des joints
- forme des joints
- finition des joints
- granularité, liant et dosage :
 - de l'avant-projet
 - du joint de finition

Dispositifs destinés à assurer l'étanchéité :

et éventuellement les dispositifs d'évacuation des eaux

Façon du dessus du rocaillage :

Traitement pour donner un caractère ancien :

Localisation

6.6 - RELANCIS EN MOELLON NEUF DE PIERRE

Dispositions générales

Relancis en moellon neuf de pierre comprenant :

- le refouillement effectué à la main,
- la fourniture de moellon présentant les mêmes caractéristiques physiques que celles des moellons en œuvre,
- la façon d'appareil et le parement éventuel, prescrits aux dispositions particulières,
- la pose et le mortier de pose conformes au mortier de pose des moellons en œuvre,
- le jointoiement aux dosages et l'aspect des moellons en œuvre,
- le traitement de surface pour harmoniser les moellons avec ceux en œuvre (patine),
- les manutentions et enlèvement des gravois aux décharges.

Dispositions particulières

Préciser les façons d'appareil et parements éventuels

Localisation

6.7 - RELANCIS EN MOELLON VIEUX DE PIERRE

Dispositions générales

Relancis en moellon vieux de pierre comprenant :

- le transport depuis le lieu de récupération jusqu'au lieu d'emploi,
- le refouillement effectué à la main,
- la façon d'appareil et le parement éventuel, prescrits aux dispositions particulières,
- la pose et le mortier de pose conforme au mortier de pose des moellons en œuvre,
- le jointoiement aux dosages et l'aspect des moellons en œuvre,
- le traitement de surface pour harmoniser les moellons avec ceux en œuvre (patine),
- les manutentions et enlèvement des gravois aux décharges.

Dispositions particulières

Préciser :

- *le lieu de récupération*
- *les façons d'appareil et parements éventuels.*

Localisation

CHAPITRE 7 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES ENDUITS

7.1 - PIOCHEMENT D'ANCIENS ENDUITS

Règles de construction - Normes - DTU

NF P 15-201-1/A1 référencée DTU 26.1 Enduits au mortier de liants hydrauliques, maçonnerie enduite.

Le mur doit être débarrassé de tous revêtements anciens. Il est nécessaire de procéder à un brossage à la brosse métallique, et dans certains cas, à un lavage à l'eau acide suivi de rinçages.

Lorsqu'il y a présomption de la présence de peintures ou de décors sous l'enduit, il est nécessaire de s'en assurer au stade des études préalables à l'aide de sondages.

Lorsque l'éventualité d'une découverte de cette nature subsiste, sans qu'on ait estimé nécessaire ou possible de faire les investigations utiles au niveau des études préalables, on a intérêt à prescrire précisément dans le chapitre « Dispositions particulières », les sujétions de sondages (et contraintes d'exécution) à réaliser préalablement à l'exécution générale de piochement de l'enduit.

Le Fascicule Technique (article 11.2) fait obligation à l'entreprise de prévenir immédiatement l'architecte de toute découverte fortuite dans ce domaine.

Lorsque, pour des raisons diverses, le choix définitif du parti de restauration à adopter semble devoir répondre à l'état constaté in situ du support (en étendue et en consistance), on a souvent intérêt à prévoir une variante quantifiée dans le dossier d'appel d'offres (ne jamais prévoir en effet de prix unitaires pour mémoire dont l'analyse dans le jugement de l'appel d'offres est difficile).

Il est souvent souhaitable, lorsque l'on pioche un enduit pour le remplacer, de prendre toutes les dispositions pour ne pas mutiler le support de manière irréversible.

Dispositions générales

Piochement d'anciens enduits comprenant :

- le recoupement de rives suivant dispositions particulières.
- le piochement de l'ancien enduit et la préparation des supports, appropriée au traitement du mur après piochement dans les conditions fixées aux articles 11.2 à 11.4 du Fascicule Technique.
- le dégarnissage éventuel des joints.
- les manutentions des gravois en attente d'enlèvement.

Dispositions particulières

Nature et épaisseur moyenne de l'enduit :

Préciser en outre si l'enduit existant est grillagé ou non et la présence d'une modénature éventuelle.

Recoupement de rives :

Équarri ou non suivant que la lisibilité de la restauration est souhaitée ou non.

Dégarnissage des joints :

Si par dérogation au Fascicule Technique, les profondeurs de dégarnissage sont supérieures à 3 cm, prévoir un article spécifique de Refichage et Rejointoiement précisant la profondeur souhaitée au-delà de 3 cm.

Nature du support et du hourdis :

À préciser seulement dans le cas où le mur est prévu ré-enduit.

Traitement du mur après piochement de l'enduit :

Préciser si le mur reçoit un nouvel enduit et sa nature ou s'il reste apparent.

Sujétions particulières :

Préciser, par exemple, les dispositions retenues pour ne pas mutiler l'épiderme du support (modalités d'exécution, outils, etc.).

Localisation

7.2 - PRÉPARATION DU SUPPORT NON ENDUIT POUR RECEVOIR UN ENDUIT

Dispositions générales

Préparation du support comprenant toutes les prestations prévues aux articles 11.3 et 11.4 du Fascicule Technique.

Article 11.3 : support en brique

Article 11.4 : support en moellon

Les manutentions des gravois en attente d'enlèvement.

Dispositions particulières

Lavage et brossage des parements

Préciser tous les dépoussiérages, décapages, ...

Nature du support et du liant

Préciser la présence éventuelle de peinture, vernis ou éléments en terre cuite émaillée ou tout autre élément ayant une incidence sur le prix

Profondeur du dégarnissage des joints

Si par dérogation au Fascicule Technique, les profondeurs de dégarnissage sont supérieures à 3 cm, prévoir un article spécifique de Refichage et Rejointoiement, précisant la profondeur souhaitée au delà de 3 cm.

Sujétions particulières d'exécution

Préciser, par exemple, les dispositions retenues pour ne pas mutiler l'épiderme du support (modalités d'exécution, outils, etc.)

Localisation

7.3 - RESTAURATION DES ENDUITS

L'enduit appliqué sur des supports verticaux doit présenter une tolérance de verticalité de 1 cm mesurée sur 3 m. Cette spécification ne s'applique qu'aux enduits sur nus et repères.

Fascicule technique des ouvrages de maçonnerie

Exécution des surcharges :

Si les surfaces à enduire présentent des inégalités de moins de 3 cm mais dont l'importance ne permet pas l'application directe de l'enduit, les surcharges en renformis, pour redresser la maçonnerie, sont exécutées avec un mortier de chaux aérienne, de chaux hydraulique ou bâtard suivant prescriptions du CCTP.

Lorsque les creux et inégalités locales doivent être rattrapés et nécessitent une épaisseur de mortier comprise entre 3 et 5 cm, une surcharge qui ne doit être que locale, est exécutée au mortier bâtard, sauf prescriptions du CCTP et doit comporter une armature constituée d'un treillis en métal non corrodable par nature ou rendu tel, dont les caractéristiques sont données au CCTP.

Compléments techniquesComposition des mortiers :

Les dosages en volume peuvent être les suivants :

	1ère formule	2ème formule	3ème formule
1ère couche	1 vol. chaux hydraulique naturelle 2 vol. sable	1 vol. chaux en pâte 3 vol. sable	1 vol. chaux aérienne CL/DL 1.5 à 2 vol. sable
2ème couche	1.5 vol. chaux hydraulique naturelle 1.5 vol. chaux aérienne CL/DL 9 vol. sable	1 vol. chaux en pâte 4 vol. sable	1 vol. chaux aérienne CL/DL 2 vol. sable
3ème couche	1 vol. chaux aérienne 3 à 4 vol. sable	1 vol. chaux en pâte 4,5 vol. sable	1 vol. chaux aérienne CL/DL 2.5 vol. sable

Pour la dernière couche, l'emploi des chaux aériennes présente l'avantage, du point de vue esthétique, de laisser ressortir les grains de sable, ce qui n'est pas le cas lorsque l'on emploie de la chaux hydraulique ou surtout du ciment car la laitance de ces liants n'est pas délavable par l'eau de pluie.

La première couche ne doit pas être dressée.

Finition

L'opération de finition est importante sur le plan esthétique. Elle peut être grattée, lissée à la truelle, lissée au feutre, lissée à l'éponge, lissée à la main de bois, lissée à la taloche, brossée, badigeonnée, jetée-recoupée, gravée en faux appareils et toutes techniques locales.

Granulométrie des sables

1ère couche 0,25/3.15 comportant peu d'éléments fins au maximum 15% > 3.15 au maximum 15% < 0,25

2ème couche 0,1/3.15 comportant au moins 5% de fines au maximum 15% > 3.15 au maximum 15% < 0,10

3ème couche 0,1/2

Le mortier constitutif de l'enduit doit répondre aux conditions suivantes :

protéger le mur contre les intempéries sans créer une barrière étanche contre la vapeur d'eau et la respiration du support (maçonnerie, pan de bois, etc.)

avoir une bonne adhérence sur le support

présenter un aspect extérieur satisfaisant

Dans le cas d'une restauration à l'identique, la composition du mortier doit être reconnue par analyse quantitative et qualitative en laboratoire, préalablement à l'élaboration du projet.

Le champ de la "réfection à l'identique" recouvre le cas des enduits existants, mais aussi de ceux qui ont pu exister, compte tenu des témoins découverts sur place ou par analogie.

Préparation du support

D'une façon générale, la réfection "à l'identique" de l'enduit doit satisfaire naturellement, sauf cas d'espèce, aux 3 conditions ci-dessus, sous réserve que le support ait conservé tous les ouvrages de protection nécessaires (corniches, saillies, bandeaux, soubassements, etc.).

Dans le cas inverse, la restauration de ceux-ci est une solution permettant d'assurer la durabilité de l'enduit dans le respect de l'architecture d'origine. On peut également en renforcer l'efficacité par des protections en plomb, en zinc, etc. (on évite les métaux corrodables et les produits qui risquent de tacher les parements).

L'adjonction d'ouvrages de protection, susceptibles de modifier l'aspect et l'architecture, n'est à envisager que sur cas d'espèce, appuyés par une étude particulière.

Aspect des enduits

Pour les monuments historiques et sans prétendre à l'exhaustivité, on peut faire mention des 3 états suivants d'enduits souvent rencontrés :

- *l'enduit lissé, comportant parfois un badigeon ou un décor peint, correspondant en général au dernier état de l'enduit. Il peut parfois être travaillé de manière à simuler un appareillage de pierres.*
- *l'usure de la couche de finition fait rapidement apparaître la sous-couche qui peut être choisie comme état souhaitable de la restauration. On l'obtient en général avec un mortier gratté, puis brossé après un début de prise.*
- *l'enduit à pierre vue, à ne pas confondre avec la maçonnerie à joints beurrés (maçonnerie où le mortier de jointoiement vient mourir sur les moellons en recouvrant ainsi leurs parties périphériques et dont la technique de mise en œuvre est assimilable à un rejointoiement).*

L'aspect de l'enduit doit être conforme aux surfaces de référence indiquées dans le CCTP.

Constitution de l'enduit

La composition et le nombre de couches de l'enduit sont conformes aux dispositions du CCTP.

Couche de finition

Le choix entre chaux aériennes et autres liants est un parti de restauration. A ce titre, il ne peut faire l'objet d'une recommandation a priori.

La chaux hydraulique naturelle et les chaux aériennes sont très fréquemment employées pour la couche de finition, soit pures, soit mélangées. La couche de finition peut également supporter une application de badigeon coloré. La constitution du mortier est conforme aux stipulations du CCTP et aux échantillons approuvés au préalable.

Les agrégats sont souvent un cas de dérogation à la NF P 18-304.

Planitude et aplomb de l'enduit fini

Il s'agit là encore d'un parti de restauration dicté par les caractéristiques du monument.

On peut exécuter des enduits souples, épousant les irrégularités du mur, à l'identique de l'existant.

Dans d'autres cas, l'architecte peut imposer des enduits dressés, dont la planéité et l'aplomb peuvent se rapprocher de ceux définis par le DTU.

Dispositions générales

Consolidation des parties pulvérulentes par application de produits durcisseurs.

Colmatage des fissures et solins

Injection de coulis

Accrochages mécaniques des enduits

Dispositions particulières

Choix du durcisseur, son dosage et son mode d'application

À préciser par l'architecte en chef dans le cadre de l'étude préalable :

- *Nature du produit*
- *Dilution*
- *Nombre de passes*
- *Temps de séchage*
- *Mode d'application (pulvérisation, projection, tampon)*

Colmatage de fissures

Enduit de même nature que l'existant

Colmatage par solins

Solins de même nature que l'existant, préciser :

- *Solins provisoires*

- *Solins définitifs*

Injection de coulis

Préciser :

- *Nature du coulis, du mortier de bouchage*
- *Nombre de points d'injection*
- *Maillage des points d'injection*

Accrochages mécaniques des enduits

Préciser :

- *Clous céramiques ou autres*
- *Maillage*

Localisation

7.4 - ENDUIT DES ZONES LACUNAIRES

Dispositions générales

Mise en œuvre d'un enduit à une ou plusieurs couches, de même nature que l'existant.

Dispositions particulières

Préparation

Nombre de couches

Préciser : enduit conforme à celui existant

- *Nombre de couches*
- *Constitution ;*
 - *liant : nature, dosage*
 - *granulats : nature, granulométrie*
- *Porosité*
- *Couleur*
- *Granulométrie*
- *Planitude*
- *Etc.*

Contrôle

Par un laboratoire agréé suivant les dispositions de l'article 11.3 du Fascicule Technique.

Localisation

7.5 - ENDUIT AU MORTIER

Dispositions générales

Préciser la nature du liant et sa provenance :

- *chaux aériennes*
- *liants hydrauliques naturels*

- *nature du sable (provenance, granulométrie, couleur ...)*

Préciser le nombre et le dosage de chaque couche constituant l'enduit

Enduit réalisé conformément aux dispositions du chapitre 11 du Fascicule Technique des ouvrages de maçonnerie, comprenant :

- La protection des parties contiguës non enduites
- L'hydratation du parement
- L'exécution, toutes fournitures comprises, des différentes couches constitutives des enduits, y compris sujétions de cueillies, d'angles, d'arrêts et de garnissage des joints
- L'exécution des renformis éventuels découlant de la planimétrie des existants et de la planimétrie exigée de l'enduit fini
- Les essais de convenance demandés par le maître d'œuvre

Préciser le nombre d'essais et leur importance

- Les manutentions et l'enlèvement des déchets aux décharges
- La protection des enduits frais et jeunes, compte tenu des conditions climatiques

Dans les conditions des articles 13.3 et 13.4 du Fascicule Technique

Dispositions particulières

Surface de référence :

Matériaux constituant le support :

1. Gobetis ou accrochage - (dans le cas d'enduits à 3 couches)

Cette couche à également pour objet le remplissage des joints préalablement dégarnis

Préciser la constitution compte tenu des informations données précédemment

- nature des matériaux et dosage :

Nature et dosage des liants et sables

- adjuvants et produit d'accrochage :
- mode d'application :

Préciser manuellement ou à la machine

- surcharges :

Préciser au préalable : Enduit à 2 ou 3 couches

2. 2ème couche - (Corps d'enduit ou dégrossi)

- nature des matériaux et dosage :

Nature et dosage des liants et sables

- mode d'application :

Préciser manuellement ou à la machine

- planitude et nu fini à respecter : (attention à conserver l'accroche mécanique nécessaire à la couche de finition)

À préciser par l'architecte en chef des monuments historiques

- armatures de renfort

Au droit des discontinuités de nature des matériaux comme stipulé à l'article 12.1.9 du Fascicule Technique

3. 3ème couche - (Finition)

- nature des matériaux et dosage

Nature et dosage des liants et sables

- matériaux d'ajouts

- mode d'application

Préciser manuellement ou à la machine

- traitement de surface

Caractéristiques de l'enduit fini :

À préciser, compte tenu des informations données précédemment

- planitude et aplomb
- finition de l'enduit

À préciser selon l'article 13.4.6 du Fascicule Technique

- épaisseur totale moyenne :

L'épaisseur découle de la planimétrie du support et de la planimétrie exigée de l'enduit fini

Localisation

7.6 - ENDUIT AU MORTIER DE PLÂTRE ET CHAUX AÉRIENNE

Dispositions générales

Enduit réalisé conformément aux dispositions du chapitre 11 du Fascicule Technique des ouvrages de maçonnerie, comprenant :

- la protection des parties contiguës non enduites
- l'hydratation du parement
- l'exécution, toutes fournitures comprises, des différentes passes constitutives des enduits, y compris sujétions de cueillies, d'angles, d'arrêts et de garnissage des joints
- l'exécution des renformis éventuels découlant de la planimétrie des existants et de la planimétrie exigée de l'enduit fini (ne pas utiliser de liants hydrauliques pour le renformis)
- les essais de convenance demandés par le maître d'œuvre

Préciser le nombre d'essais et leur importance

- les manutentions et l'enlèvement des déchets aux décharges
- la protection des enduits frais et jeunes, compte tenu des conditions climatiques

Dans les conditions des articles 13.3 et 13.4 du Fascicule Technique

Dispositions particulières

Surface de référence :

Matériaux constituant le support :

Matériaux constitutifs de l'enduit et dosage :

L'utilisation de produits prêts à l'emploi est conseillée.

- plâtre

Plâtre gros de construction conforme à la NF B 12-301.

- chaux aérienne :
- sable :
- coloration dans la masse :

Éventuellement.

Renformis :

Maçonneries hétérogènes :

Fers mis à nu :

Protection des enduits en mortier plâtre et chaux (MPC) :

Finition :

Grattée, Berthelet, etc.

Mise en œuvre :

Traité au chapitre 13 du Fascicule Technique.

Planitude et aplomb :

À préciser compte tenu des informations données en regard de l'article « Enduit au mortier ».

Épaisseur totale moyenne :

L'épaisseur découle de la planimétrie du support et de la planimétrie de l'enduit fini.

Localisation

7.7 - ARMATURE D'ENDUIT

Règles de construction - Normes - DTU

NF P 15-201-1/A1 référencée DTU 26.1

Protection des armatures

Les grillages et les treillis métalliques doivent être protégés contre la corrosion. Cette protection est assurée par un traitement du métal (dépôt électrolytique, galvanisation à chaud, etc.).

Il est rappelé que la protection par galvanisation à chaud des fils d'acier doit répondre aux spécifications de la Norme NF.A. 91.131 ; le poids minimal de zinc déposé est de 0,9 g/dm² pour les fils ; pour les fixations, le poids minimal est de 1,05 g/dm².

Lorsque le procédé de galvanisation à chaud appliqué au fil comporte un traitement spécial de lissage du revêtement de zinc après trempage le poids minimal de zinc déposé peut être abaissé de 0,9 g/dm² à 0,5 et 0,7 g/dm² respectivement pour les diamètres de fil de 3,06 et 1,53 utilisé.

La protection par dépôt électrolytique de zinc ou de cadmium doit répondre aux spécifications de la norme NF A. 91.102 ; l'épaisseur minimale de métal déposé sur les fils est de 10 microns ; cette épaisseur doit être de 15 microns pour les fixations.

Grillage métallique

Les mailles sont généralement hexagonales ou rectangulaires. Les dimensions des mailles sont comprises entre 15 et 30 mm. Les diamètres des fils varient de 0,6 à 1,5 mm.

Métal déployé

Les dimensions des mailles sont comprises entre 15 mm et 30 mm.

Treillage céramique

Le treillage se compose d'un canevas métallique à mailles carrées, en fil de fer, de dimensions 20 x 20 mm, les fils étant assemblés à chaque croisement par une pastille céramique.

Localisation des armatures

La norme prescrit une armature dans les cas suivants :

- enduit appliqué sur maçonnerie hourdée au plâtre ou mortier de plâtre recouvert par un enduit à base de liants hydrauliques.*
- sur les ouvrages de faible largeur et de matériaux de nature différente de celle du support. Le grillage ou le treillage doit déborder d'au moins 15 cm de part et d'autre de l'ouvrage et être fixé de chaque côté par clouage, tamponnage ou gobetage.*

Commentaires de l'Administration

L'emploi d'armatures métalliques ne doit être envisagé que comme « pontage » destiné à franchir une hétérogénéité du support (bois et pierre, par exemple). En aucun cas, il ne saurait être utilisé sur de grandes surfaces pour des raisons évidentes de dilatation.

Les armatures sont non corrodables afin d'éviter des taches sur le parement, et plus particulièrement dans le cas d'enduit au mortier aérien ou plâtre.

Dispositions générales

Il s'agit des armatures utilisées comme support d'enduit en grandes surfaces.

Armature d'enduit comprenant :

- la fourniture et la pose de l'armature métallique et des éléments de fixation, compris toutes coupes, recouvrements et déchets

Les armatures de linteaux sont incluses dans le prix des linteaux

Dispositions particulières

Type d'armature :

Matière :

Force du fil et dimensions des mailles :

Protection contre la corrosion :

Localisation

CHAPITRE 8 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES LAIT DE CHAUX - BADIGEON

8.1 - DÉBADIGEONNAGE COURANT

Dispositions générales

Débadigeonnage pour mise à nu du subjectile, comprenant :

- la protection des parties adjacentes non traitées
- les brossages, lavages, lessivages, décapages, grattages, rinçages à l'eau, nécessaires pour la mise à nu des subjectiles en conservation des épidermes et modénatures d'origine, de toute nature.

Préciser les prescriptions proscrites et interdictions d'emploi (produits chimiques, procédés mécaniques, etc.)

- les essais de convenance à soumettre à l'agrément de l'architecte en chef et après accord,

Préciser le nombre et l'importance des essais de convenance.

L'exécution proprement dite en une ou plusieurs interventions suivant le résultat à obtenir et les modalités d'exécution qui sont :

- soit imposées par l'architecte en chef des monuments historiques, dans les dispositions particulières
- soit proposées par l'entreprise à qui il appartient de soumettre à l'architecte en chef les produits et techniques qu'elle se propose d'utiliser avant tout début d'exécution.

Dispositions particulières

- la nature du subjectile
- les modalités d'exécution
- les outils et produits à utiliser
- les précautions particulières d'exécution à adopter

À préciser éventuellement si le texte des Dispositions générales n'est pas jugé adapté au cas, notamment à partir des conclusions résultant de l'étude préliminaire.

Localisation

8.2 - DÉBADIGEONNAGE SUR ANCIENS DÉCORS

Dispositions générales

Débadigeonnage soigné pour recherche ou mise à jour d'anciens décors, comprenant :

- l'examen sur place avant la remise de son offre, de la nature des badigeons à enlever, aucun supplément sur le prix unitaire ne lui étant alloué pour difficulté d'exécution qu'une visite sur place rendait prévisible
- la protection des parties adjacentes non traitées
- les essais de convenance à soumettre à l'agrément de l'architecte et après accord.

Préciser le nombre et l'importance des essais de convenance.

- le débadigeonnage proprement dit, conformément aux modalités d'exécution, outils et produits à utiliser et précautions particulières définies dans les Dispositions Particulières.

Dispositions particulières

- la nature du subjectile
- les modalités d'exécution
- les outils et produits à utiliser
- les précautions particulières d'exécution à adopter

À préciser éventuellement à partir des conclusions résultant de l'étude préliminaire.

Localisation**8.3 - BADIGEON AU LAIT DE CHAUX**

A exécuter conformément aux stipulations du chapitre 13 du Fascicule Technique.

Dispositions générales

Mise en œuvre d'un « lait de chaux » fixé, comprenant :

Préciser la terminologie selon la dilution et l'usage souhaité :

- Colature
- Chaulage
- Badigeon
- Eau forte ou détrempe à la chaux
- Patine
- la protection des parties adjacentes non traitées
- la préparation du subjectile

La préparation du support pour le rendre apte à recevoir ce lait de chaux fait l'objet d'articles spécifiques au CCTP

- Réfection de parements sur moellons, pierres, briques, ...
- Rejointoiement
- Réfection d'enduit, etc.

Les essais de convenance à soumettre à l'agrément de l'architecte en chef des monuments historiques et après accord,

Préciser le nombre et l'importance des essais de convenance.

L'application proprement dite du nombre de couches indiqué aux « Dispositions particulières ».

L'entreprise doit fournir à l'architecte en chef les procès verbaux de laboratoire attestant des résultats attendus du produit.

Dispositions particulières

Nature du support ou subjectile :

Généralement sur des parements minéraux neufs ou anciens en moellons, pierres, briques, enduits, etc.

Nature, composition et caractéristiques du produit d'application

Préciser :

- *La finition souhaitée (couleur, aspect, texture...)*
- *Le liant (chaux aérienne éteinte pour le bâtiment ou en pâte, chaux hydraulique naturelle)*
- *L'eau (dilution du produit)*
- *Les pigments (pour la coloration, terres naturelles ou oxydes)*

- *Les adjuvants (facilitent la mise en œuvre ou la durabilité)*

Mode d'application :

À sec ou à fresque, l'application à la brosse est vivement recommandée.

Nombre de couches d'application :

Poids au m² de produit déposé :

Localisation

CHAPITRE 9 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES DE CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES PAR INJECTION DE COULIS

Règles de construction - Normes - DTU

N.F., page 95-107 « Ouvrages d'art - réparation et renforcement des maçonneries » - Août 1994

Compléments techniques

Qualité des coulis à injecter.

La nature du ou des coulis ainsi que leurs conditions de mise en œuvre sont définies au CCTP à partir des études préliminaires. Le ou les coulis doivent posséder les qualités suivantes :

- facilité d'injection : le coulis doit rester stable pendant la durée d'injection
- le coulis doit effectuer le moins de retrait possible
- le coulis doit être stable dans le temps et ne pas perdre ses caractéristiques mécaniques sous l'action d'agents extérieurs

Préparation du parement de la maçonnerie avant injection.

L'injection du coulis ne peut se faire que si les conditions suivantes sont respectées :

- l'étanchéité des joints entre les pierres est bonne
- lorsque les maçonneries sont recouvertes d'un enduit, l'étanchéité et l'adhérence de cet enduit sont satisfaisantes
- la base du mur à injecter est étanche pour éviter que le coulis ne s'infilte dans le sol et dans les caves
- Injection du ou des coulis.

L'injection de coulis se fait au moyen de trous inclinés à espacements réguliers et, selon prescription du CCTP, soit par gravité, soit sous faible pression.

Dans le cas où l'on injecte 2 coulis, la première injection est celle du coulis le moins fluide (par exemple coulis de ciment stabilisé) afin de remplir les gros vides, et la seconde est celle du coulis fluide (par exemple coulis de silicate) destiné à remplir les vides fins et consolider le mortier de pose. Le délai entre les 2 coulis est précisé au CCTP.

9.1 - ÉTUDE D'INJECTABILITÉ

Cette étude comprend :

- Une étude de la maçonnerie
- Une étude du ou des coulis en laboratoire
- Une épreuve de convenance sur chantier.

Ces 3 phases seront réalisées en étroite collaboration avec un laboratoire agréé.

Les 2 premières phases sont en général réalisées avant l'appel d'offres :

- à la charge du maître d'ouvrage
- les résultats, dossiers, rapports, etc. mentionnés et rendus contractuels dans le marché de l'entreprise (CCAP et/ou CCTP)

La 3ème et dernière phase sera réalisée pendant l'exécution du marché :

- à la charge du maître d'ouvrage pour la mission de contrôle du laboratoire agréé
- à la charge de l'entreprise pour l'exécution proprement dite de l'épreuve de convenance.

Le maître d'œuvre indique ici les résultats de l'étude préalable d'injectabilité afin d'en porter les éléments à la connaissance des entreprises.

9.1.1 - ÉTUDE DE LA MAÇONNERIE

Dispositions Générales

Cette étude de la maçonnerie devra permettre :

- D'identifier les matériaux composant la maçonnerie.
- De déterminer les dimensions respectives des matériaux composant la maçonnerie.
- D'estimer les pourcentages de vide à injecter.

Rédaction d'un rapport final

Préciser le contenu du rapport final :

- Attachement figuré, croquis, plans
- Dossier photographique
- Dimensions, format et nombre d'exemplaires de ces dossiers et documents

Dispositions particulières

Localisation

9.1.2 - ÉTUDE DU OU DES COULIS EN LABORATOIRE

Voir plus haut article 9.1 - «Étude d'injectabilité».

Dispositions générales

À partir des éléments et des conclusions de l'étude de la maçonnerie, les caractéristiques du ou des coulis d'injection sont définies.

Dispositions particulières

- Nature des liants
- Maniabilité
- Retrait
- Exsudation

Localisation

9.1.3 - ÉPREUVE DE CONVENANCE SUR CHANTIER

Dispositions générales

Épreuve de convenance sous le contrôle du laboratoire agréé.

Le contrôle par un laboratoire d'essai agréé est indispensable.

Cet essai consiste à réaliser sur le chantier dans un ou des volumes de maçonneries, bien délimités, une épreuve d'injection afin de tester la ou les compositions de coulis mises en œuvre.

Réaliser ensuite le contrôle dans ces zones expérimentales de l'efficacité de l'injection et au besoin revoir certains paramètres de l'injectabilité.

L'entreprise chargée de l'exécution de cette épreuve de convenance, assurera par tous moyens appropriés, l'assistance technique au laboratoire agréé chargé du contrôle de l'épreuve de convenance.

À préciser :

- Échafaudages
- Nacelles
- Matériels et matériaux d'injection
- etc.

Dispositions particulières

Les conditions d'exécution de cette épreuve de convenance sont identiques à la mise en œuvre des injections définitives proprement dites et développées ci-après.

Préciser :

- hauteur des bandes d'injection
- l'étendue des zones d'essais
- le maillage d'implantation des injecteurs, des évents
- leur profondeur, leur diamètre ou section
- la pression d'injection
- observer les résurgences de coulis
- affiner les compositions de coulis
- il peut être utile de prescrire une reconnaissance de sol à la charge de l'entreprise

Les résultats de cette épreuve de convenance sont de nature à préciser la composition et le mode d'injection du coulis sans incidence financière.

Préciser pour le contrôle de l'injection :

- par carottage éventuellement complété par des essais mécaniques réalisés sur ces carottages
- par mesure de la vitesse de propagation du son avec comparaison à la valeur initiale
- par auscultation au radar
- par examen endoscopique
- par analyse chimique du coulis

Localisation

9.2 - INJECTION DU OU DES COULIS

Pour tous types de maçonnerie.

L'injection de coulis de mortier accompagne souvent des ouvrages de consolidation localisés (reprise de parements, percements, incrustements, etc.) afin de rendre une nouvelle cohésion avec les ouvrages anciens.

Dans la mesure où cette technique permet la consolidation sans démontage et conserve ainsi toutes les déformations et l'authenticité du monument, elle peut être considérée comme un des outils de la restauration moderne et être appelée à un emploi de plus en plus fréquent.

Le but de l'injection peut être double :

- réhomogénéisation des maçonneries
- objectifs mécaniques - augmenter la résistance du mur

1. Le pourcentage des vides à cœur d'une maçonnerie peut être important dès l'origine de la construction. Il peut avoir été aggravé au fil du temps et des intempéries, en particulier dans les ouvrages très exposés ou, au contraire, être resté pratiquement inchangé dans les zones protégées.

2. La technique de l'injection nécessite une grande fluidité pour atteindre les vides les plus profonds, donc une grande diffusion que l'on cherche à augmenter à l'aide d'une légère pression. Cette technique se place donc parmi celle du "tout ou rien" et ne pourra se limiter à des besoins de consolidation ponctuels.

3. Le choix des matériaux constitutifs du coulis est très important. Il est impératif de ne pas utiliser de coulis hydraulique dans une maçonnerie au plâtre. Des sondages réalisés après injection de coulis de ciment non stabilisé prouvent que l'on risque souvent d'obtenir un mélange hétérogène constitué de l'ancien mortier d'une part, et le nouveau liant qui se présente sous forme de blocs compacts et de filaments

Il faut éviter des risques de points durs, préjudiciables à la stabilité et risquant de provoquer de nouvelles ruptures et de perturber les échanges hygrométriques entraînant des effets graves sur les enduits intérieurs et peintures murales notamment (condensation).

Du fait du temps de séchage très important qu'ils requièrent, les liants aériens (chaux aérienne CL/DL ou en pâte) ne pourront être utilisés à l'état pur. Ils peuvent être additionnés à des liants hydraulisés suivant des pourcentages fixés au cas par cas et devant faire appel à des analyses préalables.

4. Les techniques de mise en œuvre : des précautions sont à prendre à plusieurs niveaux de l'opération :

- étanchement des parements par vérification ou réfection des joints. Réservation des trous de coulage et des événements dans les joints existants, sans nécessité de forage
- au besoin, mise en place de platelage de maintien pour consolider les enduits fragiles à conserver (poussée hydrostatique)
- protection des ouvrages craignant l'humidité : l'injection provoque un apport d'eau
- coulis sous faible pression, de bas en haut, et par bandes de 0,8 m de hauteur environ

Le délai entre deux coulages correspond au temps nécessaire à la prise du coulis (échantillon témoin).

5. Les expériences récentes effectuées à l'aide de ciment, bentonite et silicate de soude, sont encore à considérer au sens expérimental. On ne peut envisager de les étendre sans risque à tous les cas de figure et types de maçonnerie. En effet :

- on ne connaît pas, a priori, quelles modifications cette technique peut amener dans le régime hygrométrique du mur
- les efflorescences, après l'injection du coulis en silicate de soude, sont un handicap grave. S'en débarrasser par la méthode du sablage, même léger, n'est que rarement admissible sur des parements nus et, de toute façon, proscrite en cas de peintures ou sculptures
- enfin, l'injection des silicates ne risque-t-elle pas d'atteindre également la porosité de certaines pierres de parement, et à terme, d'en modifier l'aspect ?
- sur un plan plus philosophique, l'apport de silicates soulève des problèmes qui dépassent le strict cadre du mur :
- si l'on considère que le mur initial comportait des vides de plus de 1 mm, c'est dans cet état qu'il était appelé à recevoir les charges de la structure et de l'utilisation
- si la résistance doit être augmentée, pour des raisons de réutilisation par exemple, il faut aborder le problème sous l'angle global de reprise de fondations et de l'ensemble du complexe des structures, en soulignant que l'injection de silicates, même si elle n'est pas réversible, est à opposer à d'autres techniques telles que prothèses B.A. logées dans le mur, poutres précontraintes, etc.

6. Toute confortation par injection doit faire l'objet d'une étude préalable adaptée aux objectifs.

Des contrôles sont systématiquement prévus, dans les conditions que l'étude préliminaire utile aura prévues (ils doivent faire l'objet de stipulations précises dans le chapitre « Contrôles de la qualité des ouvrages » du CCTP).

9.2.1 - VÉRIFICATION DU PAREMENT ET DES MAÇONNERIES AVANT INJECTION

9.2.1.1 - ÉTANCHÉITÉ DES JOINTS

Dispositions Générales

Travaux de jointoiement – rejointoiement.

Voir descriptions complètes et détaillées suivant la nature des maçonneries dans les documents types

Voir CCTP « Ouvrages de maçonnerie » et « Ouvrages de Pierre de Taille »

Dispositions Particulières

Prévoir un étaieement préalable

Préciser les parties devant être éventuellement coffrées ; en présence de maçonneries fragilisées

Colmatage des joints par mise en œuvre d'argile compris enlèvement après coup

Cas des murs en pierres sèches

Localisation**9.2.1.2 - MAÇONNERIES RECOUVERTES D'UN ENDUIT****Dispositions Générales**

L'entreprise est tenue de vérifier la bonne étanchéité et adhérence de cet enduit.

Voir descriptions complètes et détaillées au Chapitre 7 – « Enduits » du présent CCTP.

Dispositions particulières

Définir les caractéristiques physico-chimiques et dimensionnelles des matériaux dans toute l'épaisseur des maçonneries.

Préciser dans chaque cas la nature des ouvrages :

- Murs
- Piliers
- Soubassements
- Maçonnerie de fondation
- En élévation
- En sous-œuvre, etc.

Préciser la nature des matériaux :

- Pierre de taille
- Moellons
- Briques
- Matériaux de remplissage
- Fourrure
- Mortier de pose
- Maçonneries recouvertes d'un enduit

Modalités d'exécution

Prélèvement destructif :

- *Par carottage éventuellement complété par des essais mécaniques réalisés sur ces carottages*

Mesures non destructives :

- *Par mesure de la vitesse de propagation du son*
- *Par auscultation radar*
- *Par examen endoscopique*

Préciser :

- *Le relevé de l'édifice fait au préalable pour la (ou les) partie(s) à injecter*

- *Les lieux et le nombre de carottages*
- *Les dimensions des carottages :*
 - *longueur*
 - *section (généralement 100 mm de diamètre)*
- *Le lieu et la durée de stockage des carottages le cas échéant*
- *Leur réemploi éventuel ou leur remplacement pour le bouchement des trous*

Colmatage des vides entre l'enduit et le corps de la maçonnerie

Sa nécessité ou non sera précisée par l'étude et les essais d'injectabilité.

Bouchement des trous de carottages préalables

Pour la partie de carottage dans l'épaisseur de l'enduit, l'entreprise doit s'assurer de l'homogénéité de l'enduit avant et après injection

Localisation

9.2.1.3 - VÉRIFICATION DE L'ÉTANCHÉITÉ DES PARTIES ENTERRÉES

Dispositions Générales

Mise en œuvre de procédés d'étanchéité afin d'éviter que le coulis d'injection ne s'infiltre à perte dans le sol et dans les caves.

Coulis plus grossier

Barrière étanche

Dispositions Particulières

Localisation

9.2.2 - CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES PAR INJECTION DE COULIS

Dispositions Générales

Injection des maçonneries par coulis comprenant :

(par type de coulis)

Coulis n° 01

- Le forage des trous et événements dans les joints des maçonneries

Injection aux inclinaisons, espacements et profondeurs prescrites aux dispositions particulières.

- La fourniture des matériaux constitutifs et la confection des coulis.
- Les appareillages nécessaires aux injections.

Selon leur mode de réalisation : par gravité ou surpression

- *Location de pompe, surpresseur, etc ...*
- Les calfeutrements, garnissage à l'exclusion des rejointoiements, relancis, reprises de mur s'ils s'avéraient nécessaires aux injections.

Ces prescriptions font l'objet des descriptions spécifiques par ailleurs.

- Toutes les précautions doivent être prises pour éviter d'endommager les existants. Celles ci sont prescrites dans les Dispositions particulières.
- Le nettoyage du parement après injection dans les conditions prescrites aux Dispositions particulières.
- Le contrôle des coulis à la sortie des événements.

- L'entreprise assurera par tous moyens appropriés l'assistance technique au laboratoire agréé chargé du contrôle final de l'opération d'injection.

Préciser les conditions d'intervention du laboratoire d'essai agréé et indiquer qui prend en charge les frais correspondants (la prise en charge par le maître d'Ouvrage est préférable).

- Les reprises éventuelles du processus d'injection jusqu'à obtention du résultat recherché.

Coulis n° 02

- Dito.

À préciser autant de fois qu'il est prescrit de nature de coulis différente.

Coulis n° 03

- Dito.

Dispositions Particulières

Préciser :

- *Le résultat escompté.*
- *La nature des maçonneries à conforter.*
- *Les modalités d'exécution des trous d'injection et des événements (outil à utiliser, espacements, dimensions, inclinaisons, diamètres).*

Nota : *À titre indicatif, l'espacement est égal, au maximum, à l'épaisseur de la maçonnerie.*

- *La constitution des coulis.*
- *Les modalités des injections (granitaire ou surpression).*
- *Les précautions à adopter (contre l'humidité, les poussées hydrostatiques, etc ...).*
- *Dans le cas d'injection de 2 coulis (ou plus), l'ordre d'injection et le délai d'exécution entre les coulis*
- *Le phasage des injections par tronçons sur une hauteur maximale d'un mètre.*
- *Les contrôles et vérification pendant l'opération d'injection :*
 - *quantité de produit injecté par injecteurs*
 - *pression d'injection*
 - *fonctionnement des événements*
 - *examen de la zone injectée et de l'ouvrage (pour déceler toute fuite ou déformation de la structure)*
 - *qualité du coulis en sortie d'événements, en particulier la fluidité au cône de Marsh.*
- *Les conditions de nettoyage des parements après injection.*
- *Et toutes autres prestations nécessaires à l'entreprise pour établir son prix.*

Localisation

Les poids prévisionnels des éléments constitutifs des coulis sont donnés au bordereau de prix unitaires.

Les maçonneries à consolider sont les suivantes :

Maçonneries à énumérer à la suite :

9.3 - CONTRÔLE DE L'INJECTION

Dispositions Générales

Contrôle de l'injection comprenant :

La comparaison des résultats après et avant injection.

Préciser les conditions d'intervention et de prise en charge de la rémunération du laboratoire d'essai agréé.

La rédaction d'un rapport d'injection.

Dispositions Particulières

Préciser pour le contrôle de l'injection :

- *Par carottage éventuellement complété par des essais mécaniques réalisés sur ces carottages.*
- *Par mesure de la vitesse de propagation du son.*
- *Par auscultation au radar.*
- *Par examen endoscopique*
- *Par analyse chimique du coulis*

Localisation

Quantités et localisations laissées à l'appréciation de l'architecte en chef des monuments historiques.

CHAPITRE 10 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES RÉPARATIONS D'OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ

10.1 - PRÉPARATION DES SURFACES EXISTANTES

10.1.1 - ÉLIMINATION DES BÉTONS DÉGRADÉS

Dispositions générales

Comprenant :

L'enlèvement et l'élimination des parties en béton non adhérentes ou de mauvaise qualité.

Préciser :

- *l'épaisseur de béton à éliminer*
- *le(s) procédé(s) utilisé(s) et les moyens mis en œuvre pour l'élimination du béton suivant*
- *l'article 15.6.1. du Fascicule Technique :*
 - *piquage*
 - *bouchardage*
 - *rabotage mécanique*
 - *ponçage*
 - *grenaillage*
 - *brossage*
 - *sablage et hydro-sablage*
 - *hydro-décapage*
 - *sciage au diamant*
 - *broyage hydraulique*

Le dégagement de la périphérie des armatures.

Préciser :

- *partiel ou complet*
- *la quantité d'acier ramenée à la zone à traiter*

Les manutentions des gravois en attente d'enlèvement.

Dispositions particulières

Repérage du traitement de l'épiderme.

Dessin du banchage

Modénatures particulières, etc.

Localisation

En précisant l'étendue de la surface à traiter.

10.1.2 - PRÉPARATION DES ARMATURES

Dispositions générales

Comprenant :

Le décapage des armatures corrodées jusqu'aux parties saines.

Préciser :

Le(s) mode(s) opératoire(s) de décapage :

- *sablage*
- *grenailage*
- *brossage*
- *disquage*
- *pointe au carbure de tungstène*
- *pistolet à aiguille*
- *le décapage chimique est à utiliser avec précautions en raison de ses effets secondaires sur l'adhérence du mortier de réfection*

La passivation des armatures immédiatement après leur décapage.

Préciser :

- *La nécessité ou non de l'application d'un produit ou d'un traitement passivant :*
 - *transformateur de rouille*
 - *inhibiteur de corrosion*
 - *antirouille, peinture, etc.*

Dispositions particulières

Temps de latence entre le décapage et la passivation.

La passivation doit être exécutée immédiatement (le plus rapidement possible) après le décapage afin d'éviter, de nouveau, la formation de rouille.

Etat de surface.

L'aspect final de l'état de surface des armatures après décapage est fonction de la passivation choisie.

Nature du passivant.

Dans tous les cas, le passivant doit être compatible avec les mortiers de réparations.

Localisation

10.1.3 - NETTOYAGE DES SURFACES

Dispositions générales

Comprenant :

L'enlèvement des poussières et de toutes souillures subsistant de l'élimination des bétons dégradés.

Préciser la méthode de nettoyage :

- *à sec : brossage, aspiration, soufflage à l'air déshuilé*
- *humide : lavage à l'eau avec ou sans détergent*

Les excédents d'eau doivent être éliminés par soufflage à l'air déshuilé ou par aspiration.

Dispositions particulières

Temps de latence entre le nettoyage et la mise en œuvre des mortiers et bétons.

Le nettoyage des surfaces doit être exécuté immédiatement (le plus proche possible) avant la mise en œuvre des mortiers et bétons ou de la couche d'accrochage afin d'éviter l'apparition de nouvelles souillures.

Compatibilité des procédés.

S'assurer de la compatibilité entre la méthode de nettoyage prévue et les produits de réparation (support sec ou humide).

Localisation

10.2 - RAGRÉAGE

Suivant les dispositions de l'article 17.6 - Ragréage du Fascicule Technique.

Dispositions générales

Mise en œuvre de produits de ragréage comprenant :

L'application d'une couche d'accrochage si nécessaire.

Préciser :

- *La nature et la composition des produits :*
 - *liants hydrauliques*
 - *résines synthétiques*
 - *mixte en ciment polymère*

L'application d'une ou plusieurs couches de finition.

Préciser :

- *Le mode d'application des produits*
 - *manuel*
 - *mécanique*

Le traitement de finition du ragréage après coup.

Préciser :

- *Patine, vieillissement, harmonisation avec les parties conservées*

Dispositions particulières

Etat du support.

- *Surface sèche, humide, ruisselante ou immergée*

Conditions climatiques d'application.

- *Température, humidité relative, vent*

Nombre de couches successives.

- *Leurs épaisseurs respectives*

Nature des ouvrages en finition.

- *Aspect de surface (coffrages, gravillons lavés, bouchardage, ...)*
- *Modénature*
- *Sculptures*
- *Décorations (incrustations, mosaïques, ...)*

Localisation

10.3 - TRAITEMENT DES FISSURES DE STRUCTURE

Suivant les dispositions de l'article 17.7 - Traitement des fissures de structure du Fascicule Technique.

10.3.1 - INJECTION

Dispositions générales

Réparation de fissures par injection, comprenant :

Le nettoyage préalable à l'eau sous pression.

Préciser :

- *L'emploi ou non de détergents et leur rinçage à l'eau douce*

La mise en œuvre des injecteurs et événements.

Préciser :

- *Les injecteurs sont collés ou forés selon la pression d'injection*

Le colmatage extérieur des fissures entre injecteurs.

Préciser :

- *Par un produit pâteux, un mastic*

La préparation des fissures avant injection.

Préciser :

- *Humidification ou non selon le produit d'injection utilisé*

L'injection de produits proprement dite.

- *La nature et la composition des produits :*

- *liants hydrauliques*
- *résines synthétiques*
- *mixte en ciment polymère*

- *Le mode opératoire :*

- *sous pression*
- *mécanique*
- *gravitaire (plus rarement)*

Le traitement en finition de la fissure.

- *Aspect de surface, patine, vieillissement, harmonisation avec les parties conservées.*

Dispositions particulières

Nature des fissures.

Préciser :

- *Ouverture, profondeur, tracé, passives ou actives, ce qui conditionne la nature du produit d'injection qui sera souple ou rigide.*

Conditions climatiques.

Préciser :

- *Température extérieure, température du support*

Injecteurs.

Préciser :

- *Maillage des injecteurs et pression d'injection*

Localisation

10.3.2 - CALFEUTREMENT

Dispositions générales

Calfeutrement de fissures, comprenant :

La préparation des fissures.

Préciser :

- *L'ouverture des fissures :*
 - *manuellement*
 - *par meulage électrique ou pneumatique*
- *L'élimination de la poussière :*
 - *par brossage*
 - *par soufflage à l'air sec et déshuilé*

Un pré-étanchement en fond de fissure.

Préciser :

- *Si nécessaire en cas de venue d'eau :*
 - *par colmatage avec une pâte ciment à prise accélérée*
 - *par injection de résine gonflant en présence d'eau*
 - *le nettoyage et le séchage des lèvres de la fissure doivent suivre cette opération*

L'application d'une primaire d'accrochage.

Préciser :

- *Suivant notice technique du produit de calfeutrement utilisé*

L'application du mastic de calfeutrement proprement dit.

Préciser :

- *Nature, composition et mise en œuvre du produit de calfeutrement :*
 - *manuellement à la truelle ou à la langue de chat*
 - *par projection pour les produits hydrauliques*
 - *par pompes manuelles ou pneumatiques pour les produits organiques*

Le traitement de finition.

Préciser :

- *Par serrage du produit puis talochage et lissage*
- *Aspect de surface, patine vieillissement, harmonisation avec les parties conservées*

Dispositions particulières

Nature des fissures.

Préciser :

Ouverture, profondeur, tracé, passives ou actives

Contre la pluie, les salissures et les chocs

Protections du produit de calfeutrement pendant sa polymérisation.

Localisation

10.3.3 - PONTAGE

Dispositions générales

Pontage des fissures, comprenant :

La préparation des fissures.

Préciser :

- *L'ouverture des fissures :*
 - *manuellement*
 - *par meulage électrique ou pneumatique*
- *L'élimination mécanique de toute trace de matière susceptible de nuire à l'adhérence du support*

La mise en œuvre d'un fond de joint en mousse.

L'application de bandes de pontage et d'un mortier élastique type élastomère compris primaire d'accrochage si nécessaire.

- *Nature des produits et matériels :*
 - *colle EP + bandes collées élastomères*
 - *liant souple EP-PUR ou PUR + armatures textiles*

Le traitement de finition.

- *L'aspect de surface, patine vieillissement, harmonisation avec les parties conservées*

Dispositions particulières

Nature des fissures.

Préciser :

- *Le procédé de pontage s'applique généralement en présence de fissures dites « actives »*
- *Ouverture, profondeur, tracé*

Localisation

10.4 - RÉALCALINISATION DU BÉTON

Dispositions générales

Mise en œuvre d'un procédé électro-osmotique, comprenant :

Le traitement préalable de la surface du béton.

Préciser :

- *Suppression des irrégularités, fissures, écailllements, délaminations, sans modifier la conductibilité du béton*
- *Supprimer les risques de courts-circuits entre anodes et cathodes*

La recherche de continuité électrique des armatures du béton avec pontages si nécessaire.

Préciser :

- *L'armature du béton est alors considérée comme étant la cathode (-) du dispositif électrochimique*

La connexion de câbles électriques aux armatures et leur raccordement au générateur.

Préciser :

- *Par vissage ou soudure sur l'acier des armatures*

La fourniture et mise en œuvre d'un treillis métallique posé sur taquets bois de réglage.

Préciser :

- *Ce treillis est alors considéré comme étant l'anode (+) du dispositif électrochimique*

La connexion de câbles électriques au treillis et leur raccordement au générateur.

La projection d'un enduit de cellulose imprégné d'électrolyte.

L'humidification de l'enduit par projection d'électrolyte pendant la durée d'application du procédé.

La mise en œuvre du générateur compris consommations.

- *Installation, location et entretien pendant la durée des travaux, double transport, toutes manutentions, dépose et repose après coup*

La mise en œuvre de la cuve à électrolyte.

- *Dimensions et volumes compris : installation, location et entretien pendant la durée des travaux, double transport, toutes manutentions, dépose et repose après coup*

Les mesures et contrôles des tensions et intensités électriques avec réglages éventuels du générateur.

- *Le courant mesuré dans chaque section de travail sera au maximum de 1 A/m^2 de la surface en béton. La tension doit être inférieure à 48 V.*

La dépose et le repliement du dispositif après coup.

Le lavage à l'eau douce des parements.

- *Le mode opératoire à préciser*

Les bouchements et raccords au droit des connexions d'armatures.

- *Dimensions, nature et composition des produits à préciser*

Les manutentions des déchets et gravois en attente d'enlèvement.

Dispositions particulières

Conditions climatiques.

- *Température de l'air supérieur à 0°C*

Durée d'application du procédé.

- *De quelques jours à plusieurs semaines (de 2 à 4 semaines)*

Caractéristiques du treillis.

- *Treillis soudé en acier (ou en titane dans des cas particuliers)*
- *Dimension des mailles, diamètre des fils*
- *Distance par rapport à la surface du béton : environ 2 cm*
- Maillage des anodes et cathodes.
- *Environ tous les 6 à 10 m²*
- Nature de l'enduit.
- *Fibres cellulosiques à base de pâte à papier projetée*

Nature de l'électrolyte.

- *Électrolyte à base de :*

Localisation

10.5 - DÉCHLORURATION DU BÉTON

Dispositions générales

Mise en œuvre d'un procédé électro-osmotique, comprenant :

Le traitement préalable de la surface du béton.

Préciser :

- *Suppression des irrégularités, fissures, écailllements, délaminations, sans modifier la conductibilité du béton*
- *Supprimer les risques de courts-circuits entre anodes et cathodes*

La recherche de continuité électrique des armatures du béton avec pontages si nécessaire.

Préciser :

- *L'armature du béton est alors considérée comme étant la cathode (-) du dispositif électrochimique*

La connexion de câbles électriques aux armatures et leur raccordement au générateur.

Préciser :

- *Par vissage ou soudure sur l'acier des armatures*

La fourniture et mise en œuvre d'un treillis métallique posé sur taquets bois de réglage.

Préciser :

- *Ce treillis est alors considéré comme étant l'anode (+) du dispositif électrochimique*

La connexion de câbles électriques au treillis et leur raccordement au générateur.

La projection d'un enduit de cellulose imprégné d'électrolyte.

L'humidification de l'enduit par projection d'électrolyte pendant la durée d'application du procédé.

La mise en œuvre du générateur compris consommations.

- *Installation, location et entretien pendant la durée des travaux, double transport, toutes manutentions, dépose et repose après coup*

La mise en œuvre de la cuve à électrolyte.

- *Dimensions et volumes compris : installation, location et entretien pendant la durée des travaux, double transport, toutes manutentions, dépose et repose après coup*

Les mesures et contrôles des tensions et intensités électriques avec réglages éventuels du générateur.

- *Le courant mesuré dans chaque section de travail sera au maximum de 1 A/m² de la surface en béton. La tension doit être inférieure à 48 V.*

La dépose et le repliement du dispositif après coup.

Le lavage à l'eau douce des parements.

- *Le mode opératoire à préciser*

Les bouchements et raccords au droit des connexions d'armatures.

- *Dimensions, nature et composition des produits à préciser*

Les manutentions des déchets et gravois en attente d'enlèvement.

Dispositions particulières

Conditions climatiques.

- *Température de l'air supérieur à 0°C*

Durée d'application du procédé.

- *De quelques jours à plusieurs semaines (de 3 à 6 semaines)*

Caractéristiques du treillis.

- *Treillis en titane (ou plus rarement en acier si la teneur en chlore est faible)*
- *Dimension des mailles, diamètre des fils*
- *Distance par rapport à la surface du béton : environ 2 cm*

Maillage des anodes et cathodes.

- *Environ tous les 6 à 10 m²*

Nature de l'enduit.

- *Fibres cellulosiques, pâte à papier imprégnée d'un sel adéquat*

Nature de l'électrolyte.

- *Électrolyte à base de :*
 - *lait de chaux ou eau de chaux (CaOH_2)*
 - *eau simple, une fois le processus de migration des ions enclenché*

Localisation

CHAPITRE 11 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES HORIZONTAUX

11.1 - FORMES SUPPORTS DES REVÊTEMENTS DE SOL

Règles de construction - Normes - DTU

Il s'agit essentiellement :

- des ravalements réalisés soit en sable stabilisé à 100 kg de ciment par m³ de sable, soit en mortier maigre de 150 kg de ciment par m³ de mortier, utilisés pour atteindre la cote du niveau souhaité. Ils peuvent recevoir, soit un revêtement de sol scellé, soit une chape destinée à rester apparente. Ces ouvrages sont régis par la norme NF P 61-202-1 référencée DTU 52.1 (Revêtements de sols scellés) et la norme NF P 15-201-1/A1 référencée DTU 26.1 (Chape et dalle à base de liants hydrauliques), des formes constituant les dallages sur terre-plein. Ces ouvrages n'ont pas fait l'objet de DTU mais de règles professionnelles provisoires de l'Union Nationale de la Maçonnerie. Ils comprennent généralement :
 - la forme compactée, en matériaux ni plastique, ni capillaires, chimiquement neutres. On peut donc utiliser tous les matériaux sains qui répondent à cette condition (cailloux, graviers, sables et matériaux tout venant sous certaines réserves).
 - éventuellement, un isolant thermique de compression et de nature adaptée à l'usage, éventuellement sur forme en sable de nivellement entre 2 couches de polyéthylène.
 - le corps de dallage, désolidarisé des murs porteurs en dalle de béton de 8 cm d'épaisseur minimale, dosé de 300 à 350 kg de ciment, avec armatures en treillis soudé, adapté aux charges supportées.
- des formes flottantes sur isolants thermiques ou phoniques, non traitées au présent article (Cf. NF P 201-1/A1 référencée DTU 26.1 et NF P 61-202-1 référencée DTU 52.1), des formes de pente des terrasses non traitées au présent article.

Les dallages doivent comporter :

des joints de fractionnement tous les 4.00/5.00 m, recoupant le dallage en panneaux de 18 m².

des joints de désolidarisation le long des éléments porteurs.

Les joints de fractionnement peuvent être des joints sciés n'intéressant pas l'épaisseur totale de dallage, éventuellement remplis d'un produit souple, étanché, collant parfaitement au béton.

Dispositions générales

Ces clauses ne s'appliquent pas pour les formes de protection d'étanchéité (cf. DTU 43.1) et les formes flottantes sur isolations thermiques ou phoniques (cf. NF P 61-202-1 référencée DTU 52.1).

Formes comprenant, suivant les Dispositions particulières :

- la préparation du sol dans le cas de forme sur terre plein
- la fourniture et mise en place des matériaux constituant les formes
- les dispositifs destinés à éviter la dessiccation
- la fourniture et mise en place des dispositifs d'interdiction d'accès des locaux pendant la durée des travaux et les délais subséquents de protection des travaux
- l'exécution des joints de fractionnement et périphériques aux emplacements définis dans les documents graphiques du marché ou dans les dispositions particulières
- et éventuellement l'enlèvement des terres découlant de la préparation du sol

1. Dispositions particulières relatives au dallage sur terre-plein

Préparation du sol :

Forme

- Nature et épaisseur :

de chaque forme

- Nature et force de l'armature du corps de dallage :

Isolation thermique :

Sous réserve que la forme au-dessus de l'isolant soit conforme aux stipulations de la norme NF P61-202-1 référencée DTU 52.1

Dispositif pour éviter les remontées capillaires :

Joints de fractionnement

- Localisation :
 - _ Mode d'exécution :

Joints de désolidarisation

- Localisation:
 - _ Mode d'exécution :
 - _ Remplissage :

Localisation

2. Dispositions particulières relatives au ravaillage

Matériaux constitutifs

Épaisseur :

Localisation

11.2 - FOURNITURE ET POSE DE CARRELAGE

Ces clauses ne s'appliquent pas pour les carrelages de protection d'étanchéité.

CARRELAGE EN TERRE CUITE

Les clauses qui suivent sont applicables aux carrelages en terre cuite : les clauses relatives aux carrelages en grès cérame sont légèrement différentes et sont données par la norme NF P 61-202-1 référencée DTU 52.1.

Règles de construction - Normes - DTU

NF P 61-202-1 référencée DTU 52.1.

Couche de désolidarisation indispensable sous carrelage en terre cuite

- *film de matière plastique d'environ 150 micromètres d'épaisseur minimale*
- *lit de sable de 1 cm*
- *feutre bitumé type 36.S (normes NF P 84.313 et P.84.315)*

Mortier de pose (de 3 à 6 cm sur désolidarisation)

- *300 à 350 kg de ciment*
- *320 à 400 kg de liant au mortier bâtard*

Largeur et constitution des joints

- *pose à joints larges (2 à 10 mm) ou très larges (supérieurs à 10 mm) seule admise*
- *sable de granulométrie 0,08/1 mm pour les joints larges et 008/3 pour les joints très larges*

- *liants en ciment pur, en mortier de ciment dosé de 800 à 1100 kg de liant par m³ de sable sec pour joints à base de ciment prêt à l'emploi ou en mortier de chaux dosé de 400 à 1000 kg de liant par m³ de sable sec*
- *Joints de fractionnement*
- *les surfaces supérieures à 60 m² sont fractionnées. Les couloirs sont fractionnés par tranches de l'ordre de 8 m de longueur. Les fractionnements sont exécutés dans la totalité de l'épaisseur du mortier de pose et du carrelage. Les joints de fractionnement doivent avoir au moins 5 mm de largeur et être garnis d'un matériau résilient.*
- *Joints périphériques*
- *à défaut d'un relevé en matériau résilient, un vide d'au moins 3 mm doit être réservé entre la dernière rangée de carreaux et les parois verticales des murs et cloisons ainsi qu'autour des poteaux. Ce vide doit exister dans le mortier de pose et la forme. Il peut être supprimé pour les surfaces inférieures à 7 m².*
- *Le vide des joints périphériques est débarrassé de tous dépôts, déchets, mortiers ou plâtres. Il peut être laissé libre ou garni d'un matériau compressible, non pulvérulent, imputrescible dans les conditions normales d'exploitation*

COMPLÉMENTS TECHNIQUES

Dans le cas des monuments historiques, et notamment pour tenir compte des sujétions du parti de restauration, on peut être amené à adopter, par dérogation à la norme (à spécifier au marché) des conditions particulières :

Pour la couche de désolidarisation

L'emploi de film étanche, préconisé par la norme, peut provoquer une augmentation des montées capillaires dans les murs périphériques. Ils peuvent perturber la respiration des supports (bois, maçonnerie), en particulier dans le cas d'ouvrages en étage. On pourra, au contraire, commander l'emploi de sable ou de film perméable de type anti-contaminant (non tissé).

Pour la constitution du mortier de pose

- *mortier maigre dosé à 250/300 kg de liant(s) par m³ de sable sec avec application d'un liant pur par barbotine ou poudrage humidifié*

Pour la largeur et la constitution des joints

- *pose à joints vifs avec coulis de NHL*
- *pose à joints larges (2 à 10mm) avec mortier dosé à 400-1000 kg de liant NHL par m³ de sable sec (granulométrie 0,08/1 mm)*
- *pose à joints très larges (supérieurs à 10 mm) avec mortier dosé à 800/1100 kg de liant NHL par m³ de sable sec (granulométrie 0,08/3 mm)*

Pour la constitution du mortier de jointoiement

Généralement même mortier que le mortier de pose et en NHL pur pour ce qui concerne la pose en joints vifs.

Le dosage des mortiers de pose peut permettre, dans certains cas, une plus grande souplesse dans la localisation des joints de fractionnement. Les joints larges et très larges sont souvent contraires aux vestiges et exemples anciens.

Dispositions générales

Carrelage comprenant :

- le transport des carreaux jusqu'aux lieux d'emploi
- la fourniture de carreaux
- la couche de désolidarisation ou d'isolement

La pose incluant :

- l'établissement du plan de calepinage suivant le plan de principe figurant au marché
- la distribution et la répartition des carreaux
- le tracé et l'établissement des repères
- le mortier de pose

- la pose proprement dite, avec trempage préalable des carreaux
- le coulis des joints
- toutes les coupes recouvertes ou apparentes droites, biaisées ou circulaires
- la façon et le remplissage des joints de fractionnement et périphériques aux emplacements définis dans les documents graphiques du marché ou dans les Dispositions particulières
- le nettoyage, prescrit aux dispositions particulières pour faire disparaître les efflorescences blanches risquant d'apparaître pendant la période de séchage après le durcissement des joints
- la protection provisoire définie aux Dispositions particulières

La fourniture et mise en place des dispositifs d'interdiction d'accès des locaux pendant la durée des travaux et les délais subséquents de protection de ces travaux.

Les manutentions des déchets et leur enlèvement aux décharges.

Dispositions particulières

Fourniture des carreaux :

- provenance
- dimensions
- épaisseur
- couleur
- choix

Couche de désolidarisation :

Mortier de pose :

Calepinage :

Jointoiement :

- largeur
- mortier (liant et dosage)

Joints de fractionnement et périphériques :

Localisation et matériaux de remplissage

Nettoyage :

- Produits à employer :

Ouvrages provisoires de protection :

Par exemple :

- *Chape de plâtre avec papier d'isolation*
- *Film plastique déroulé, les assemblés par bandes adhésives*
- *Panneaux de fibres de bois avec bandes adhésives aux joints*
- *Couche de sciure de bois blanc, etc.*

Localisation

CHAPITRE 12 - DESCRIPTIONS ET LOCALISATIONS DES OUVRAGES DIVERS

12.1 - CALFEUTREMENT DE VITRAUX

Dispositions générales

Calfeutrement de vitraux comprenant :

- le dégarnissage des anciens calfeutremments
- l'exécution du calfeutrement en mortier de chaux et bourre
- les précautions dues à la présence des vitraux
- les manutentions des gravois en attente d'enlèvement

Dispositions particulières

- *Largeur du calfeutrement*
- *Protection antirouille et cordon d'étanchement éventuels*

Localisation

12.2 - ÉVACUATION DES GRAVOIS AUX DÉCHARGES

Dispositions générales

Évacuation des gravois jusqu'aux décharges comprenant :

- les chargements et transports en camions, bennes conteneurs, les autres manutentions incluses dans les ouvrages
- les droits de décharges éventuels
- les nettoyages de voirie réglementaires

Dispositions particulières

Indiquer les lieux de stockage des gravois, emplacements de goulottes, conteneurs ou autres si ces prescriptions ne sont pas données au chapitre 1 du CCTP.

Nomenclature des gravois à évacuer

Tous les gravois découlant des travaux décrits ci-avant, sauf exceptions.

Éventuellement, les matériaux en dépôt sur le chantier en provenance de démolitions antérieures dont le cube est à indiquer dans le bordereau de prix unitaires.

Localisation

12.3 - ÉVACUATION DES GRAVOIS AUX DÉCHARGES AVEC TRI PRÉALABLE

Cet article est à prévoir lorsque les ouvrages à démolir laissent supposer la présence, dans ces ouvrages, d'éléments présentant un intérêt historique ou archéologique

Dispositions générales

Évacuation des gravois jusqu'aux décharges avec tri préalable comprenant :

- le tri des matériaux pour recherche des vestiges présentant un caractère historique ou archéologique suivant les directives de l'architecte
- le stockage et rangement des éléments conservés à l'emplacement défini dans les dispositions particulières
- les chargements et transports en camions, bennes conteneurs, les autres manutentions incluses dans les ouvrages
- les droits de décharges éventuels
- les nettoyages de voirie réglementaires

Dispositions particulières

Indiquer les lieux de stockage des gravois, emplacements de goulottes, conteneurs ou autres si ces prescriptions ne sont pas données au Chapitre 1 du CCTP.

Indiquer en outre les lieux de stockage des matériaux conservés.

Nomenclature des gravois à évacuer

Localisation

CHAPITRE 13 - CONTRÔLES ET TOLÉRANCES DES OUVRAGES FINIS

13.1 - NOTE GÉNÉRALE

- Le laboratoire chargé des contrôles est :
- Les frais de contrôle font l'objet d'articles spécifiques au B.P.U – D.E.

A noter, en matière de contrôles des ouvrages, les clauses prévues à l'article « Contrôle et essais » du CCAP permettant à l'architecte, avec l'accord du maître d'ouvrage, de prescrire certains contrôles complémentaires qui sont mis à la charge :

- *du maître de l'ouvrage si les résultats sont favorables à l'entreprise*
- *de l'entreprise si les résultats ne sont pas favorables à celle-ci, nonobstant toutes les autres mesures qui pourraient apparaître utiles*

13.2 - CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES MOELLONS DE PIERRE

Les modalités des contrôles de la qualité des pierres calcaires pour moellons sont définies dans le Fascicule Technique « Ouvrages en pierres de taille ».

Règles de construction - Normes - DTU

Sans objet.

Les contrôles portent :

- soit sur les mesures d'identification ;
- soit sur la méthode simplifiée de reconnaissance ;
- soit sur les caractéristiques physiques prescrites au CCTP.

La méthode simplifiée de reconnaissance ayant trait au contrôle de la vitesse du son et de la porosité peut être retenue dans le cas de petites carrières ouvertes spécialement pour les travaux, après une première identification (XP B 10,301) et pour les contrôles périodiques de la fourniture dans le cas de chantier d'importance courante.

Dans le cas de gros chantiers ou de chantiers présentant des risques particuliers, le contrôle des caractéristiques physiques ayant trait aux risques peut être prescrit.

Les contrôles portent sur :

cf. article en regard

Les nombres de contrôles prévus sont les suivants :

Préciser le nombre de contrôles (1 contrôle par « x » m³ de moellon fourni) avec au minimum un contrôle par nature de moellon différent.

13.3 - CONTRÔLE DE LA COMPOSITION DES MORTIERS DE POSE ET DE JOINTOIEMENT ET REJOINTOIEMENT

Les contrôles portent sur le respect de la composition des mortiers prescrite au CCTP.

Les nombres de contrôles prévus sont les suivants :

Préciser le nombre de contrôle (un contrôle par « x » m³ de moellon mis en œuvre pour le mortier de pose, et un contrôle pour « x » m² de jointolement et rejointolement) par type de mortier prescrit avec au minimum un contrôle par type d'ouvrage différent.

13.4 - CONTRÔLE DES ENDUITS À BASE DE LIANTS HYDRAULIQUES

Les contrôles portent sur l'adhérence et la perméabilité dans les conditions définies à l'article 12.5 du Fascicule Technique des "Ouvrages de maçonnerie".

Les nombres de contrôles prévus sont les suivants :

Préciser un contrôle par « x » m² d'enduit (par type d'enduit prescrit) avec au minimum un contrôle par type d'enduit.

13.5 - CONTRÔLE DES ENDUITS À BASE DE LIANTS AÉRIENS ET LIANTS AÉRIENS ET PLÂTRE

Règles de construction - Normes - DTU

NF P 15-201-1/A1 et NF P 15-201-2/A1 référencée DTU 26-1

Il est rappelé que pour les enduits à base de liants aériens et à base de liants aériens et plâtre, il n'existe, dans l'état actuel des connaissances, aucune valeur de caractéristiques physiques réglementaires. Lorsque de tels enduits sont prévus dans les projets, il convient d'apporter un soin particulier dans leur définition prescriptive (et notamment leur composition et dosage) dans le CCTP.

Les contrôles portent sur le respect de la composition des mortiers prescrits au CCTP.

Les nombres de contrôles prévus sont les suivants :

Préciser un contrôle par « x » m² d'enduit (par type d'enduit prescrit) avec au minimum un contrôle par type d'enduit.

13.6 - CONTRÔLE DE LA CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES

Les contrôles portent sur l'efficacité des injections, dans les conditions définies à l'article 14.6 du Fascicule Technique des « Ouvrages de maçonnerie ».

Type de contrôle :

Par carottage ou contrôle de la mesure de la vitesse du son

Les nombres de contrôles prévus sont les suivants :

Un carottage par « x » m² de maçonnerie confortée ou un contrôle de la mesure de la vitesse du son par « x » m³ de maçonnerie confortée

13.7 - TOLÉRANCES DES OUVRAGES FINIS

Cet article n'est à créer que si la nature des travaux l'impose. Il convient, dans ce cas, soit de faire référence aux tolérances fixées par les normes P.10-202-1 référencée DTU 20.1 et NF P 61-202-1 référencée DTU52.1 appelées ci-contre, soit de fixer d'autres tolérances.

Règles de construction - Normes - DTU

DTU 20.1 (article 5.21)

		Planéité	Surplomb
<i>Moellons équarris</i>	<i>Taille smillée</i>	<i>0,015 m pour 10 m</i>	<i>0,01 m pour une hauteur d'étage</i>
	<i>Taille pointée</i>	<i>0,01 m pour 10 m</i>	<i>0,01 m pour une hauteur d'étage</i>
	<i>Taille éclatée</i>	<i>0,03 m pour 10 m</i>	
<i>Moellons bruts</i>		<i>0,05 m pour 10 m</i>	

NF P 61-202-1(article 6.8) référencée DTU 52.1

		Planéité	Alignement
<i>Tous types de carreaux</i>		<i>≤ 3 mm sous une règle de 2.00m</i>	<i>≤ 2 mm des joints</i>

CHAPITRE 14 - DÉROGATION AUX DOCUMENTS GÉNÉRAUX

Les dérogations apportées aux documents généraux et normes françaises homologuées sont explicitées dans les articles désignés ci-après du CCTP.

CCTG (dérogation à l'article du résultant de l'article du présent CCTP).

Les dérogations apportées par le CCTP au CCTG peuvent porter :

- *sur les caractéristiques des pierres calcaires, en dérogation au projet de norme NF B 10-601 (voir page 11 du CCTP Ouvrages en pierre de taille)*
- *sur les liants et dosages des mortiers de pose des moellons, en dérogation à l'article 4.212 (calcaire) et 4.222 (grès granit) de la norme P.10-202-1 référencée DTU 20.1*
- *sur les liants, dosages et finitions du jointoiement après coup et rejointoiement des moellons (en calcaire, grès, granit) en dérogation à l'article 3.222.3 de la norme P 10-202-1 référencée DTU 20.1*
- *la couche de désolidarisation des carrelages en terre cuite (article 4.3 de la norme NF P 61-202-1 référencée DTU 52.1)*
- *sur les liants et dosages des mortiers de pose des carrelages en terre cuite, en dérogation à l'article 5.4.1 et 5.4.2 de la norme NF P 61-202-1 référencée DTU 52.1*
- *sur la largeur des joints et constitution des mortiers de jointoiement des carrelages en terre cuite, en dérogation aux articles 5.6.1 et 6.2.2 de la norme NF P 61-202-1 référencée DTU 52.1*
- *sur les joints de fractionnement et périphériques, en dérogation aux articles 5.7.3 et 5.7.4 de la norme NF P 61-202-1 référencée DTU 52.1*
- *sur la composition des mortiers constitutifs des enduits, en dérogation à la norme NF P 15-201-1/A1 (chapitre IV du DTU 26.1)*
- *sur les tolérances de planimétrie et d'aplomb des enduits, en dérogation à la norme NF P 15-201-1/ A1 (chapitre VII du DTU 26.1)*
- *sur les tolérances de finition des ouvrages en moellons, en dérogation aux articles 5.21 de la norme P 10-202-1 référencée DTU 20.1 (façade en pierres calcaires) et 5.22 (façade en granit et en grès)*
- *sur les tolérances de finition des ouvrages de revêtements horizontaux, en dérogation à l'article 6.8 de la norme NF P 61-202-1 DTU 52.1 (carrelage)*

CHAPITRE 15 - ANNEXES

RECOMMANDATIONS POUR L'ÉTABLISSEMENT DU MARCHÉ

15.1 - CLAUSES SPÉCIFIQUES AUX OUVRAGES EN GRÈS

Stockage des grès avant la pose :

De l'avis de certains praticiens de la restauration des monuments historiques, le stockage des grès durant un hiver avant la pose serait souhaitable. Si l'architecte juge cette prescription utile, il convient de l'indiquer au CCTP en gardant à l'esprit :

- que les avantages de cette prescription ne sont pas, à ce jour, scientifiquement démontrés
- que son contrôle en est difficile
- que cette prescription entraîne une majoration des prix de fourniture

Taille de pierre :

Il convient de préciser dans les dispositions générales que les tailles de grès dont la date de l'extraction est inférieure à 3 mois sont proscrites.

Cette prescription découle du fait, qu'avant ce délai, les arêtes sont très fragiles (risques d'épaufrures) et que la couleur n'est pas la couleur finale (risque d'entraîner le refus lors de la réception des blocs)

15.2 - BORDEREAU DE TRAITEMENT

(ne remplir qu'un bordereau par opération de traitement et par produit appliqué)

B O R D E R E A U D E T R A I T E M E N T

N° de bordereau :

MONUMENT

Ville, département, région :

Édifice :

Nature du support :

N° de zone :

ENTREPRISE

Responsable / Applicateur :

Adresse :

Téléphone :

Télécopie :

DATE DU TRAITEMENT (jj/mm/aaaa)

Matin ☐

Midi ☐

DONNÉES CLIMATIQUES

Ciel bleu ☐

Ensoleillé ☐

Nuageux ☐

Ombragé ☐

Pluie ☐

Autre (préciser) :

Température de l'air (°C) :

Humidité relative de l'air (%) :

Température du support (°C) :

CARACTÉRISATION DE LA ZONE TRAITÉE

Clichés photographiques avant / après traitement ☐ Oui ☐ Non

Fourniture d'un croquis des zones traitées ☐ Oui ☐ Non

Surface traitée (m²) :

Orientation de la zone traitée Nord ☐ Est ☐ Ouest ☐ Sud ☐

État du support Sain ☐ Altéré ☐ Sec ☐ Humide ☐

Préparation du support Nettoyage ☐ Dessalement ☐ Dépoussiérage ☐

Autre (préciser) :

PRODUIT APPLIQUÉ

Dénomination :

Fonction principale Préventif ☐ Antigraffiti ☐ Autres ☐ Préciser

Fourniture de la fiche technique Oui ☐ Non ☐ Curatif ☐

Fourniture de la fiche sécurité Oui ☐ Non ☐

Dilution / concentration (%) :

Consommation totale (l/m²) Mode d'application (pinceau, ...) :

Nombre de couches :

Délai entre couches :

OBSERVATION ET SUIVI

Y a-t-il eu une évaluation de l'efficacité du traitement après application ? ☐ Oui ☐ Non

Si oui, référence du rapport :

Divers (préciser) :

Certifié exact, le (date)

signature et cachet de l'entreprise

15.3 - BORDEREAU DE NETTOYAGE**B O R D E R E A U D E N E T T O Y A G E**

N° de bordereau :

MONUMENT

Ville, département, région :

Édifice :

Nature du support :

N° de zone :

ENTREPRISE

Responsable :

Adresse :

Téléphone :

Télécopie :

DATE DU TRAITEMENT (jj/mm/aaaa)Matin ☐Midi ☐**DONNÉES CLIMATIQUES**Ciel bleu ☐Ensoleillé ☐Nuageux ☐Ombragé ☐Pluie ☐

Autre (préciser) :

Température de l'air (°C) :

Humidité relative de l'air (%) :

Température du support (°C) :

CARACTÉRISATION DE LA ZONE TRAITÉE

Clichés photographiques avant / après traitement

Oui ☐Non ☐

Fourniture d'un croquis des zones traitées

Oui ☐Non ☐

Surface traitée (m²) :

Orientation de la zone traitée

Nord ☐Est ☐Ouest ☐Sud ☐

État du support

Sain ☐Altéré ☐Sec ☐Humide ☐

Préparation du support :

Autre (préciser) :

OBSERVATION ET SUIVI

Y a-t-il eu une évaluation de l'efficacité du traitement après application ?

Oui ☐Non ☐

Si oui, référence du rapport :

Divers (préciser) :

Certifié exact, le (date)

signature et cachet de l'entreprise

LIVRE III - MODE DE MÉTRÉ

CHAPITRE 1 - CLAUSES COMMUNES PROPRES AU CHANTIER

1.1 - INSTALLATIONS COMMUNES DE CHANTIER

À prix forfaitaire par prestation d'ouvrage, en faisant apparaître les valeurs de chaque prestation dans le cadre du Bordereau de Prix Unitaire - Détail Estimatif (BPU-DE) ou de la Décomposition du Prix Global et Forfaitaire (DPGF).

CHAPITRE 2 - CLAUSES GÉNÉRALES PROPRES AU PRÉSENT LOT

2.1 - ÉCHAFAUDAGES

À prix forfaitaire par prestation d'ouvrage, en faisant apparaître les valeurs de chaque prestation dans le cadre du Bordereau de Prix Unitaire - Détail Estimatif (BPU-DE) ou de la Décomposition du Prix Global et Forfaitaire (DPGF).

CHAPITRE 3 - OUVRAGES DE TERRASSEMENT

Les prix portés sur les BPU sont des moyennes applicables aux natures de sol correspondant aux définitions indiquées.

Aucune modification de ces prix ne pourra intervenir en raison de parties offrant de plus grande difficultés au cours de la fouille, telles que présence de racine d'arbres.

Toutes les sujétions concernant l'emploi des matériels nécessaires sont comprises dans les prix des travaux.

Tous les prix et évaluation des bordereaux de terrassements s'appliquent à ces volumes dont les mesures sont prises au vide de la fouille.

Ils tiennent compte de l'augmentation de volume due au foisonnement.

3.1 - ÉTAIEMENTS - ÉTRÉSILLONNEMENTS - BLINDAGES

- Étalement avec blindage (bois ou métallique)
 - _ Au mètre carré de surface protégée
- Étalement sans blindage
 - _ Au mètre cube de bois mis en œuvre
 - _ Au Kg (ou à la tonne) d'éléments métalliques mis en œuvre
- Étais tubulaires réglables (isolés ou en batterie)
 - _ A l'unité

3.2 - MESURES DE SAUVEGARDE

- Au forfait, par types de mesures.

3.3 - OBJETS TROUVÉS DANS LES FOUILLES

- Au forfait, par types d'objets.

3.4 - DÉMOLITIONS D'OUVRAGES DANS LES FOUILLES

- Par type d'ouvrages à démolir, suivant mode de mètre des "démolitions" du chapitre 4 du CCTP.

Les étalements ne sont inclus dans la valeur de démolition que s'ils ne font pas l'objet d'articles spécifiques au CCTP du présent lot ou d'un autre lot.

Les volumes de ces maçonneries seront déduits du cube des terres de la fouille.

Les valeurs de démolitions ci-avant incluent les manutentions des gravois en attente d'enlèvement.

Pour la manutention de ces gravois, la classification ci-après sera adoptée :

- a. ouvrages en plâtras et plâtre ou analogue, Catégorie B

- b. briques, moellons, meulières, débris de pierres, Catégorie D

3.5 - FOUILLES PAR ENGINS MÉCANIQUES

- Au forfait, pour mise à disposition de l'engin mécanique avec conducteur.

La valeur des fouilles sera reprise par ailleurs.

3.6 - FOUILLES DE PUITS

- Au mètre cube.

3.7 - FOUILLES À POTENTIEL ARCHÉOLOGIQUE

- Au mètre cube de fouille.
- Au mètre cube pour le criblage des déblais à reprendre en sus.
- Au forfait, pour les arrêts cumulés suivant nature des modalités fixées au CCTP.

3.8 - RETROUSSAGE DE SOL EXISTANT

- Au mètre superficiel.

3.9 - FOUILLES EN RIGOLES

- Au mètre cube.

3.10 - FOUILLES EN TRANCHÉES

- Au mètre cube.

3.11 - PUITS

- Au mètre cube.

3.12 - EXCAVATIONS SUPERFICIELLES

- Au mètre superficiel.

3.13 - VIDAGES ENTRE MAÇONNERIES

- Au mètre cube.

3.14 - REMBLAIS

- Au mètre cube.

3.15 - ÉBOULIS

- Au mètre cube.

3.16 - FOUILLES EN PRÉSENCE D'EAU

À préciser suivant les moyens mis en œuvre.

- Au forfait
- Au m²
- Au m³ d'eau pompée, etc.

3.17 - POMPAGE - ÉPUISEMENTS

- Au forfait

3.18 - ÉVACUATION DES EAUX

- Au forfait

3.19 - ÉVACUATION DES VASES

- Au forfait

3.20 - ÉVACUATION DES DÉBLAIS - TERRES - GRAVOIS AUX DÉCHARGES

Pour les déblais, terres et gravois provenant du chantier :

- Au mètre cube, calculé à partir des dimensions géométriques des ouvrages démolis, sans aucune majoration pour foisonnement ou autres

Pour les déblais, terres et gravois stockés sur le chantier provenant de travaux antérieurs :

- Au mètre cube emmétré

Nota : Les dispositions générales du CCTP précisent les ouvrages dont les prix unitaires incluent la valeur d'enlèvement aux décharges. Sauf dérogation, tous les prix unitaires d'ouvrages incluent les manutentions depuis les lieux de production jusqu'aux engins de transport (conteneurs, camions, etc.).

3.21 - REMISE EN ÉTAT DES TERRAINS

- Au forfait, mètre carré ou mètre cube suivant prestations à exécuter.

CHAPITRE 4 - OUVRAGES DE DÉMOLITIONS ET DÉPOSES

4.1 - DÉMOLITION D'OUVRAGES IMPORTANTS

- Au forfait, par ouvrage à démolir

Les étalements ne sont inclus dans la valeur forfaitaire de démolition que, s'ils ne font pas l'objet d'articles spécifiques au CCTP du présent lot ou d'un autre lot.

4.2 - DÉMOLITION DE MAÇONNERIES POUR DÉRASEMENT

- Au mètre cube démolé, par types d'ouvrages.

4.3 - DÉMOLITION DE MAÇONNERIES POUR REPRISE

- Au mètre cube démolé, par types d'ouvrages.

Les cubes de démolitions pour harpages éventuels et les tranchées nécessaires à la démolition, selon prescriptions du CCTP, sont à inclure dans le cube de démolition pour reprise.

Les étalements ne sont inclus dans la valeur forfaitaire de démolition que s'ils ne font pas l'objet d'articles spécifiques au CCTP du présent lot ou d'un autre lot.

4.4 - DÉMOLITION DE MAÇONNERIES POUR DÉBOUCHEMENT DE BAIES

- Au mètre cube démolé, par types d'ouvrages.

Les démolitions pour harpages éventuels, selon prescriptions du CCTP, sont à inclure dans le cube de démolition pour débouchement de baies.

4.5 - DÉMOLITION DE MAÇONNERIES POUR PERCEMENT

- Au mètre cube démolé, par types d'ouvrages.

Les démolitions pour harpages éventuels et tranchées nécessaires à la démolition, selon prescriptions du CCTP sont à inclure dans le cube de démolition pour percement.

Les étalements ne sont inclus dans la valeur forfaitaire de démolition que s'ils ne font pas l'objet d'articles spécifiques au CCTP du présent lot ou d'un autre lot.

4.6 - DÉMOLITION DE MAÇONNERIE POUR TRANCHÉES ET ENTAILLES

- Au mètre cube démolé, pour les ouvrages dont les dimensions à l'équerre (largeur + profondeur) sont supérieures à 0,60 ml.

En dessous de cette dimension, les tranchées et entailles sont comptées au titre des petits ouvrages.

Les étalements ne sont inclus dans la valeur forfaitaire de démolition que s'ils ne font pas l'objet d'articles spécifiques au CCTP du présent lot ou d'un autre lot.

4.7 - RECOUPEMENT OU ABATTAGE DE SAILLIE

- Au mètre cube.

4.8 - FOURNITURE ET MISE EN PLACE D'ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES DANS LES MAÇONNERIES EXISTANTES

- À l'unité d'ouvrage, comprenant toutes les prestations incluses dans le CCTP.

Les étalements ne sont inclus dans la valeur forfaitaire de démolition que s'ils ne font pas l'objet d'article spécifiques au CCTP du présent lot ou d'un autre lot.

4.9 - FOURNITURE ET MISE EN PLACE D'ÉLÉMENTS BOIS DANS LES MAÇONNERIES EXISTANTES

- À l'unité d'ouvrage, comprenant toutes les prestations incluses dans le CCTP.

Les étalements ne sont inclus dans la valeur forfaitaire de démolition que s'ils ne font pas l'objet d'articles spécifiques au CCTP du présent lot ou d'un autre lot.

4.10 - PETITS OUVRAGES

Tels qu'entailles, tranchées, raccords, saignées, trous, scellements, descellements, bouchements.

La valeur de ces ouvrages est l'addition des produits des évaluations indiquées ci-dessous par les unités de base de ces ouvrages, comprenant le petit outillage et la fourniture du mortier nécessaires aux ouvrages.

Il est prévu 3 prix de base portés au bordereau de prix unitaires - détail estimatif :

- un prix de base pour les façons telles qu'entailles, tranchées, trous exécutés au moyen d'outils manuels (masse, poinçon, etc.).
- un prix de base pour les façons telles qu'entailles, tranchées, trous exécutés au moyen d'outils pneumatiques ou électriques.
- un prix de base pour les scellements, descellements, bouchements, raccords.

Les évaluations ci-après incluent les manutentions des gravois en attente d'enlèvement.

Classification des matériaux suivant duretés

Sont considérés comme :

TENDRES ; Plâtres, plâtras, agglomérés d'agréats ou de matériaux tendres, béton cellulaire, pisé, torchis, briques creuses, agglomérés creux (vides non déduits), moellons de pierre de masse volumique inférieure à 1800 kgs/m^3

DURS ; Meulière, schiste, briques pleines, agglomérés de béton pleins, béton de chaux, béton de mâchefer au mortier de ciment, moellons de pierre de masse volumique comprise entre 1800 kgs/m^3 et 2500 kgs/m^3 , moellons en grès

TRES DURS ; Bétons de cailloux, de gravillon, caillasse, moellons de pierre de masse volumique supérieure à 2500 kgs/m^3 , moellons en granit

Les entailles, tranchées et trous effectués dans la pierre de taille (calcaire, grès ou granit) sont évalués en taille de pierre selon les indications du mode de mètre des ouvrages pierre de taille. Le scellement (en plâtre ou en ciment) est néanmoins payé aux conditions du présent article.

Tout ouvrage exécuté en plafond, voûtes, voussures donne lieu à une majoration de 50 %.

Les évaluations relatives aux tranchées, entailles et trous qui suivent s'entendent pour des façons exécutées en matériaux tendres.

Dans le cas où ces façons seraient exécutées dans des matériaux durs, les évaluations qui suivent seront doublées.

Dans le cas où ces façons seraient exécutées dans des matériaux très durs, les évaluations qui suivent seront triplées.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES						
OUVRAGES	ENTAILLES - TRANCHÉES	SCELLEMENT SANS RACCORDEMENT	DESCELLEMENT		BOUCHEMENT SIMPLE SANS RACCORD	RACCORD UNI
	exécutées dans un matériau tendre	(plâtre chaud ou ciment)	dans plâtre ou liants aériens	dans liants hydrauliques	(plâtre chaud ou ciment)	(plâtre chaud ou ciment)
ENTAILLES (2 FACES) JUSQU'À 0,60 ML À L'ÉQUERRE le mètre (Équerre = largeur + profondeur) Par tranches de 0,10 m indivisibles - de 0,01 m à 0,10 m à l'équerre - de 0,01 m à 0,30 m à l'équerre - de 0,01 m à 0,60 m à l'équerre						
	0,20	0,12	0,08	0,20	0,08	-
	0,15	0,09	0,06	0,15	0,05	-
	0,12	0,075	0,05	0,12	0,05	-
TRANCHEES (3 FACES) JUSQU'À 0,60 M À L'ÉQUERRE le mètre (Équerre = largeur + profondeur) Par tranches de 0,10 m indivisibles - de 0,01 m à 0,10 m à l'équerre - de 0,01 m à 0,30 m à l'équerre - de 0,01 m à 0,60 m à l'équerre						
	0,30	0,18	} dito descellement et bouchement simples d'entailles			
	0,225	0,135				
	0,18	0,11				

DÉSIGNATION DES OUVRAGES

OUVRAGES	ENTAILLES - TRANCHÉES	SCELLEMENT SANS RACCORDEMENT	DESCELLEMENT		BOUCHEMENT SIMPLE SANS RACCORD	RACCORD UNI
	exécutées dans un matériau tendre	(plâtre chaux ou ciment)	dans plâtre ou liants aériens	dans liants hydrauliques	(plâtre chaux ou ciment)	(plâtre chaux ou ciment)

RACCORDS JUSQU'À 0,60 ML À L'ÉQUERRE pour entailles et tranchées - le mètre et par face ; quelle que soit la largeur ! - majoration pour arête au ml						0,13 0,05
--	--	--	--	--	--	------------------

SAIGNEE POUR LE LIAISONNEMENT DE CLOISON OU AUTRES - dans enduit plâtre ou liants aériens - dans enduits liants hydrauliques	0,10 0,20					
---	------------------	--	--	--	--	--

- Longueur : au mètre linéaire sans longueur minimum

- Au-delà de 0,60 ml à l'équerre, les entailles, tranchées, descellements, sont comptés au mètre cube comme démolition pour entailles et tranchées.

- Au-delà de 0,60 ml à l'équerre, les scellements, bouchements et raccords sont comptés au mètre cube comme maçonnerie en reprise, suivant la nature du matériau employé et sans qu'il soit fait déduction de l'emplacement occupé par les pièces scellées.

Les entailles et tranchées nécessitées par les démolitions à l'exclusion de celles nécessaires à l'encastrement des éléments bois ou métalliques dans les maçonneries, ne sont pas à reprendre au titre de cet article et sont incluses dans le volume des ouvrages démolis et comptés au prix du mètre cube de démolition de l'ouvrage.

TROUS, SCELLEMENTS, DESCHELEMENTS, BOUCHEMENTS, RACCORDS

DIMENSIONS		TROUS	SCELLEMENT	DESCELLEMENT		BOUCHEMENT T SIMPLE	RACCORD UNI
Dimensions à l'équerre	Diamètres	Tendres	sans raccord (plâtre chaud ou ciment)	dans plâtre ou liants	dans ciment	sans raccord (plâtre chaud ou ciment)	plâtre chaud ou ciment)
Jusqu'à 0,20 m	Jusqu'à 0,10 m	Au ml 1,95	Au ml 0,75	Au ml 0,50	Au ml 1,10	Au ml 0,50	Au ml 0,06

TROUS, SCELLEMENTS, DESCELLEMENTS, BOUCHEMENTS, RACCORDS							
0,21 à 0,40 m	0,11 à 0,20 m	3,15	1,20	0,75	1,65	0,75	0,14
0,41 à 0,60 m	0,21 à 0,30 m	5,85	1,65	1,05	2,30	1,05	0,19

- Longueur au mètre linéaire sans longueur minimum,
- Au-delà de 0,60 ml à l'équerre ou 0,30 ml de diamètre, les trous et descellements sont comptés au mètre cube comme démolition pour reprise,
- Au-delà de 0,60 ml à l'équerre ou 0,30 ml de diamètre, les scellements et bouchements sont comptés au mètre cube comme maçonnerie en reprise suivant la nature du matériau employé et sans qu'il soit fait déduction de l'emplacement occupé par les pièces scellées,
- Au-delà de 0,60 ml à l'équerre ou 0,30 ml de diamètre, les raccords sont comptés au mètre superficiel comme enduit.

4.11 - DÉPOSE D'OUVRAGES

- Avec ou sans conservation : à l'unité d'ouvrage, au kilogramme, au mètre linéaire, ou au mètre superficiel suivant la nature de l'ouvrage déposé, incluant tous les descellements, décalfeutrements et enlèvements nécessaires ou à forfait.

Les déposes sans conservation d'ouvrages intégrés dans les ouvrages démolis et effectués en même temps que les démolitions ne sont jamais décomptées au titre des déposes, leur cube étant ajouté au cube des démolitions.

4.12 - DÉMOLITION D'OUVRAGES MAÇONNÉS HORIZONTAUX

- Au mètre superficiel.

4.13 - DÉMOLITION DE CARRELAGE EN CONSERVATION DES SUPPORTS

- Au mètre superficiel.

Ce prix de démolition de carrelage n'est retenu que dans le cas où le support du revêtement est conservé. Dans le cas contraire, la démolition du carrelage est réglée au prix de la démolition d'ouvrages maçonnés horizontaux.

4.14 - DÉPOSE DE CARRELAGE EN CONSERVATION

- Au mètre superficiel.

4.15 - RÉCUPÉRATION DE MATÉRIAUX

- Au mètre cube réel de matériaux récupérés, réutilisés ou mis en dépôt. Ce cube doit être reconnu par attachement.

La récupération de carreaux de revêtement de sol est incluse dans le prix de dépose en conservation.

CHAPITRE 5 - OUVRAGES D'ASSÈCHEMENT - DRAINAGE DES MAÇONNERIES

5.1 - TECHNIQUES POUR LUTTER CONTRE L'HUMIDITÉ ASCENSIONNELLE EN PROVENANCE DU SOL

Au niveau des maçonneries

Par types d'ouvrages :

- à l'unité
- au mètre linéaire
- au mètre superficiel

Dans les dallages

Par types d'ouvrages :

- à l'unité
- au mètre superficiel

5.2 - TECHNIQUES POUR LUTTER CONTRE LES INFILTRATIONS D'EAU DE PLUIE

Par types d'ouvrages :

- voir chapitre 7 du présent document : Enduits.
- voir chapitre 9 du présent document : Confortation interne des maçonneries par injection de coulis.
- voir chapitre 10 du présent document : Réparations d'ouvrages en béton armé.

5.3 - TECHNIQUES POUR LUTTER CONTRE LES CONDENSATIONS

Par types d'ouvrages :

- à l'unité
- au mètre linéaire
- au mètre superficiel

5.4 - TECHNIQUES POUR SOLUTIONNER LES PROBLÈMES LIÉS À LA PRÉSENCE DE SELS

Par types d'ouvrages :

- à l'unité

- au mètre linéaire développé
- au mètre superficiel réel
- au mètre cube en œuvre

CHAPITRE 6 - OUVRAGES EN MOELLONS

6.1 - MAÇONNERIE EN MOELLONS

Fourniture et pose :

- _ au mètre cube mis en œuvre.

Façon d'appareil, parement, jointoiement après coup et patine :

- _ au mètre superficiel développé réel des faces vues.

6.2 - REJOINTOIEMENT SUR MOELLONS EN ŒUVRE

- Au mètre superficiel, pour la profondeur de regarnissage indiquée dans le CCTP.

6.3 - ROCAILLAGE

Fourniture et pose :

- _ au mètre superficiel de la surface en plan.

Façon d'appareil, parement, jointoiement et patine :

- _ au mètre superficiel développé réel des faces vues.

6.4 - RELANCIS DE MOELLONS

Jusqu'à 4 moellons contigus :

- _ fourniture et pose compris refouillement : à l'unité de moellon.

Au-delà de 4 moellons contigus :

- _ fourniture et pose compris refouillement : au mètre cube en œuvre.

CHAPITRE 7 - ENDUITS

7.1 - PIOCHEMENT D'ANCIEN ENDUIT

Au mètre superficiel réel calculé entre moulures majorées de la surface des moulures comptée comme suit :

- _ la surface des moulures est le produit des linéaires calculés entre axes par leur développé réel.
- _ les piochements pour raccord de moins de 0,50 m à l'équerre sont comptés à l'unité.

7.2 - PRÉPARATION DU SUPPORT NON ENDUIT POUR RECEVOIR UN ENDUIT

- Même mode de mètre que le piochement d'ancien enduit.

7.3 - RESTAURATION DES ENDUITS

Sur parties unies, planes ou circulaires, à simple ou double courbure.

- Au mètre superficiel réel, entre moulures éventuelles.

Le prix de base inclut le regarnissage des joints à la profondeur indiquée au CCTP.

Les raccords d'enduit de moins 0,50 m à l'équerre sont comptés à l'unité.

Moulures exécutées par tous moyens jugés propres par l'entreprise

Au mètre superficiel développé, égal au produit du développé de la moulure par la longueur théorique calculée comme suit :

longueur calculée dans l'axe majorée de :

- _ 0,20 ml pour angle saillant ou rentrant
- _ 0,35 ml pour angle formé par la rencontre d'une partie droite et d'une partie courbe
- _ 0,45 ml pour la rencontre de 2 parties courbes

Les raccords de moulure de moins de 0,20 m longueur sont comptés pour 0,20 m minimum.

Les amortissements, jouées unies avec arêtes profilées et les coupes au riflard ne font pas l'objet de majoration.

Les linéaires des parties courbes en plan ou en élévation sont majorés de 33%.

Les linéaires des parties courbes à la fois en plan et en élévation sont majorées de 66%.

Les majorations pour parties courbes ne s'appliquent pas aux majorations pour angles.

Le prix unitaire des moulures en plafond, porté au prix de bordereau ne s'applique que sur les moulures détachées dont le profil est entièrement exécuté en plafond, excluant ainsi les moulures exécutées à la rencontre d'un mur et d'un plafond.

7.4 - ENDUITS DES ZONES LACUNAIRES

- Même mode de métré que la "Restauration des enduits" ci-avant.

7.5 - ENDUIT AU MORTIER

- Même mode de métré que la "Restauration des enduits" ci-avant.

7.6 - ENDUIT AU MORTIER DE PLÂTRE ET CHAUX AÉRIENNE

- Même mode de métré que la "Restauration des enduits" ci-avant.

7.7 - ARMATURE D'ENDUIT

- Au mètre superficiel d'armature mise en œuvre

Les armatures dans les raccords de moins de 0,50 m à l'équerre sont comptées dans le prix du raccord à l'unité.

CHAPITRE 8 - LAIT DE CHAUX - BADIGEON

8.1 - DÉBADIGEONNAGE COURANT

- Au mètre superficiel, les moulures développées à la longueur réelle.

8.2 - DÉBADIGEONNAGE SUR ANCIENS DÉCORS

- Au mètre superficiel, les moulures développées à la longueur réelle.

8.3 - BADIGEON AU LAIT DE CHAUX

- Au mètre superficiel, les moulures développées à la longueur réelle.

CHAPITRE 9 - OUVRAGES DE CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES PAR INJECTION DE COULIS

9.1 - ÉTUDE DE LA MAÇONNERIE

- Au forfait, par type d'étude.

9.2 - ÉTUDE DU OU DES COULIS EN LABORATOIRE

- Au forfait, par type d'étude.

9.3 - ÉPREUVE DE CONVENANCE SUR CHANTIER

Confortation interne des maçonneries par injections compris toutes prestations prescrites au CCTP (trous de forage, amenée, installation, location et repli du matériel d'injection, fourniture des éléments constitutifs du mortier, façon du mortier, injection proprement dite, protection des ouvrages, nettoyage comme prescrits).

- Au forfait, si les conditions de l'épreuve le permettent.

Ou par types d'ouvrages :

- au kg (ou à la tonne) des matériaux constituant les coulis
- au mètre superficiel réel ou au mètre cube en œuvre des maçonneries injectées
- à l'unité, par le nombre d'injecteurs
- autres.

La réfection des parements avant injection (jointoiment, relancis, reprise de maçonnerie) est reprise pour sa valeur propre.

9.4 - VÉRIFICATION DU PAREMENT ET DES MAÇONNERIES AVANT INJECTION

Voir mode de mètre des ouvrages spécifiques traités par ailleurs.

- Étanchéité des joints (jointoiment - rejointoiment).
- Maçonneries recouvertes d'enduit.
- Étanchéité des parties enterrées.

9.5 - CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES PAR INJECTION DE COULIS

Confortation interne des maçonneries par injections compris toutes prestations prescrites au CCTP (trous de forage, amenée, installation, location et repli du matériel d'injection, fourniture des éléments constitutifs du mortier, façon du mortier, injection proprement dite, protection des ouvrages, nettoyage comme prescrits).

- Au kg (ou à la tonne) des matériaux constituant les coulis
- Au mètre superficiel réel ou au mètre cube en œuvre des maçonneries injectées
- À l'unité, par le nombre d'injecteurs
- Autres.

La réfection des parements avant injection (jointoiement, relancis, reprise de maçonnerie) est reprise pour sa valeur propre.

CHAPITRE 10 - OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ

10.1 - ÉLIMINATION DES BÉTONS DÉGRADÉS

- Au mètre superficiel

ou

- Au mètre cube en œuvre, en précisant l'épaisseur du béton à éliminer.

10.2 - PRÉPARATION DES ARMATURES

- Au mètre linéaire développé

ou

- Au mètre superficiel de béton dégradé.

10.3 - NETTOYAGE DES SURFACES

- Au mètre superficiel réel.

10.4 - RAGRÉAGE

- Au mètre superficiel réel.

10.5 - TRAITEMENT DES FISSURES DE STRUCTURES

- Au mètre linéaire développé.

10.6 - RÉALCALINISATION DU BÉTON

Comprenant toutes les prestations prévues au CCTP (mise en œuvre et installation du procédé, traitement, location et replis du procédé, lavage à l'eau comme prescrit).

- Au mètre superficiel réel.

10.7 - DÉCHLORURATION DU BÉTON

Comprenant toutes les prestations prévues au CCTP (mise en œuvre et installation du procédé, traitement, location et replis du procédé, lavage à l'eau comme prescrit).

- Au mètre superficiel réel.

CHAPITRE 11 - OUVRAGES HORIZONTAUX

11.1 - FORMES SUPPORTS DE REVÊTEMENT DE SOL

- Au mètre superficiel réel.

11.2 - FOURNITURE ET POSE DE CARRELAGE

- Au mètre superficiel réel.

CHAPITRE 12 - OUVRAGES DIVERS

12.1 - CALFEUTREMENT DE VITRAUX

- Au mètre linéaire réellement exécuté.

12.2 - ÉVACUATION DES GRAVOIS AUX DÉCHARGES

Pour les gravois provenant des démolitions du chantier :

- au mètre cube, calculé à partir des dimensions géométriques des ouvrages démolis, sans aucune majoration pour foisonnement ou autres.

Pour les gravois stockés sur le chantier provenant des démolitions antérieures :

- au mètre cube emmétré.

Nota : Les dispositions générales du CCTP précisent les ouvrages dont les prix unitaires incluent la valeur d'enlèvement des gravois aux décharges. Sauf dérogation, tous les prix unitaires d'ouvrages incluent les manutentions des gravois depuis les lieux de production jusqu'aux engins de transport (conteneurs, camions, etc.).

12.3 - DÉPENSE CONTRÔLÉE

- À l'heure, pour chaque classification de personnel.

CHAPITRE 13 - CONTRÔLES ET TOLÉRANCES DES OUVRAGES FINIS

Au forfait, par type de contrôle prescrit au CCTP.

**LIVRE IV - BORDEREAU DE PRIX
UNITAIRE - DÉTAIL ESTIMATIF**

NOTE LIMINAIRE

Principe d'établissement des prix

D'une manière générale, tout marché à prix comprend (cf. art. 3.11 du CCAG) :

- un Bordereau de Prix Unitaires (BPU) (voir définition des termes dans le répertoire des principaux termes en usage dans le domaine des marchés publics. Liste éditée par le Secrétariat général de la Commission centrale des marchés).
- un Détail Estimatif (DE)

Dans un souci de simplification, notamment pour l'application des marchés dont le montant est de faible importance, le présent document-type est présenté sous une forme mixte regroupant le Bordereau de Prix Unitaires et le Détail Estimatif.

Il est d'autre part rappelé que, dans la procédure d'appel d'offres sur offres de prix, il convient pour la facturation de disposer d'autant de prix que le "projet" amène à distinguer de natures d'ouvrages ou d'éléments d'ouvrages dans le CCTP en tenant compte pour chacun d'eux de leurs sujétions particulières qui varient elles-mêmes en fonction des localisations, des dimensions, des façons et autres modalités annexes.

Ainsi, sous chaque rubrique (en fonction des analyses des ouvrages prévus au document type, certaines d'entre elles sont décomposées en plusieurs éléments, ainsi : fourniture, pose, taille, etc.) mentionnée dans le document type BPU/DE ci-après, doivent figurer les prix nécessaires pour distinguer chaque ouvrage à partir de ses spécificités, lorsqu'elles peuvent influencer un prix d'entreprise d'une manière significative.

Les exemples figurant dans la colonne "Observations" ne sont donnés qu'à titre informatif. Dans la mesure où la description du CCTP est propre à un ouvrage et où sa référence est donnée en regard de l'article, la désignation de l'ouvrage peut être limitée à la description essentielle.

Contenu des prix

Cet article est à adapter dans le cas où il n'est prévu qu'un seul corps d'état pour l'opération.

Les prix portés au Bordereau de Prix Unitaire - Détail Estimatif comprennent les frais découlant :

- des prescriptions mises à la charge de l'entreprise par le CCAP (1)
- des prescriptions énumérées dans les dispositions générales et particulières de chaque article du CCTP
- des difficultés résultant du lieu géographique du chantier, d'accès au chantier et de la localisation des travaux dans l'édifice
- des protections légères nécessaires à la réalisation d'un ouvrage du présent lot nécessitant ou non un remaniage journalier
- des moyens individuels destinés à assurer la sécurité des travailleurs
- des sujétions liées à l'exploitation de l'édifice, énumérées à l'article du CCTP "Sujétions liées à l'exploitation de l'édifice"
- des sujétions particulières d'exécution des ouvrages, énumérés à l'article du CCTP "Sujétions particulières d'exécution des ouvrages"
- les installations communes de chantier mises à la charge du présent lot.

Tous les ouvrages et installations énumérées au CCTP doivent être établis conformément aux directives européennes et règlements nationaux et locaux, aux dispositions prescrites par l'inspection du travail, de manière à prévenir tous accidents vis à vis des ouvriers, des tiers et des existants.

CHAPITRE 1 - CLAUSES COMMUNES PROPRES AU CHANTIER

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
1.2	1.1	<p>INSTALLATIONS COMMUNES DE CHANTIER</p> <p><i>OBSERVATIONS</i></p> <p><i>l'architecte détaillera sous cette rubrique les installations communes décrites au CCTP à la charge du présent lot.</i></p> <p><i>Doivent faire l'objet de prix spécifiques, les installations dont la valeur est telle qu'elle ne puisse être raisonnablement intégrée dans les prix unitaires des ouvrages énumérés ci-dessous, telles que :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>• les échafaudages de desserte,</i> <i>• les protections lourdes,</i> <i>• les clôtures éventuellement</i> <p><i>La valeur de ces ouvrages doit être décomposée de manière à faire apparaître les valeurs suivantes :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>• pose, dépose et double transport</i> <i>• dépose, transport du nouvel emplacement et repose,</i> <i>• location pour la durée fixée au CCTP.</i> <p><i>Les autres installations à la charge du présent lot et dont la valeur n'est pas reprise au titre d'articles spécifiques sont donc incluses, conformément aux stipulations de la page précédente, dans les prix unitaires du présent document.</i></p> <p><i>Dans le cas où il n'est prévu qu'un seul corps d'état, la désignation "Installations communes de chantier" doit être remplacée par "Installations particulières de chantier".</i></p>	forfait			

CHAPITRE 2 - CLAUSES GÉNÉRALES PROPRES AU PRÉSENT LOT

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
2.3	2.1	ÉCHAFAUDAGES <i>OBSERVATIONS</i> <i>Il s'agit des échafaudages pour travaux commencés ou poursuivis au delà de 4,00 m, mis à la charge du présent lot au titre de l'article "Échafaudage" du chapitre 2 du CCTP.</i> <i>Créer un prix spécifique par type d'ouvrage et détailler comme les ouvrages d'installations communes</i>	forfait			

CHAPITRE 3 - OUVRAGES DE TERRASSEMENT

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
3.2	3.1	ÉTAIEMENTS - ÉTRÉSILLONNEMENTS – BLINDAGES Étalement avec blindage <ul style="list-style-type: none"> • bois ou métallique Étalement sans blindage <ul style="list-style-type: none"> • bois mis en œuvre • éléments métalliques mis en œuvre Étais tubulaires réglables <ul style="list-style-type: none"> • isolés ou en batterie 	m ² m ³ kg ou tonne U			
3.3	3.2	MESURES DE SAUVEGARDE <i>OBSERVATIONS</i> <i>Nature des prix - Mesurage</i> <i>Les prix portés sur les BPU sont des moyennes applicables aux natures de sol correspondant aux définitions indiquées.</i> <i>Aucune modification de ces prix ne pourra intervenir en raison de parties offrant de plus grandes difficultés au cours de la fouille, telles que présence de racines d'arbres.</i> <i>Toutes les sujétions concernant l'emploi des matériels nécessaires sont comprises dans les prix des travaux</i>	forfait			
3.4	3.3	OBJETS TROUVÉS DANS LES FOUILLES	forfait			
3.5	3.4	DÉMOLITIONS D'OUVRAGES DANS LES FOUILLES	forfait			
3.6	3.5	FOUILLES PAR ENGINS MÉCANIQUES	forfait			
3.7	3.6	FOUILLES DE PUITS	m ³			
3.8	3.7	FOUILLES À POTENTIEL ARCHÉOLOGIQUE <ul style="list-style-type: none"> • fouilles proprement dites • criblage des déblais • arrêts cumulés 	m ³ m ³ forfait			
3.11	3.8	RETROUSSAGE DE SOL EXISTANT	m ²			
3.12	3.9	FOUILLES EN RIGOLLES	m ³			

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
3.13	3.10	FOUILLES EN TRANCHÉES	m ³			
3.14	3.11	PUITS	m ³			
3.15	3.12	EXCAVATIONS SUPERFICIELLES	m ²			
3.16	3.13	VIDAGES ENTRE MACONNERIE	m ³			
3.17	3.14	REMBLAIS	m ³			
		OBSERVATIONS <i>Par type d'ouvrages à démolir, suivant les articles "démolitions" correspondants. Pour la manutention de ces gravois, la classification ci-après sera adoptée :</i> <i>a) ouvrages en plâtras ou plâtre ou analogue catégorie B.</i> <i>b) briques, moellons, meulières, débris de pierres, catégorie D.</i>				
3.18	3.15	ÉBOULIS	m ³			
3.19	3.16	FOUILLE EN PRÉSENCE D'EAU <i>Suivant nature des moyens mis en œuvre.</i>	forfait m ² ou m ³			
3.20	3.17	POMPAGE - ÉPUISEMENTS	forfait			
3.21	3.18	ÉVACUATION DES EAUX	forfait			
3.22	3.19	ÉVACUATION DES VASES	forfait			
3.23	3.20	ÉVACUATION DES DÉBLAIS - TERRES - GRAVOIS <ul style="list-style-type: none"> provenant du chantier provenant de travaux extérieurs 	m ³ m ³			
3.24	3.21	REMISE EN ÉTAT DES TERRAINS <i>Suivant nature des prestations à exécuter.</i>	forfait m ² ou m ³			

CHAPITRE 4 - OUVRAGES DE DÉMOLITIONS ET DÉPOSES

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
4.3	4.1	DÉMOLITION D'OUVRAGES IMPORTANTS Prix forfaitaires par ouvrage démoli, en rappelant la nature de l'ouvrage et ses caractéristiques dimensionnelles.	forfait			
4.4	4.2	DÉMOLITION DE MAÇONNERIES POUR DÉRASEMENT	m³			
4.5	4.3	DÉMOLITION DE MAÇONNERIES POUR REPRISE <ul style="list-style-type: none"> à 1 parement à 2 parements 	m³ m³			
4.6	4.4	DÉMOLITION DE MAÇONNERIES POUR DÉBOUchement DE BAIES				
4.7	4.5	DÉMOLITION DE MAÇONNERIES POUR PERCEMENT <i>Exemple : démolition de moellon, de n° d'identification 10, hourdé au ciment, démolition à la masse et au poinçon dans des conditions normales. Dimensions 1.00 x 0,80 ht x 0,40 épr = 0,320 m³.</i>	m³			
4.8	4.6	DÉMOLITION DE MAÇONNERIES POUR TRANCHÉES ET ENTAILLES	m³			
4.9	4.7	RECOUPEMENT OU ABATTAGE DE SAILLIE <i>Exemple : recoupelement de 5 cm ép. dans moellon de n° d'identification 10, à la masse et au poinçon.:</i> <ul style="list-style-type: none"> Parements bruts pour enduit 	m³ m²			
4.10 4.11	4.8	MISE EN PLACE D'ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES ENCASTRÉS DANS LES MAÇONNERIES ET DESTINÉS : <ul style="list-style-type: none"> à rester apparents à être recouverts <i>Exemple : double linteau I 140 assemblé par boulons dans maçonnerie en brique enduite. Double tranchee, execution alternée de 0,40 ht x 0,20 ép., hourdis de linteau en béton de gravillon et CPA dosé à 300 kg support d'enduit en nergalto</i>	U U			
4.12 4.13	4.9	MISE EN PLACE D'ÉLÉMENTS EN BOIS ENCASTRÉS DANS LES MAÇONNERIES ET DESTINÉS : <ul style="list-style-type: none"> à rester apparents 	U U			

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
4.14	4.10	<ul style="list-style-type: none"> à être recouverts PETITS OUVRAGES Unités de petits ouvrages y compris petit matériel et fourniture de mortier : <ul style="list-style-type: none"> pour façons (entailles, tranchées, trous) exécutées à la main pour façons (entailles, tranchées, trous) exécutées au moyen d'engins pneumatiques ou électriques pour descellements, scellements, bouchements, raccords 	U U U			
4.15 4.16	4.11	DÉPOSE D'OUVRAGES <i>À détailler suivant la nature des ouvrages à déposer. Dans la mesure où ces ouvrages font l'objet d'une nomenclature précise au CCTP les ouvrages peuvent être réglés à prix forfaitaire</i> <ul style="list-style-type: none"> sans conservation avec conservation 	U, Kg, ml, m ² U, Kg, ml, m ²			
4.17	4.12	DÉMOLITION D'OUVRAGES MAÇONNÉS HORIZONTAUX <i>Exemple : démolition de forme en cailloux de 10 cm, forme en béton maigre de 5 cm et dallage terre cuite m² :</i>	m ²			
4.18	4.13	DÉMOLITION DE CARRELAGE EN CONSERVATION DES SUPPORTS	m ²			
4.19	4.14	DÉPOSE DE CARRELAGE EN CONSERVATION	m ²			
4.20	4.15	RÉCUPÉRATION DE MATÉRIAUX	m ³			

CHAPITRE 5 - OUVRAGES D'ASSÈCHEMENT – DRAINAGES DES MAÇONNERIES

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
5.1	5.1	TECHNIQUES POUR LUTTER CONTRE L'HUMIDITÉ ASCENSIONNELLE EN PROVENANCE DU SOL <i>À préciser selon la nature des ouvrages à exécuter.</i> <ul style="list-style-type: none"> • au niveau des maçonneries • dans les dallages 	U, ml ou m²			
5.2	5.2	TECHNIQUES POUR LUTTER CONTR LES INFILTRATIONS D'EAU DE PLUIE <i>À préciser selon la nature des ouvrages à exécuter.</i> Voir chapitre 7 du présent document : ENDUITS Voir chapitre 9 du présent document : CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES PAR INJECTION DE COULIS Voir chapitre 10 du présent document : REPARATIONS D'OUVRAGES EN BETON ARMÉ				
5.3	5.3	TECHNIQUES POUR LUTTER CONTRE LES CONDENSATIONS <i>À préciser selon la nature des ouvrages à exécuter.</i>	U, ml ou m²			
5.4	5.4	TECHNIQUES POUR SOLUTIONNER LES PROBLÈMES LIÉS À LA PRÉSENCE DE SELS <i>À préciser selon la nature des ouvrages à exécuter.</i>	U, ml m² ou m³			

CHAPITRE 6 - OUVRAGES EN MOELLONS

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
6.1 6.2	6.1	MAÇONNERIE EN MOELLON Fourniture <i>Exemple : fourniture de moellon de pierre de n° d'identification 10, fourchettes dimensionnelles 0,35/0,40 - 0,18/0,25 - 0,20/0,25.</i> Façon d'appareil Parement : <ul style="list-style-type: none"> • droit • en talus (biais par rapport au lit de pose) • simple courbure • double courbure Pose de moellons y compris mortier de pose <ul style="list-style-type: none"> • pour massif et toutes maçonneries non alignées <i>Exemple : pose de moellon dans l'embaras des étais et en sous œuvre, hourdé au mortier bâtard.</i> <ul style="list-style-type: none"> • pour murs en fondation et en sous-sol, de soubassement, de caves, de cryptes, de soutènement (jusqu'au dessus de plancher bas en RdC ou jusqu'au dessus de l'extrados des voûtes) pour murs de clôture <ul style="list-style-type: none"> – à une face alignée – à 2 faces alignées • pour murs en élévation <ul style="list-style-type: none"> – à une face alignée – à 2 faces alignées • pour voûtes à simple courbure, arcs et hourdis de linteaux compris scellement et descellement des cintres • pour voûtes à double courbure Jointoiement après coup Patine	m³ m² m² m² m² m³ m³ m³ m³ m³ m² m²			
6.3	6.2	REJOINTOIEMENT SUR MOELLONS EN ŒUVRE <i>Exemple : Dégarnissage manuel de joint ciment, rejointoiement à fleur, finition lissée aux dosages prescrits au CCTP, de 4cm de largeur moyenne, et 4cm de profondeur (10 moellons/m²)</i>	m²			
6.4 6.5	6.3	ROCAILLAGE Rocaille en moellon (fourni ou non)	m²			

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
6.6 6.7	6.4	<i>Exemple : rocaillage en moellon non fourni, de 0,40 hⁱ avec chape étanche dissimulée dosée à 500 kg de CPA et façon d'exécutoires. Dessus en forme de dos d'âne.</i>				
		Façon d'appareil	U ou m ³			
		Parement	m ²			
		Jointoiement	m ²			
		Patine	m ²			
		RELANCIS DE MOELLON				
		Relancis de moellon compris refouillement (*)	U ou m ³			
		Façon d'appareil (*)	m ²			
		Parement (*)	m ²			
		Jointoiement (*)	m ²			
		Patine (*)	m ²			
		(*) Cf. mode de métré.				

CHAPITRE 7 - ENDUITS

[illegible]

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
7.5	7.5	PARTIES MOULURÉES : <ul style="list-style-type: none"> • dito ENDUIT AU MORTIER Enduit au mortier avec regarnissage des joints <i>Exemple : enduit en mortier aux dosages et liants prescrits au CCTP, sur moellon neuf, épaisseur moyenne 4cm, application manuelle, finition grattée, sans exigence particulière de planimétrie.</i>	m ²			
		PARTIES PLANES : <ul style="list-style-type: none"> • sur parties verticales ou inclinées de moins de 30° par rapport à la verticale <ul style="list-style-type: none"> – droites – à simple courbure – à double courbure • sur plafonds, voûtures et parties inclinées de plus de 30° par rapport à la verticale • sur intrados de voûte à simple courbure • sur intrados de voûte à double courbure 	m ² m ² m ² m ² m ² m ²			
7.6	7.6	PARTIES MOULURÉES : <ul style="list-style-type: none"> • dito ENDUIT AU MORTIER DE PLÂTRE ET CHAUX AÉRIENNE Enduit au mortier de plâtre et chaux aérienne avec regarnissage des joints	m ²			
		PARTIES PLANES : <ul style="list-style-type: none"> • sur parties verticales ou inclinées de moins de 30° par rapport à la verticale <ul style="list-style-type: none"> – droites – à simple courbure – à double courbure • sur plafonds, voûtures et parties inclinées de plus de 30° par rapport à la verticale • sur intrados de voûte à simple courbure • sur intrados de voûte à double courbure 	m ² m ² m ² m ² m ² m ²			
7.7	7.7	PARTIES MOULURÉES : <ul style="list-style-type: none"> • dito ARMATURE D'ENDUIT <ul style="list-style-type: none"> • sur parties verticales ou inclinées de moins de 30° par rapport à la verticale 	m ²			

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
		<ul style="list-style-type: none"> sur plafonds, voussures et parties inclinées de plus de 30° par rapport à la verticale sur intrados de voûte 	m² m²			

CHAPITRE 8 - LAIT DE CHAUX - BADIGEON

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
8.1	8.1	DÉBADIGEONNAGE COURANT PARTIES PLANES : <ul style="list-style-type: none"> sur parties verticales ou inclinées de moins de 30° par rapport à la verticale <ul style="list-style-type: none"> – droites – à simple courbure – à double courbure sur plafonds, voûssures et parties inclinées de plus de 30° par rapport à la verticale sur intrados de voûte à simple courbure sur intrados de voûte à double courbure PARTIES MOULURÉES : <ul style="list-style-type: none"> dito 	 m² m² m² m² m² m²			
8.2	8.2	DÉBADIGEONNAGE SUR ANCIENS DÉCORS PARTIES PLANES : <ul style="list-style-type: none"> sur parties verticales ou inclinées de moins de 30° par rapport à la verticale <ul style="list-style-type: none"> – droites – à simple courbure – à double courbure sur plafonds, voûssures et parties inclinées de plus de 30° par rapport à la verticale sur intrados de voûte à simple courbure sur intrados de voûte à double courbure PARTIES MOULURÉES : <ul style="list-style-type: none"> dito 	 m² m² m² m² m² m² m² m²			
8.3	8.3	BADIGEON AU LAIT DE CHAUX PARTIES PLANES : <ul style="list-style-type: none"> sur parties verticales ou inclinées de moins de 30° par rapport à la verticale <ul style="list-style-type: none"> – droites – à simple courbure – à double courbure 	 m² m² m²			

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
		<ul style="list-style-type: none"> sur plafonds, voussures et parties inclinées de plus de 30° par rapport à la verticale sur intrados de voûte à simple courbure sur intrados de voûte à double courbure <p>PARTIES MOULURÉES :</p> <ul style="list-style-type: none"> dito 	m² m² m² m²			

CHAPITRE 9 - OUVRAGES DE CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES PAR INJECTION DE COULIS

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
9.1.1	9.1	ÉTUDE DE LA MAÇONNERIE	forfait			
9.1.2	9.2	ÉTUDE DU OU DES COULIS EN LABORATOIRE	forfait			
9.1.3	9.3	ÉPREUVE DE CONVENANCE SUR CHANTIER <ul style="list-style-type: none"> épreuve de convenance sur chantier <i>Comprenant toutes les prestations prévues au CCTP.</i> <p>Une décomposition plus détaillée est également envisageable selon la nature particulière des prestations, à titre indicatif</p> <ul style="list-style-type: none"> matériaux constitutifs des coulis par nature de maçonneries injectées par nombre d'injecteurs autres <i>À préciser.</i>	forfait			
9.2.1	9.4	VÉRIFICATION DU PAREMENT ET DES MAÇONNERIES AVANT INJECTION <p>Étanchéité des joints</p> <i>Voir BPU/DE des ouvrages spécifiques traités par ailleurs.</i> <p>Travaux de jointoiement - rejointoiement</p> <p>Maçonneries recouvertes d'enduit</p> <p>Étanchéité des parties enterrées</p>				
9.2.2	9.5	CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES PAR INJECTION DE COULIS <p><i>Comprenant toutes les prestations prévues au CCTP à l'exclusion de la reprise des parements (rejointoiement, relancis, reprise de maçonnerie). La combinaison d'une ou plusieurs de ces prestations est possible.</i></p> <p>par type de coulis :</p> <ul style="list-style-type: none"> matériaux constitutifs des coulis par nature des maçonneries injectées par nombre d'injecteurs autres 	kg ou tonne m ² ou m ³ U			

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
		<i>À préciser.</i>				

CHAPITRE 10 - OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
10.1.1	10.1	ÉLIMINATION DES BÉTONS DÉGRADÉS <i>Selon l'épaisseur du béton à éliminer.</i>	m ² ou m ³			
10.1.2	10.2	PRÉPARATION DES ARMATURES pour le décapage et la passivation	ml ou m ²			
10.1.3	10.3	NETTOYAGE DES SURFACES	m ²			
10.2	10.5	RAGRÉAGE	m ²			
10.3	10.6	TRAITEMENT DES FISSURES DE STRUCTURES pour l'injection, le calfeutrement, le pontage <i>Comprenant toutes les prestations prévues au CCTP.</i>	ml			
10.4	10.7	REALCANISATION DU BETON <i>À préciser plus avant si besoin, suivant la nature des parements.</i> <ul style="list-style-type: none"> • mise en œuvre du procédé • application et suivi du traitement • dépose et repli du procédé • lavage à l'eau douce des parements Parties planes : <ul style="list-style-type: none"> • <i>sur parties verticales ou inclinées de moins de 30° par rapport à la verticale</i> <ul style="list-style-type: none"> – droites – à simple courbure – à double courbure • <i>sur plafonds, voûssures et parties inclinées de plus de 30° par rapport à la verticale</i> • <i>sur intrados de voûte à simple courbure</i> • <i>sur intrados de voûte à double courbure</i> Parties moulurées : <ul style="list-style-type: none"> • <i>dito</i> 	m ² m ² m ² m ² m ² m ² m ² m ² m ² m ² m ²			
10.5	10.8	DÉCHLORURATION DU BÉTON				

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
		<ul style="list-style-type: none"> • mise en œuvre du procédé • application et suivi du traitement • dépose et repli du procédé <p><i>À préciser plus avant si besoin, suivant la nature des parements :</i></p> <p>Parties planes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • sur parties verticales ou inclinées de moins de 30° par rapport à la verticale <ul style="list-style-type: none"> – droites – à simple courbure – à double courbure • sur plafonds, voûtures et parties inclinées de plus de 30° par rapport à la verticale • sur intrados de voûte à simple courbure • sur intrados de voûte à double courbure <p>Parties moulurées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • dito 	m² m² m² m² m² m² m² m² m² m²			

CHAPITRE 11 - OUVRAGES HORIZONTAUX

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
11.1	11.1	FORMES SUPPORTS DE REVÊTEMENTS DE SOL <i>Comprenant toutes les prestations prévues au CCTP.</i> <ul style="list-style-type: none"> • ravaillage • dallage 	m² m²			
11.2	11.2	FOURNITURE ET POSE DE CARRELAGE <i>Comprenant toutes les prestations prévues au CCTP.</i>	m²			

CHAPITRE 12 - OUVRAGES DIVERS

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
12.1	12.1	CALFEUTREMENT DE VITRAUX <ul style="list-style-type: none"> dégarnissage des anciens calfeutrements calfeutrement en mortier de chaux 	ml ml			
12.2	12.2	ÉVACUATION DES GRAVOIS AUX DÉCHARGES Provenant des démolitions du chantier <ul style="list-style-type: none"> avec tri préalable sans tri préalable Provenant de démolitions antérieures <ul style="list-style-type: none"> sans tri préalable 	m³ m³ m³			
	12.3	TRAVAUX EN DÉPENSE CONTRÔLÉE Heure d'équipe composée d'un compagnon et d'un aide, compris tacots, paniers, toutes indemnités, tout matériel nécessaire, petites fournitures d'accompagnement, et frais de déplacement <ul style="list-style-type: none"> heure de Compagnon heure d'Aide autres 	U U			

CHAPITRE 13 - CONTRÔLES ET TOLÉRANCES DES OUVRAGES FINIS

Réf au CCTP	N° mode de métré	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	U	Q	PU	PRODUIT
		DE LA QUALITÉ DES PIERRES CONSTITUANT LES MOELLONS DE LA COMPOSITION DES MORTIERS DE POSE	forfait			
		JOINTOIEMENTS ET REJOINTOIEMENTS	forfait			
		DES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES ENDUITS A BASE DE LIANTS HYDRAULIQUES	forfait			
		DE LA COMPOSITION DES MORTIERS DES ENDUITS A BASE DE LIANTS AÉRIENS OU LIANTS AÉRIENS/PLÂTRE	forfait			
		DE LA CONFORTATION INTERNE DES MAÇONNERIES	forfait			
		• épreuve de convenance préalable sur chantier	forfait			
		• contrôle de l'injection après exécution	forfait			
		CONTRÔLE DU TRAITEMENT DES BÉTONS ARMÉS				
		TOTAL HT				
		TOTAL %				
		TOTAL TTC				



Sous-direction des monuments historiques et des espaces protégés
Mission ingénierie et références techniques
ISBN 2-11-094664-4