

BETOCIB

Les bétons apparents

Prescriptions
techniques



© Photo : Laurent Thion | Ecliptique.com

De la mise en œuvre à la protection,
l'entretien, la réparation

Édition 2009

l'architecture
et Les bétons
BETOCIB
bb



Association Loi 1901

Lieu d'information des professionnels de la construction pour valoriser l'architecture en béton

7, place de la Défense — La Défense 4 — 92974 Paris La Défense Cedex
Tél. (33) 1 55 23 01 17 | Fax (33) 1 55 23 01 16 | www.infociments.fr | www.betocib.net

BETOCIB

Les bétons apparents

Prescriptions techniques

De la mise en œuvre à la protection,
l'entretien, la réparation

Édition 2009



Ont participé à cet ouvrage :

MERLING Roland	CIMENTS CALCIA, Président de la Commission Technique
BONNET Alain	ATILH
CHAPELLON Françoise	IMERYS
DELABRÈCHE Bernard	GRACE
FÉLIOT Jocelyne	BETOCIB
FRANCISCO Philippe	CERIB
GAZEAU Didier	NAULLET
GRIMAUD Matthieu	AOCDTF
LELLI Giovanni	ARCHITECTE
LOQUIN Jacques	AXIM
MANZANERO Patrick	HOLCIM
MONToux Guy	FACE CONSULTING
POIX Pierre	URBAINE DE TRAVAUX
ROCHEFORT Béatrice	MOT À MOT
TRIBOULET Claude	FIXINOX
VERBAUWHEDE Maryline	QUILLE
VÉRICOURT (de) Patrice et LAFARGE CIMENTS	ARCHITECTE

VOYAGE AU MILIEU D'UN PLAISIR...

Dans l'environnement des savoirs technologiques, l'architecte avance à petits pas pour créer une émotion partagée : un rêve d'espace, de lumière et de matière...

L'architecture reste tactile et sensuelle ; elle réinvente l'art du tact, du contact et du toucher. Elle affecte les sens selon sa nature : le sec, l'humide, le mouillé, tous les degrés du froid et du chaud, le gluant, l'épais, le tendre, le mou, le dur, l'élastique, l'huileux, le soyeux, le velouté, le rêche, le grenu, etc. mariés, rapprochés de façon inattendue, ils forment la matière comme un fondement, une musique qui exacerbe nos nerfs.

À la fois dur et poétique, sublime et sensible, depuis des décennies le béton sait, déplaire et fasciner.

Au cœur des règles et des techniques, l'architecte ne connaît et n'approche ce matériau que sur la base d'un emploi et d'un résultat déterminé qui teinte son architecture d'un appauvrissement émotionnel. Car le béton offre la possibilité d'être sollicité à un point où il devient le matériau d'une tout autre tâche que celle d'être et, par là même, franchit la difficulté d'éliminer les souvenirs qui contaminent les matières de leur signification et constitue la base d'une future construction.

Cette âme matérielle détermine nos bâtiments en accompagnant les formes qui les révèlent, comme l'approche d'une vérité totalitaire de construction.

À l'opposé de certains architectes nous ressentons tout particulièrement le besoin de revenir sur la perte de contrôle de l'emploi des matériaux de construction, maîtrise millénaire incontestée, et retrouver le lien que tissent les entrepreneurs, ingénieurs et architectes.

Véritable magie du réel, le béton offre une nouvelle simplicité dans un espace de liberté infini où l'ensemble des composantes de l'architecture contemporaine environnementales, urbanistiques, sociales, techniques, esthétiques se révèlent dans un souci permanent d'audace et de plaisir à explorer et découvrir.

Aldric Beckmann architecte

CPT Droits de citation

Les reproductions partielles ou citations d'extraits de documents sont autorisées sous réserve de mention d'origine.
La reproduction intégrale et la traduction même partielle sont soumises à l'autorisation de BETOCIB.

Préface **3**

Introduction **13**

1 Constituants **15**

1.1 Ciments courants **15**

Contexte normatif	15
Réaction sulfatique interne (RSI)	16

1.2 Granulats pour bétons hydrauliques **17**

1.2.1 Contexte normatif	17
-------------------------	----

1.2.2 Caractéristiques des granulats	17
--------------------------------------	----

1.2.2.1 Caractéristiques intrinsèques des granulats	17
Résistance à la fragmentation	18
Résistance à l'usure	18
Résistance au polissage	18
Absorption d'eau	18
Sensibilité au gel	18
Réactivité aux alcalis	18
Soufre total/Sulfates/Chlorures	19
Couleur des granulats	19
1.2.2.2 Critères complémentaires	19
Granularité	19
Angularité des granulats alluvionnaires et marins	20
Forme des gravillons	20
Propreté des sables	20
Propreté des gravillons	20
Impuretés prohibées	20
Matières organiques	20

1.3 Additions pour bétons hydrauliques **20**

1.3.1 Contexte normatif	20
-------------------------	----

1.3.2 Correcteur granulaire	21
-----------------------------	----

1.4 Pigments de coloration **21**

1.4.1 Définition	21
------------------	----

1.4.2 Qualités et propriétés des pigments pour bétons apparents	21
---	----

1.4.3 Types de pigments	22
-------------------------	----

1.4.3.1 Pigments de synthèse	22
------------------------------	----

1.4.3.2 Pigments naturels	22
---------------------------	----

1.5 Adjuvants **22**

1.5.1 Contexte normatif	22
-------------------------	----

1.5.2 Définition	22
------------------	----

1.5.3 Différentes familles d'adjuvants	22
--	----

1.5.3.1 Modification du comportement du béton frais	23
---	----

1.5.3.2 Modification de la prise et du durcissement du béton	23
--	----

1.5.3.3 Modification du comportement du béton durci	23
---	----

1.5.3.4 Agents à effets spécifiques	24
-------------------------------------	----

1.5.4 Choix des adjuvants pour les bétons colorés	24
---	----

1.5.5 Normalisation	24
---------------------	----

1.6 Eau de gâchage **24**

2 Armatures **27**

2.1 Généralités **27**

2.2	Nature	27
2.3	Mise en place	27
2.3.1	Cales	28
2.3.2	Suspentes	28
2.3.4	Armatures en attente	28
2.3.5	Dispositions vis-à-vis du bétonnage	28
2.4	Protection	28

3 Coffrages 31

3.1	Généralités	31
3.2	Nature des coffrages	31
3.2.1	Poussée du béton	31
3.2.2	Matière des peaux coffrantes	32
3.2.3	Matrices de coffrages	32
3.2.4	Acier	32
3.2.5	Contreplaqué	33
3.2.6	Bois veiné	33
3.3	Étanchéité des coffrages	33
3.4	Calepinage - Modénature	33
3.5	Propreté des coffrages	34
3.6	Références normatives	34

4 Aspects de surface 37

4.1	Généralités	37
4.2	Traitements de surface	37
4.2.1	Surfaces brutes	37
4.2.2	Surfaces traitées	38
4.2.2.1	Surfaces traitées à l'état frais	38
4.2.2.2	Surfaces traitées à l'état durci	38
4.2.3	Surfaces revêtues	39
4.2.3.1	Éléments minces	39
4.2.3.2	Lasures	39
4.3	Teinte du béton	39
4.3.1	Liant	39
4.3.2	Additions	39
4.3.3	Granulats	39
4.3.4	Pigments de coloration	40

5 Formulation, fabrication, transport 43

5.1	Objectifs de la formulation et processus de validation	43
5.1.1	Généralités	43
5.1.2	Bétons prêts à l'emploi (BPE) et fabriqués sur chantier	44
5.1.3	Bétons préfabriqués	44
5.2	Choix des constituants	44
5.2.1	Ciment	44
5.2.2	Sables	44
5.2.3	Gravillons	44
5.2.4	Additions et pigments	44
5.2.5	Adjuvants	45

5.2.6	Paramètres du béton influençant le parement	45
5.3	Fabrication	46
5.3.1	Stockage des constituants	46
5.3.1.1	Ciment et additions	46
5.3.1.2	Granulats	46
5.3.2	Pesage des constituants minéraux	46
5.3.3	Quantité d'eau de gâchage	46
5.3.4	Contrôles et essais en cours de réalisation	47
5.4	Transport du béton frais et mise en place	47
<hr/>		
6	Mise en œuvre	49
6.1	Béton coulé sur chantier	49
6.1.1	Méthode de coulage	49
6.1.2	Bétonnage par temps chaud et par temps froid	49
6.1.3	Bétons autoplaçants	49
6.1.4	Vibration (coulage traditionnel)	50
6.1.4.1	Vibrateurs internes ou aiguilles vibrantes	50
6.1.4.2	Vibrateurs externes	50
	Vibrateurs de coffrages	50
	Vibrateurs de surface ou règles vibrantes	50
6.1.4.3	Durée de la vibration	50
6.1.4.4	Règles pratiques	51
	Vibration interne	51
	Vibration externe	51
6.1.5	Contrôle après coulage	51
6.2	Béton préfabriqué	51
6.2.1	Préparation avant fabrication	51
6.2.3	Préparation du béton	52
6.2.4	Mise en place du béton	52
6.3	Cure	52
6.3.1	Moyens	53
6.3.2	Applications	53
6.3.4	Précautions	53
<hr/>		
7	Décoffrage	55
7.1	Résistance à la compression conseillée au décoffrage	55
7.2	Maturométrie	56
7.3	Traitement thermique	56
7.4	Influence du délai de décoffrage sur la teinte du béton	57
7.5	Décoffrage du béton coulé en place	57
7.5.1	Principes	57
7.5.2	Autocontrôle visuel, traitement éventuel	57
7.5.3	Nettoyage du coffrage	57
7.5.4	Protection de l'ouvrage coulé	58
7.6	Décoffrage du béton préfabriqué	58
7.6.1	Principes	58
7.6.2	Contrôles et conditions de stockage	58
7.7	Produits de décoffrage	58
7.7.1	Huiles et émulsions	59
7.7.2	Cires	61
7.7.3	Produits à double effet (décoffrant et désactivant)	62

8 Étanchéité des joints de façade **65**

8.1	Généralités	65
8.1.1	Définition	65
8.1.2	Sollicitations	65
8.2	Types de joints	66
8.2.1	Joints souples	66
8.2.2	Joints mécaniques	66
8.2.3	Joints précomprimés	67
8.2.4	Joints collés	67
8.3	Dimensionnement des joints	67
8.4	Mise en œuvre	68

9 Conditions de réception **71**

9.1	Coulé sur chantier	71
9.1.1	Parements	71
9.1.1.1	Parements coffrés	71
9.1.1.2	Parements non coffrés	71
9.1.2	Tolérances dimensionnelles	72
9.1.3	Tolérances d'aspect	72
9.1.3.1	État de surface	72
9.1.3.2	Teinte	72
9.2	Préfabrication	73
9.2.1	Tolérances dimensionnelles	73
9.2.2	Tolérances d'aspect	73
9.2.3	Marquage CE et étiquetage	73
9.2.4	Réception du premier élément en usine	73
9.2.5	Réception à la livraison sur chantier	74
9.2.6	Tolérances de pose	74
9.3	Références normatives	74

10 Protection et entretien des bétons **77**

10.1	Pourquoi protéger et entretenir les bétons ?	77
10.1.1	Altérations visuelles	77
10.1.2	Altérations structurelles	77
10.2	Types de salissures	77
10.2.1	Détachage	78
10.3	Influence de la nature du support sur la sensibilité aux salissures	79
10.3.1	Compacité - Porosité	79
10.3.2	Rugosité	79
10.4	Protection	79
10.4.1	Hydrofuges de surface	79
10.4.1.1	Contrôles avant application	81
10.4.1.2	Vérifications pendant l'application	81
10.4.1.3	Choix des produits	81
10.4.2	Hydrofuges de masse	82
10.4.3	Antigraffiti	83
10.4.3.1	Action curative : nettoyer les graffitis	83
10.4.3.2	Action préventive : se protéger des graffitis	83
10.5	Entretien	85

10.5.1	Méthodes	85
10.5.2	Contrat de maintenance	86
10.5.2.1	Objectifs	86
10.5.2.2	Principales clauses à prévoir	87
10.6	Recommandations au maître d'ouvrage et à l'architecte	87
10.7	Référence normative	87

11 Réparations **89**

11.1	Observation et diagnostic des dégradations courantes	89
11.2	Pathologies	89
11.2.1	Pathologies existant à l'origine	89
11.2.2	Pathologies apparaissant dans le temps	90
11.2.3	Pathologies existant à l'origine ou apparaissant dans le temps	91
11.3	Bullage	91
11.4	Nids de cailloux	91
11.5	Fissures	92
11.5.1	Classification des fissures selon leur ouverture	92
	Faiçonnage	92
	Microfissure	92
	Fissure	92
	Lézarde ou crevasse	92
11.5.2	Faiçonnage et fissuration superficielle (non évolutifs)	92
11.5.3	Fissures passives (non évolutives)	92
11.5.4	Fissures actives (évolutives)	92
	11.5.4.1 Fissures dues à la corrosion des armatures	92
	11.5.4.2 Fissures d'origine mécanique	93
	11.5.4.3 Fissures d'origine thermique	93
	11.5.4.5 Fissures dues à l'alcali-réaction et aux attaques sulfatiques	93
	11.5.4.6 Fissures dues aux cycles gel/dégel	94
11.6	Efflorescences	94
11.7	Méthodologie de réparation	95
11.7.1	Études et investigations préliminaires	95
	11.7.1.1 Établissement de l'historique de l'ouvrage	95
	11.7.1.2 Évaluation des contraintes environnementales et d'exploitation	95
	11.7.1.3 Diagnostic du processus de dégradation	95
11.7.2	Projet de réparation	98
11.7.3	Exécution des travaux	98
	11.7.3.1 Élimination des zones dégradées ou polluées par des agents agressifs	98
	11.7.3.2 Réparation des armatures	99
	11.7.3.3 Choix des produits de réparation	100
	11.7.3.4 Technique de mise en place des produits de réparation	103
	11.7.3.5 Aspect de parement	103
11.7.4	Synthèse des techniques de réparation des bétons	104
11.8	Dix commandements pour réparer les bétons	105

12 Bétons spécifiques **109**

12.1	Bétons autoplaçants (BAP)	109
12.1.1	Normalisation	109
12.1.2	Définition – Composition	109
12.1.3	Domaines d'utilisation	110
12.1.4	Aspect de finition	110
12.1.5	Atouts	110
12.2	Bétons hautes performances (BHP)	110
12.2.1	Normalisation	110

12.2.2	Définition – Composition	111
12.2.3	Domaines d'utilisation	111
12.2.4	Aspect de finition	111
12.2.5	Atouts	111
12.3	Bétons fibrés	112
12.3.1	Normalisation	112
12.3.2	Définition – Composition	112
12.3.3	Domaines d'utilisation	112
12.3.4	Aspect de finition	112
12.4	Bétons fibrés à ultra-hautes performances (BFUP)	113
12.4.1	Recommandations	113
12.4.2	Définition – Composition	113
12.4.3	Domaines d'utilisation	113
12.4.4	Aspect de finition	113
12.5	Bétons autonettoyants et bétons dépolluants	113
12.5.1	Bétons autonettoyants	114
12.5.1.1	Normalisation	114
12.5.1.2	Définition – Composition	114
12.5.1.3	Domaines d'utilisation	114
12.5.1.4	Aspect de finition	114
12.5.1.5	Atouts	114
12.5.2	Bétons dépolluants	114
12.5.2.1	Normalisation	114
12.5.2.2	Définition – Composition	115
12.5.2.3	Domaines d'utilisation	115
12.5.2.4	Aspect de finition	115
12.5.2.5	Atouts	115

13 Descriptif type **117**

13.1	Éléments préfabriqués	117
13.1.1	Textes de référence	117
13.1.2	Étendue des prestations de l'entreprise et du préfabricant	117
13.1.3	Critères de choix de l'entreprise générale ou de gros œuvre	118
13.1.4	Critères de choix du préfabricant	118
13.1.5	Conception des éléments	118
13.1.6	Parements	118
13.1.7	Traitement des retours, angles, chants et arêtes	119
13.1.8	Tolérances dimensionnelles	119
13.1.8.1	Tolérances de positionnement des ouvertures et des inserts	119
13.1.8.2	Tolérances relatives aux longueurs, hauteurs, épaisseurs et dimensions diagonales :	120
13.1.8.3	Tolérances relatives à la planéité des surfaces :	120
13.1.9	Définition de la classe d'exposition	120
13.1.10	Choix des constituants du béton	120
13.1.10.1	Ciment	120
13.1.10.2	Granulats	120
13.1.10.3	Sables	121
13.1.10.4	Additions	121
13.1.10.5	Pigments	121
13.1.10.6	Eau de gâchage	121
13.1.10.7	Adjuvants	121
13.1.11	Armatures et inserts	121
13.1.12	Assemblages et joints d'étanchéité	122
13.1.13	Réalisation des éléments	122
13.1.13.1	Plan d'assurance qualité	122
13.1.13.2	Études	122
13.1.13.3	Coffrages	123
13.1.13.4	Mise en œuvre du béton	123
13.1.13.5	Réception de l'échantillon témoin ou du prototype	123

13.1.3.6	Conformité des éléments	123
13.1.14	Marquage	123
13.1.15	Stockage des éléments	123
13.1.16	Transport et livraison	123
13.1.17	Réception à l'arrivée sur chantier avant déchargement	124
13.1.18	Manutention et stockage sur chantier	124
13.1.19	Mise en place des éléments	124
13.1.20	Protection après pose	124
13.1.21	Reprises, ragréages et rebouchages	124
13.1.22	Antigraffiti et autres produits de protection	124
13.2	Bétons coulés en place	125
13.2.1	Textes de référence	125
13.2.2	Étendue des prestations de l'entreprise	125
13.2.3	Critères de choix de l'entreprise générale	125
13.2.4	Conception des éléments	126
13.2.5	Description des éléments	126
13.2.6	Parements	126
13.2.7	Choix des constituants du béton	126
13.2.7.1	Ciment	126
13.2.7.2	Granulats	126
13.2.7.3	Sables	127
13.2.7.4	Additions	127
13.2.7.5	Pigments	127
13.2.7.6	Eau de gâchage	127
13.2.7.7	Adjuvants	127
13.2.8	Armatures et inserts	127
13.2.8.1	Enrobages	128
13.2.9	Coffrages	128
13.2.9.1	Joints	128
13.2.9.2	Trous de banches	128
13.2.9.3	Angles	128
13.2.9.4	Tolérances de réalisation	128
13.2.10	Mise en œuvre	129
13.2.11	Contrôles	129
13.2.12	Protections des bétons	129

14 Références normatives **131**

14.1	Constituants	131
14.2	Béton	133
14.3	Acier	134
14.4	Produits de protection et de réparation	135
14.5	DTU, Recommandations,...	136

15 Organismes professionnels **139**

Composée d'adhérents experts dans les techniques de production et de mise en œuvre du béton, la commission technique de Betocib s'est donnée pour objectif de rédiger des recommandations et de faire connaître les évolutions qui valorisent la qualité esthétique et technique du béton.

Cette sixième édition des *Prescriptions techniques* (1973, 1984, 1988, 1994, 2000) ne se limite plus au béton de ciment blanc mais s'ouvre à tous les types de béton de ciment, dont les performances en font de plus en plus un matériau d'architecture.

Ce document se veut essentiellement pratique. Il apporte une aide au maître d'ouvrage dans ses choix, au maître d'œuvre dans la conception de son projet, à l'entreprise dans le dialogue qu'elle entretient avec eux.

Ce cahier est un outil de travail qui permettra à chacun d'améliorer sa pratique. C'est également un ouvrage de réflexion qui incite à l'innovation et à la créativité. Il développe les paramètres nécessaires à la conception d'une architecture en béton de qualité. Il traite de sa vie en service dans des chapitres relatifs à l'entretien, la protection et les réparations [\[Voir page 77\]](#). Le document se termine par un descriptif type adapté au projet de l'architecte ou du prescripteur technique [\[Voir page 117\]](#). Une annexe sur les *Sols finis en béton* complète ces *Prescriptions techniques*.

Les reproductions partielles ou citations d'extraits de documents sont autorisées sous réserve de mention d'origine. La reproduction intégrale et la traduction même partielle sont soumises à l'autorisation de BETOCIB.



Les **constituants du béton** sont choisis à partir :

- de la classe d'exposition figurant dans le programme de travaux commandé par le maître d'ouvrage ; cette classe d'environnement est déterminée à partir des spécifications :
 - ✓ de la norme **NF EN 206-1** : *Béton – partie 1 : Spécification, performances, production et conformité.*
 - ✓ du fascicule de documentation **FD P 18-011** : *Bétons – Classification des environnements agressifs.*
 - ✓ pour les éléments préfabriqués, la classe d'exposition est déterminée par la norme de produit et, lorsqu'elle n'existe pas, par la norme **NF EN 13369** : *Règles communes pour les produits préfabriqués en béton ;*
- de l'aspect de parement recherché.

Les principaux constituants sont :

- ciments courants ;
- granulats ;
- additions ;
- colorants et pigments ;
- adjuvants ;
- eau.

1.1 Ciments courants

Contexte normatif

Depuis le 1^{er} avril 2002, les ciments courants doivent être marqués **CE**. Ce marquage :

- atteste leur conformité à la norme harmonisée EN 197-1 ; Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.
- permet à ces ciments de circuler librement au sein de l'espace économique européen.

La marque **NF** volontaire, complémentaire du marquage **CE**, atteste que le ciment qui la porte est conforme au niveau de qualité requis par le marché français.

Les ciments courants doivent être conformes aux spécifications de la norme **NF EN 197-1**. *Ciments – Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants*, qui définit principalement les différents types de ciment, les constituants, les classes de résistance et les valeurs limites spécifiées.

Les ciments courants sont subdivisés :

- en cinq types selon leur composition :
 - ✓ CEM I ciment Portland,
 - ✓ CEM II ciment Portland composé,
 - ✓ CEM III ciment de haut-fourneau,
 - ✓ CEM IV ciment pouzzolanique,
 - ✓ CEM V ciment Portland composé ;
- et selon leur classe de résistance à la compression à 28 jours, mesurée sur des mortiers normalisés :
 - ✓ 32,5 MPa,
 - ✓ 42,5 MPa,
 - ✓ 52,5 MPa.
- selon la couleur : gris ou blanc.

Le ciment blanc est disponible en types CEM I et CEM II.

Sa blancheur est due à la réduction maximale des minéraux colorants notamment l'oxyde de fer, dans les matières premières utilisées et à un process de fabrication spécifique. La blancheur (indice colorimétrique) est une caractéristique non certifiée par le marquage CE. Néanmoins le producteur s'engage à maintenir un niveau de blancheur constant des ciments qu'il fournit.

Remarque

L'indice colorimétrique, noté **L***, est indiqué sur la fiche-produit fournie par le cimentier. Plus l'indice tend vers 100, plus le ciment est clair.

- Caractéristiques complémentaires des ciments :
 - ✓ PM : prise mer **NFP 15-317** : Liants hydrauliques – Ciments pour travaux à la mer.
 - ✓ ES : eaux sulfatées **NF P 15-319** : Liants hydrauliques – Ciments pour travaux en eaux à hautes teneurs en sulfates.
 - ✓ CP : pour la précontrainte **NF P 15-318** : Liants hydrauliques – Ciments à teneur en sulfures limitée pour béton précontraint.

Réaction sulfatique interne (RSI)

La RSI, ou **DEF** (*Delayed Ettringite Formation*), est une réaction de gonflement interne du béton qui intervient dans des conditions très particulières. Si les recommandations citées ci-dessous ne sont pas respectées, on peut les rencontrer sur deux types de béton dont l'élévation de température est importante et maintenue dans le temps :

- les bétons traités thermiquement ;
- les bétons coulés en place dans des pièces dites critiques (par exemple : pièces massives en béton).

Remarque

C'est une pathologie rare et très peu d'ouvrages atteints ont été recensés.

Conditions particulières favorisant la réaction sulfatique interne

Les mécanismes à l'origine de ce phénomène ne sont pas à ce jour parfaitement connus. La conjonction de plusieurs paramètres est indispensable pour amorcer la réaction :

- température élevée pendant une durée importante ;
- eau au contact des éléments en béton (par exemple : défaut d'étanchéité, zone de marnage, zone d'immersion etc.) ;
- teneurs en sulfates et en aluminates du ciment ;
- teneurs en alcalins actifs du béton.

Le LCPC a édité un guide technique en août 2007 intitulé **Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne**. Ce document détaille en plusieurs étapes les dispositions nécessaires pour se prémunir de la réaction sulfatique interne :

- définir la catégorie de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage (I, II ou III) ;
- établir les classes d'exposition vis-à-vis de la réaction sulfatique interne (XH1, XH2 ou XH3) ;
- déterminer le niveau de prévention au regard des deux premières étapes (As, Bs, Cs ou Ds) (le choix définitif du niveau de prévention incombe au maître d'ouvrage) ;
- en fonction du niveau de prévention, diverses précautions à respecter sont proposées.

À noter que la norme **NF EN 13369** : Règles communes pour les produits préfabriqués en béton, donne également des recommandations en fonction de l'environnement, sur :

- la température maximale du traitement thermique ;
- une teneur limite en sulfates du ciment et en alcalins du béton.

1.2 Granulats pour bétons hydrauliques

1.2.1 Contexte normatif

Granulats légers (masse volumique réelle < 2t/m ³) pour béton, mortiers et coulis	Granulats pour béton	Granulats pour mortiers
NF EN 13055-1	NF EN 12620	NF EN 13139
Éléments de définition, conformité et codification (pour bétons hydrauliques et mortiers)		
XP P 18-545		

Le granulats est un ensemble de grains minéraux appelés fillers, sables, graves et gravillons suivant leurs dimensions comprises entre 0 mm et 63 mm.

Il est désigné par d/D, où d et D représentent respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions du produit.

Granulats les plus utilisés		
Familles	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	0/D	D < 2 mm avec au moins 85 % passant à 1,25 mm et 70 % de passant à 0,063 mm
Sables	0/D	d = 0 ; D ≤ 4 mm
Graves	0/D	d = 0 ; 4 < D ≤ 45 mm
Gravillons	d/D	d = 2 mm ; 4 < D ≤ 63 mm

En général, les granulats représentent plus de 70 % en poids du béton. Ce sont des composants majeurs de l'ouvrage puisqu'ils conditionnent sa résistance mécanique, sa durabilité et son aspect.

1.2.2 Caractéristiques des granulats

Les granulats sont caractérisés par un certain nombre de propriétés liées à leur origine (caractéristiques intrinsèques) et à leur mode de fabrication (caractéristiques de fabrication). Ce n'est pas tant la valeur des caractéristiques qui importe pour la confection des bétons mais leur régularité. La **norme XP P 18-545** : *Granulats – Éléments de définition, conformité et codification* précise les seuils et les modes de variation autorisés de ces paramètres en fonction de leurs utilisations.

Les granulats doivent provenir de roches stables, inaltérables à l'air, à l'eau et au gel.

1.2.2.1 Caractéristiques intrinsèques des granulats

Elles sont liées à la qualité de la roche exploitée :

- résistance à la fragmentation ;
- résistance à l'usure ;
- résistance au polissage ;
- absorption d'eau ;
- sensibilité au gel/dégel ;
- réactivité aux alcalis ;
- masse volumique réelle, etc.

Résistance à la fragmentation

La résistance mécanique du béton est fortement liée à la résistance à la fragmentation des gravillons. Cette dernière est mesurée par un essai de résistance aux chocs qui permet de déterminer le coefficient Los Angeles (LA) : plus il est faible, plus la résistance du granulat est élevée.

Résistance à l'usure

La résistance à l'usure des granulats est déterminée par l'essai Micro-Deval en présence d'eau. Plus le coefficient MDE est faible, plus le granulat est résistant à l'attrition.

Résistance au polissage

Cette caractéristique concerne les granulats utilisés pour la réalisation de couches de roulement. Plus le coefficient de polissage accéléré (CPA) est élevé, plus la résistance au polissage est importante.

Absorption d'eau

Le coefficient Ab mesure la capacité d'absorption d'eau d'un granulat ; plus il est élevé, plus le matériau est absorbant. Pour les granulats les plus utilisés, le coefficient Ab doit être inférieur à 5 %, qu'il s'agisse d'un gravillon ou d'un sable.

Sensibilité au gel

Pour des ouvrages soumis à des risques de gel/dégel, il convient de choisir des gravillons présentant des caractéristiques de résistance au gel/dégel conformes à la [norme NF EN 12620](#) : *Granulats pour béton*.

Cette résistance est particulièrement influencée par les coefficients d'absorption d'eau et la résistance mécanique des granulats (Los Angeles).

Réactivité aux alcalis

La réaction alcali-granulats se produit sous certaines conditions d'environnement entre les alcalins actifs (potasse : K_2O et soude : Na_2O) présents dans le béton et la silice réactive de certains granulats. Elle peut engendrer des gonflements internes provoquant des désordres par fissuration.

Cette réaction très lente se produit au cœur du béton aussi bien qu'à sa périphérie. On ne sait ni l'interrompre ni porter remède aux dégradations qu'elle engendre, d'où la nécessité de la prévenir.

Trois conditions sont nécessaires au développement de réactions de type alcali-granulats dans un béton :

- la teneur en silice réactive dans les granulats ;
- la teneur en alcalins actifs dans le béton ;
- la présence d'eau.

Le LCPC a diffusé, en juin 1994, une circulaire intitulée [Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction](#). Ce document précise les principes de la démarche préventive qui passe par les étapes suivantes :

- caractérisation de l'ouvrage en fonction du niveau du risque (admissible à inacceptable) ;
- caractérisation de l'environnement : 4 classes d'exposition ;
- détermination du niveau de prévention lié à la catégorie de l'ouvrage et de la classe d'exposition (3 niveaux : A, B et C) ;
- à chaque niveau de prévention correspondent des précautions particulières qui passent souvent par la validation des formulations de béton : bilan des alcalins, tests sur granulats, tests de performances sur béton, références locales d'emploi des bétons notamment.

Si le niveau de prévention requis est le plus élevé, l'attention doit porter sur la qualité des granulats. Le producteur de granulats doit fournir à tout utilisateur au moins l'une des garanties exigées par la circulaire du LCPC vis-à-vis de l'alcali-réaction.

Pour les niveaux de prévention inférieurs, les fournisseurs de ciments et d'adjuvants peuvent être amenés à donner les résultats statistiques des teneurs en alcalins de leurs produits.

Les granulats sont désignés comme étant non réactifs (NR) notamment si leur teneur en silice est strictement inférieure à 4 %. Dans le cas contraire, ils peuvent être potentiellement réactifs (PR) ou potentiellement réactifs à effet de pessimum (PRP). Dans ces deux cas, il est souvent nécessaire d'effectuer une étude de formulation du béton afin de valider le [risque d'alcali-réaction](#).

Certaines additions minérales sont susceptibles de contribuer plus ou moins efficacement à la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction (cendres volantes, fumées de silice, pouzzolanes naturelles ou artificielles, laitiers).

Pour juger de l'efficacité des ajouts minéraux sur la réactivité d'une formule de béton, on recourt souvent à un essai de gonflement accéléré.

Soufre total/Sulfates/Chlorures

Les caractéristiques chimiques liées au soufre total, sulfates et chlorures sont à prendre en compte en application de la norme **NF EN 12620** : *Granulats pour béton*.

Couleur des granulats

La couleur d'un granulat apparent doit être spécifiée. Elle doit être uniforme et régulière.

Voir Chapitre 4 *Aspects de surface, page 37*

1.2.2.2 Critères complémentaires

Les critères complémentaires influençant directement l'aspect de parement du béton sont les suivants.

Caractéristiques recherchées sur le béton	Facteurs influents des granulats
Mise en oeuvre	Angularité
	Forme des granulats
	Granularité
	Absorption d'eau
Esthétique	Couleur
	Nature minéralogique
	Pourcentage d'éléments fins
	Matières organiques
	Impuretés prohibées
	Indice de propreté : - sables (équivalent de sable, essai au bleu) - gravillons
Mécanique	Coefficient d'aplatissement
	Résistance à la fragmentation
	Résistance au polissage
	Résistance à l'usure
	Forme
	Nature minéralogique
	Matières organiques
	Indice de propreté
	Impuretés prohibées
	Alcali-réaction
	Soufre total et sulfates
	Gel/dégel
Chlorures	

Granularité

Il s'agit de la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

Angularité des granulats alluvionnaires et marins

L'angularité est appréciée en fonction de l'indice et du rapport de concassage. Pour les bétons hydrauliques, on prend en compte l'indice de concassage (IC) : c'est le pourcentage d'éléments supérieurs au D du granulats contenu dans le matériau d'origine soumis au concassage. Il permet de quantifier les grains concassés contenus dans un granulats.

Forme des gravillons

Elle est mesurée par le coefficient d'aplatissement A : plus celui-ci est élevé, plus le gravillon contient de grains plats, allongés ou en aiguilles qui rendent le malaxage et la mise en œuvre difficiles.

Propreté des sables

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la quantité d'éléments très fins d'origine calcaire ou argileuse contenus dans le sable. Plus la valeur de propreté (SE) est élevée, plus le sable est propre.

L'essai au bleu de méthylène permet de caractériser la nature de ces fines :

- s'il s'agit de fines calcaires, le sable est apte à entrer dans la composition du béton ;
- s'il s'agit de fines argileuses en grande quantité, il n'est pas adapté.

Propreté des gravillons

Les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des défauts d'adhérence pâte/granulats préjudiciables à la résistance du béton.

Impuretés prohibées

Les granulats ne doivent pas contenir d'impuretés telles que charbons, pyrite, scories, gypse et mica.

Le mica en très faible quantité n'est pas nuisible et contribue à l'effet décoratif.

Matières organiques

Elles affaiblissent les résistances et peuvent provoquer des taches de couleur brune.

1.3 Additions pour bétons hydrauliques

Les additions sont des matériaux minéraux finement divisés qui, ajoutées au béton, améliorent certaines de ses propriétés ou lui confèrent des propriétés particulières. Les additions peuvent :

- avoir un caractère pouzzolanique ou un caractère hydraulique latent ;
- améliorer la microstructure de la pâte de ciment par réaction avec ses constituants.
- améliorer la compacité du béton en optimisant le squelette granulaire.

À la date de parution du présent guide, on compte cinq types d'additions normalisées : calcaires, siliceuses, fumées de silice, laitiers vitrifiés, cendres volantes.

Une norme est en cours d'élaboration pour couvrir l'utilisation des métakaolins dans les bétons.

1.3.1 Contexte normatif

Les additions pour béton hydraulique sont normalisées :

- **NF P 18-501** : Additions pour béton hydraulique – Fillers ;
- **NF P 15167-1** : Laitier granulé de haut-fourneau moulu pour utilisation dans le béton, mortier et coulis - Partie 1 : définitions, exigences et critères de conformité.
- **NF P 18-508** : Additions pour béton hydraulique – Additions calcaires – spécifications et critères de conformité ;
- **NF P 18-509** : Additions pour béton hydraulique – Additions siliceuses – spécifications et critères de conformité ;
- **NF EN 450-1+A1** : Cendres volantes pour béton – Partie 1 : définitions, spécifications et critères de conformité ;
- **NF EN 13263-1** : Fumée de silice pour béton – Partie 1 : définitions, exigences et critères de conformité.

Leurs conditions d'utilisation sont définies dans la norme **NF EN 206-1**. Béton – Partie 1 : spécifications, performances, production et conformité.

L'essentiel à savoir

Caractéristiques recherchées sur le béton	Facteurs influents des additions
Augmentation de la résistance :	
- à long terme (effet pouzzolanique)	- Cendres volantes - Fumées de silice - Laitier
- à court terme (effet pouzzolanique)	Fumées de silice
- amélioration de la compacité	Toutes les additions
Diminution de la porosité	
Diminution des efflorescences	- Cendres volantes - Fumées de silice - Laitier
Durabilité	
Béton haute performance (BHP)	Fumées de silice
Amélioration de l'aspect de parement :	
- des bétons blancs	- Additions calcaires - Additions siliceuses
- des autres bétons	Toutes les additions
Diminution des risques liés à l'alcali-réaction	- Cendres volantes - Fumées de silice - Laitier

Les métakaolins améliorent l'aspect du parement des bétons, les résistances mécaniques et la durabilité.

1.3.2 Correcteur granulaire

L'usage de granulats lavés dans la composition des bétons a pour conséquence un manque d'éléments fins (< 0,08 mm). Ceux-ci sont compensables par des fillers conformes à la **NF EN 12620** : *Granulats pour béton*.

1.4 Pigments de coloration

1.4.1 Définition

Les pigments sont des substances minérales colorantes réduites en poudre par broyage. Ils assurent la pérennité de la coloration des bétons.

Ils doivent être conformes à la norme **NF EN 12878** : *Pigments de coloration des matériaux de construction à base de ciment et/ou de chaux – Spécifications et méthodes d'essai*.

1.4.2 Qualités et propriétés des pigments pour bétons apparents

- Stabilité chimique vis-à-vis du ciment, des granulats et des adjuvants.
- Insolubilité dans l'eau.
- Insensibilité à la lumière.
- Insensibilité aux températures extrêmes auxquelles est soumis le béton.
- Pouvoir colorant suffisant pour limiter le dosage en pigment.

Remarque

Un fort pourcentage de pigment risque d'affecter les résistances mécaniques du béton.

1.4.3 Types de pigments

Les pigments utilisés pour colorer le béton sont toujours d'origine minérale.

1.4.3.1 Pigments de synthèse

Ce sont principalement des oxydes de fer, chrome, cobalt ou titane.

Ces pigments sont disponibles :

- soit secs (en poudre, en granulés ou en microbilles) ;
- soit en suspension dans l'eau (*slurry*).

Ils garantissent la pérennité de la coloration du béton.

1.4.3.2 Pigments naturels

Ce sont des terres colorées naturellement par des oxydes ou hydroxydes métalliques, principalement le fer. Les plus connus sont les ocres.

Il existe des pigments naturels convenablement traités et affinés qui donnent de bons résultats tant esthétiques que techniques. Leur pouvoir colorant sera toujours inférieur à celui d'oxydes purs.

On s'assurera auprès du producteur de la qualité de ses installations de traitement et de contrôle et on respectera ses indications de mise en œuvre.

1.5 Adjuvants

1.5.1 Contexte normatif

NF EN 934-2	Marquage CE	Marque NF
Adjuvants pour béton, mortier et coulis – Partie 2 : Adjuvants pour béton – Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage	Apposé par le fabricant, il est obligatoire pour la libre circulation des produits dans tous l'espace européen, quel que soit le pays d'origine	C'est une certification volontaire, un engagement de qualité

1.5.2 Définition

Un adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5 % en masse de la teneur en ciment du béton, pour modifier les propriétés du béton à l'état frais et/ou durci. Les adjuvants sont classés par familles de produits suivant leur action.

Ils permettent, selon le cas :

- d'améliorer les conditions de mise en œuvre du béton ;
- d'améliorer les performances mécaniques ;
- d'augmenter la durabilité des bétons.

Les adjuvants sont un constituant à part entière du béton.

1.5.3 Différentes familles d'adjuvants

La norme **NF EN 934-2** définit 11 familles d'adjuvants pour béton classées selon leurs propriétés sur les bétons frais ou durcis :

- plastifiants/réducteurs d'eau ;
- superplastifiants/hauts réducteurs d'eau ;
- hydrofuges de masse ;
- entraîneurs d'air ;

- accélérateurs de prise ;
- accélérateurs de durcissement ;
- retardateurs de prise ;
- rétenteurs d'eau ;
- plastifiants/réducteurs d'eau/retardateurs de prise ;
- superplastifiants hauts réducteurs d'eau et retardateurs de prise ;
- plastifiants/réducteurs d'eau/accélérateurs de prise.

1.5.3.1 Modification du comportement du béton frais

Le choix du produit dépend des exigences de maniabilité, de résistance et de durabilité requises. Le but de ces adjuvants est double :

- améliorer la mise en œuvre des bétons grâce à une meilleure maniabilité, ce qui contribue à obtenir l'aspect de parement recherché ;
- augmenter les performances mécaniques et la durabilité.

Les plastifiants/réducteurs d'eau (60 % des adjuvants utilisés) sont introduits dans l'eau de gâchage.

Les superplastifiants/haut réducteur d'eau sont introduits en fin de malaxage de préférence.

1.5.3.2. Modification de la prise et du durcissement du béton

Les adjuvants agissent sur la cinétique d'hydratation du ciment en l'accélérateur ou en la retardant. Les produits de cure contribuent à la prise du béton (voir paragraphe 6.3)

Adjuvant	Fonction	Remarques
Accélérateurs de prise	Réduire le temps de prise nécessaire pour passer de l'état plastique à l'état rigide	- Ils sont recommandés pour des bétonnages par temps froid afin de limiter les effets des basses températures qui retardent naturellement la prise. - Les accélérateurs de prise chlorés ne sont acceptés que dans les bétons non armés.
Accélérateurs de durcissement	Accélérer le développement des résistances mécaniques pour aboutir plus rapidement au niveau de résistance exigé	Les accélérateurs de durcissement chlorés ne sont acceptés que dans les bétons non armés.
Retardateurs de prise	Augmenter le temps de prise du béton pour éviter des pertes de maniabilité précoces, souvent liées à des températures élevées	Ils sont recommandés pour des bétonnages par temps chaud

1.5.3.3 Modification du comportement du béton durci

Adjuvant	Fonction	Remarques
Hydrofuges de masse	Rendre le béton : - plus imperméable à l'eau ; - moins sensible aux absorptions capillaires.	Ils diminuent la résistance du béton.
Entraîneurs d'air	Introduire dans le béton un réseau de microbulles d'air calibrées qui occuperont un volume suffisant pour servir de « vase d'expansion » à l'eau contenue dans le béton en période de gel.	- Ils sont recommandés pour les bétons soumis au gel ou à des cycles gel/dégel. - Ils améliorent la maniabilité (onctuosité) dans la mise en œuvre du béton.

1.5.3.4 Agents à effets spécifiques

Certains produits ne sont soumis à aucune norme.

Agents	Fonction
Agents de cohésion	Limitent la ségrégation, le ressuage et le tassement dans les bétons très fluides (pompés ou autoplaçants).
Rétenteurs d'eau	Limitent les risques de délavage des bétons coulés en contact avec l'eau.
Agents de pompage	Améliorent la pompabilité des bétons.
Agents de remplissage	Favorisent la mise en place de béton sec préfabriqué.
Agents limitateurs de retrait	Réduisent le faïençage et la microfissure (ne remplacent pas la cure, qui reste obligatoire).

1.5.4 Choix des adjuvants pour les bétons colorés

Bien qu'introduits en faible quantité dans le béton, les adjuvants peuvent modifier sa coloration. Il est essentiel de vérifier que :

- la couleur de l'adjuvant n'influence pas la teinte finale du béton, surtout lorsqu'il s'agit d'un béton blanc ou clair ;
- l'ajout d'accélérateur ou de retardateur, selon les conditions de température, n'entraîne pas d'altération de la teinte du béton.

1.5.5 Normalisation

- Utiliser des adjuvants normalisés conformes à la norme **NF EN 934-2**. *Adjuvants pour béton, mortier et coulis – Partie 2 – Adjuvants pour bétons.*
- Réaliser des études en laboratoire, des échantillons et des essais de convenance sur le terrain pour vérifier les propriétés requises par l'architecte.
- Respecter les notices techniques ; contacter le fournisseur pour toute utilisation non prescrite par la notice technique.

1.6 Eau de gâchage

Nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite la mise en œuvre du béton. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles telles que matières organiques et alcalins. L'eau potable convient toujours.

Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des bétons sont précisées dans la norme **NF EN 1008** : *Eau de gâchage pour bétons – Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton telle que l'eau de gâchage pour bétons.*

Le gâchage à l'eau de mer ou saumâtre est à proscrire pour les bétons armés et précontraints.

Remarque

Un excès d'eau diminue les résistances mécaniques et la durabilité du béton.

Voir Chapitre 5 *Formulation, fabrication, transport, page 43*

Viaduc de Pimil (44)
Marc Mimram, architecte —Photo : DR



Barrage du Mont-St-Michel (50)
Luc Weizmann, architecte —Photo : QUILLE

2.1 Généralités

Outre leur rôle courant d'utilisation dans la technique du béton armé **Eurocode 2 (NF EN 1992-1-1)** : *Calculs des structures en béton*, les armatures doivent répondre aussi à des fonctions plus spécifiques aux bétons apparents. Leur définition et leur positionnement doivent être étudiés pour satisfaire aux objectifs suivants :

- assurer la reprise des efforts au cours des phases de démoulage et de manutention des bétons jeunes, sans incidence sur les parements réputés finis ;
- éviter les risques de fissuration en parements par une répartition judicieuse des armatures ;
- respecter les enrobages imposés pour exclure tout risque de spectre et d'oxydation des armatures dans le temps, donc de dégradation du béton ;
- assurer l'homogénéité du parement, grâce au bon écoulement du béton entre coffrages et armatures.

Les armatures en acier pour béton armé doivent bénéficier du droit d'usage de la marque NF et du marquage CE.

2.2 Nature

Destinées à renforcer le béton, les armatures se présentent sous forme d'assemblages de barres et de cadres en acier :

- fers à béton, lisses ou à haute adhérence, en barres droites ou façonnées et assemblées ;
 - ✓ **NF EN 10080** : *Aciers pour l'armature du béton – Aciers soudables pour béton armé – Généralités*,
 - ✓ **NF A 35-015** : *Aciers pour béton armé – Aciers soudables lisses de classe technique B235X – Barres et couronnes*,
 - ✓ **NF A 35-016-1** : *Aciers pour béton armé – Aciers soudables à verrous – Partie 1 : barres et couronnes*,
 - ✓ **NF A 35-016-2** : *Aciers pour béton armé – Aciers soudables à verrous – Partie 2 : treillis soudés*,
 - ✓ **NF A 35-017** : *Aciers pour béton armé – Barres et couronnes non soudables à verrous*,
 - ✓ **NF A 35-019-1** : *Aciers pour béton armé – Aciers soudables à empreintes. – Partie 1 : barres et couronnes*,
 - ✓ **NF A 35-019-2** : *Aciers pour béton armé – Aciers soudables à empreintes. – Partie 2 : treillis soudés* ;
- treillis soudés, en nappes ou façonnés :

Ils doivent être conformes aux normes **NF A 35-016-2**, **NF A 35-019-2** et **NF A 35-024** : *Aciers pour béton armé – Treillis soudés de surface constitués de fils de diamètre inférieur à 5 mm* ;

- câbles et fils utilisés en précontrainte :

Ces matériaux sont stockés à l'abri des intempéries.

D'une façon générale, les transports et manutentions sont organisés et effectués de façon que les armatures ne subissent pas d'altérations (déformations permanentes, blessures, souillures, ruptures d'assemblages).

Les aciers utilisés répondront aux normes en vigueur pour les calculs de résistances auxquelles ils sont destinés. Les fers à béton ou treillis seront de préférence façonnés puis assemblés par soudure dans des ateliers ou postes de travail adaptés, avant mise en place dans les coffrages afin de réduire les manipulations sur les fonds de coffrages préparés.

2.3 Mise en place

Les ouvrages en béton étant souvent composés d'éléments de formes variées, il existe un rapport étroit entre la densité d'armatures, la granulométrie du béton, le type de parement à réaliser et le mode de vibration utilisé.

Dans le cas d'éléments préfabriqués, il y a lieu d'ajouter des aciers de manutention, munis ou non de dispositifs annexes de levage. Quand ces aciers sont à proximité des parements, des précautions de renfort et d'enrobage sont à prévoir.

Les armatures, dimensionnées selon les règles en vigueur, doivent toujours être enrobées d'un minimum de 30 mm après traitement des parements finis. Pour des applications spécifiques (bouchardage...) et des environnements

particuliers (zone maritime, environnement agressif, incendie), les épaisseurs des enrobages sont augmentées (**Eurocode 2**).

Les cages d'armature doivent être indéformables lors du transport, du bétonnage et de la vibration.

2.3.1 Cales

Les armatures doivent être maintenues en place pendant le coulage et la vibration. Il est recommandé de mettre en œuvre 1 cale/m².

Les cales (en plastique ou en béton) sont choisies sur catalogues de fabricants, pour répondre à chaque utilisation spécifique :

- sur fonds de tables ;
- sur retours latéraux ;
- pour coulages verticaux.

Leur teinte et leur forme (impact sur le parement) sont choisies en fonction de leur compatibilité avec l'aspect du parement à obtenir. Les cales en béton sont réalisées dans la famille du béton à mettre en œuvre.

2.3.2 Suspentes

Pour certaines catégories de parement, une solution d'armatures suspendues supprimant tout calage est préférable. Les suspentes sont étudiées pour garantir les enrobages et maintenir les armatures en position durant les phases de coulage et de vibration.

2.3.4 Armatures en attente

Des boîtes d'armatures et des coupleurs sont employés afin d'éviter de dégrader les faces coffrantes et de préserver l'étanchéité.

Les passages d'armatures en attente dans les parois de coffrages doivent être étudiés soigneusement pour limiter les fuites de laitance, ce dispositif étant complété par un système d'étanchéité.

Les passages momentanément inutilisés sont obturés lors du coulage du béton.

2.3.5 Dispositions vis-à-vis du bétonnage

Afin de réduire la hauteur de chute du béton à 1 m lors du coulage, prévoir le passage d'un tube plongeur dans le cas de bétonnage vertical et de forte densité d'armatures.

Prévoir des passages suffisants pour permettre la vibration interne du béton (cheminées de bétonnage).

2.4 Protection

Les fils de ligature sont de préférence en acier galvanisé.

Outre les dispositifs de sécurité, après démoulage les armatures en attente sont protégées contre l'oxydation qui risque de tacher le parement ; elles sont passivées ou recouvertes de barbotine, ou encore équipées de systèmes de protection (manchons,...).



Médiathèque à Gentilly (94)
Richard & Schoeller, architectes — Photo : David Boureau

3.1 Généralités

Le terme coffrage englobe à la fois les coffrages de chantier et les moules utilisés en usine de préfabrication. En général, ces deux familles se différencient par la vibration interne pour les coffrages, externe pour les moules.

Les coffrages sont des éléments provisoires de construction destinés à contenir le béton frais. Les coffrages-outils sont fabriqués industriellement, dans des versions standards pour les coffrages courants droits ou courbes. Ils sont fabriqués à la demande pour des ouvrages spécifiques exigeant des coffrages ou des moules spéciaux.

Les coffrages grimpants et les coffrages glissants sont utilisés sur les constructions de grande hauteur. Pour les premiers, c'est un jeu de deux séries de banches qui se superposent alternativement ; pour les seconds, c'est un coffrage qui s'élève en glissant au rythme moyen de 20 cm par heure.

Les critères de qualité demandés aux coffrages sont de résister à la poussée du béton, d'être étanches, de livrer des faces conformes aux prescriptions architecturales, de se démonter facilement. La qualité d'un coffrage est aussi de pouvoir se dégager facilement de la pièce de béton afin d'éviter les épaufrures, difficilement réparables. Les coffrages peuvent comporter des dépouilles ou angles ouverts afin de faciliter le démoulage.

La peau coffrante sera constituée de matériaux divers : bois, acier, élastomères, matières plastiques (polyester armé par exemple). Le choix de ces matériaux dépend du nombre de pièces à réaliser et de la complexité de la réalisation : forme générale de l'élément, reliefs et modénatures, aspects de surface. Les coffrages doivent être parfaitement étanches et de rigidité uniforme pour permettre la répartition homogène de la vibration.

3.2 Nature des coffrages

3.2.1 Poussée du béton

La fonction première d'un coffrage est de contenir le béton. Il est donc nécessaire de connaître les origines des poussées avant de le concevoir ou de le mettre en place. Les banches fabriquées actuellement sont conçues pour résister à des pressions de 60 kN/m² à 150 kN/m². Il faut donc analyser les différents paramètres de poussée pour ne pas infliger aux coffrages des pressions supérieures à ces valeurs. Les principaux paramètres sont les suivants :

- consistance du béton : plus le béton est fluide, plus la pression est forte. La forme des granulats a également une incidence sur la fluidité : les granulats roulés se mettent mieux en place que les concassés. Pour les bétons autoplaçants, qui sont coulés sur des hauteurs allant jusqu'à 14 m, la pression hydrostatique ne doit pas dépasser la résistance du coffrage (banches et tiges) ;
- vitesse de coulage, ou vitesse ascensionnelle, exprimée en mètre cube par heure (m³/h) : plus la vitesse de bétonnage est élevée, plus la pression s'accroît ;
- action de la vibration : amplifier la pression ;
- hauteur de remplissage dans le coffrage : plus celle-ci est haute, plus elle exerce de poussées hydrostatiques ; pour limiter la poussée hydrostatique, veiller à mettre en œuvre avec une vitesse de coulage et une hauteur réduites ;
- hauteur de déversement dans le coffrage : une trop grande hauteur de déversement engendre de la ségrégation et du bullage : la hauteur de chute du béton ne doit pas dépasser 1 mètre. Une goulotte ou une manchette permet de réguler cette hauteur ;
- temps de prise : il est fonction :
 - ✓ du type de ciment ;
 - ✓ de l'adjuvantation (notamment en présence d'un retardateur ou d'un accélérateur de prise) ;
 - ✓ de la température extérieure.

3.2.2 Matière des peaux coffrantes

L'essentiel à savoir

Caractéristiques recherchées sur le béton	Facteurs influents
Couleur du béton	Tout type de coffrage sauf coffrage bois absorbant Propreté Étanchéité
Aspect de parement	Rigidité Étanchéité Propreté Tolérances dimensionnelles
Calepinage de réalisation des façades	Tout type de coffrage
Grande hauteur (jusqu'à 14 m)	Coffrage métal
Forme complexe en petite série	Coffrage bois

La qualité des peaux coffrantes est déterminante sur le parement fini du béton. Le choix de la matière dépend des critères de qualité du parement, conciliables avec les impératifs de construction. Une peau coffrante doit rester rigide et indéformable en absorbant au maximum les effets de la vibration tout en restant le plus possible imperméable à l'eau de gâchage du béton. Elle ne doit pas provoquer de réactions chimiques ni avec les agents de démoulage ni avec le béton.

Les matières les plus utilisées pour les coffrages verticaux (banches) sont l'acier et le bois brut ou contreplaqué. On retrouve également dans les coffrages d'autres matières moins courantes telles que : polyester armé, polyuréthane, polystyrène expansé, plâtre et béton, matrice en élastomère.

Pour des parements contigus, dans le but d'obtenir un aspect final identique, les peaux coffrantes doivent être de même nature et de même composition.

3.2.3 Matrices de coffrages

Sur un béton lisse, les défauts de surface sont immédiatement détectables. Avec le jeu des ombres et de la lumière, les bétons structurés offrent un moyen efficace pour créer des parements originaux où les éventuels défauts d'aspect ne se remarquent pas ou peu. Pour créer de tels effets, que ce soit en usine pour des panneaux préfabriqués ou sur chantier, il suffit d'équiper les coffrages de peaux coffrantes souples en élastomère polyuréthane ou en polystyrène (matrices).

Les matrices sont mises en place en les collant directement sur le coffrage ou sur un contreplaqué servant d'intermédiaire de pose afin d'en faciliter le démontage en fin de chantier.

Tous les bétons plastifiés et les BAP permettent d'obtenir de bons résultats avec ce type de coffrage.

Les fabricants proposent leurs modèles en différentes matières à choisir selon le nombre de réutilisations souhaitées : d'une à cent.

En dehors des modèles « catalogue », les architectes peuvent demander aux fabricants de matrice de créer des modèles originaux correspondant à une forme particulière : ils doivent fournir des fichiers informatiques de leurs dessins ou se mettre en relation avec un sculpteur ou plasticien qui créera un moule en plâtre ou en « plastiline » (sorte de pâte à modeler retaillable) afin de fabriquer un négatif. De telles créations ont une incidence non négligeable sur le prix du coffrage et sur le délai d'approvisionnement.

3.2.4 Acier

Résistant, facile à travailler et à usiner, l'acier constitue des coffrages de qualité avec de nombreuses garanties de réemploi.

Il faut choisir des tôles de bonne qualité résistante à la rouille. Les mieux appropriées sont les tôles de premier choix, planées, d'une épaisseur de 5 mm, voire plus selon la rigidité nécessaire.

Les soudures doivent être continues, meulées finement et les trous de fixation des mannequins soigneusement rebouchés au mastic. À cet effet, il est préférable d'utiliser des blocs magnétiques de fixation qui évitent le percement de la tôle. Celle-ci doit être traitée dès le premier usage afin d'éviter des taches sur le parement.

3.2.5 Contreplaqué

La fragilité du contreplaqué exige des précautions d'emploi pour préserver sa peau des éraflures et des coups.

L'épaisseur des panneaux utilisés dans les banches n'est jamais inférieure à 19 mm ; la plus courante est de 22 mm. Les coffrages courbes réalisés sur place sont des contreplaqués de 5 mm renforcés par un couchis de liteaux.

Les contreplaqués utilisés en coffrage sont de qualité CTBX (ou marine) dont les colles peuvent résister aux conditions climatiques imposées aux ouvrages exposés aux intempéries. La peau des contreplaqués est peinte ou bakélisée, rendant leur surface glacée afin d'éviter l'absorption d'eau par le coffrage.

Il est conseillé de faire des essais pour contrôler le comportement du contreplaqué vis-à-vis du parement (tanin, plissement, détérioration par vibreurs...).

3.2.6 Bois veiné

Il faut impérativement choisir un bois sans tanin. Le chêne et le châtaignier sont exclus. Les résineux et le bois exotique se prêtent le mieux à cet usage. Le bois est débité :

- soit en planches posées jointivement : les planches sont posées jointivement avec obligation d'étancher les joints ;
- soit en lames bouvetées : les lames s'emboîtent par rainures et languettes.

Le nombre de réemplois des bois veinés est très limité ; il est fonction du comportement des planches qui risquent de se « gondoler » par l'action de l'eau et de la chaleur ou du retrait naturel du bois.

L'aspect du bois peut être laissé brut, sablé ou raboté mais dans tous les cas il doit être revêtu d'un vernis, d'une peinture de type polyuréthane ou d'une résine chimiquement neutre pour le rendre non absorbant. La protection sur les deux faces de la planche est recommandée pour éviter une déformation trop rapide. Le bois est rarement utilisé brut.

Le document du CATED, Utilisation des bois sur les chantiers (1992), fournit des indications sur le choix du bois.

3.3 Étanchéité des coffrages

L'étanchéité des coffrages est une condition indispensable à la qualité des parements pour éviter les fuites de laitance. Le serrage correct des coffrages conditionne leur étanchéité.

Les endroits les plus exposés aux fuites se situent aux jonctions des éléments de coffrage (entre deux banches), en pied de coffrage, à l'ajustage des mannequins, aux arrêts de coulage.

L'étanchéité du pied de coffrage est assurée par une talonnette constituée d'une bande continue de béton coulée sur 10 cm de hauteur. Une étanchéité par un joint mousse cellulaire étanche est nécessaire.

Les autres endroits sont étanchés à l'aide de joints préformés, fortement comprimés au moment du serrage du coffrage. Ces joints doivent résister aux températures dues au dégagement de chaleur du béton et aux actions chimiques de certaines huiles de décoffrage.

Voir Chapitre 7 *Décoffrage*, page 55

Le colmatage des joints par une bande adhésive est une solution acceptable pour un parement destiné à être revêtu. Il est à proscrire pour un parement brut ; la laitance est contenue mais l'empreinte de la bande reste apparente sur le parement : on fait un complément d'étanchéité avec un joint élastomère à la pompe.

3.4 Calepinage - Modénature

Il n'est pas toujours facile de dissimuler parfaitement les jonctions de coffrage, notamment aux reprises de bétonnage, à cause des différences d'affleurement. On les fera coïncider avec des détails de modénature : joints, faux joints, rainures, arêtes.

Les cônes d'écartement, les cales d'armatures et les douilles de levage laissent des traces à la surface du béton. Les trous laissés par les cônes doivent être rebouchés le plus souvent avec un mortier de composition identique à celle du béton.

Tous ces points de détails architecturaux sont à prendre en compte au moment de la réalisation du plan de calepinage réalisé par le bureau des méthodes de l'entreprise.

Les gabarits de transport sont à prendre en compte pour le dimensionnement des éléments préfabriqués.

3.5. Propreté des coffrages

Les coffrages doivent être propres, en particulier :

- avant application d'un agent de démoulage, les coffrages sont débarrassés de toute souillure susceptible de tacher la surface du béton ; la finition du nettoyage est assurée à l'air comprimé ;
- les coffrages métalliques subissent un décapage avant la première utilisation ;
- en cas de réemploi, les panneaux de coffrages sont nettoyés, remis en état et protégés des intempéries ;
- aucun élément de fixation (tête-de-clou, etc.) ne doit rester en saillie sur les coffrages.

Lorsqu'un coffrage est employé plusieurs fois dans un ouvrage, il est important de conserver pour chacune des parties un temps de coffrage identique pour éviter les nuances de teinte d'un panneau à l'autre.

Le coffrage retient l'humidité du béton nécessaire à son hydratation. Pour contenir l'évaporation, accentuée par temps chaud, il est recommandé de réaliser une cure, sitôt après démoulage, sur le parement pour éviter sa dessiccation et donc la microfissuration des parements.

Lors de la conception du coffrage, il faut prendre en compte la phase de démoulage afin d'éviter les épaufrures, difficilement réparables. Les coffrages comportent des dépouilles ou angles ouverts afin d'être dégagés plus facilement.

3.6 Références normatives

- **Fascicule n° 65** : *Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou en béton précontraint. Cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux.*
- **Livret IN 0034 de la SNCF (ex. Livret 2.21)** : C.P.C. « Exécution des ouvrages en béton armé et en béton précontraint ».
- **DTU 22.1 (NF P 10-210-1)** : *murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire – Partie 1 : cahier des charges.*
- **DTU 21 (NF P18-201)** : *exécution des ouvrages en béton.*



4.1 Généralités

Avant de définir la texture et la teinte définitive du béton, le maître d'œuvre doit s'assurer :

- d'une part, des dispositions prises pour le respect des caractéristiques des matériaux utilisés pendant toute la durée du chantier ;
- d'autre part, de la capacité des intervenants (préfabricant, entreprise, etc.) à mettre en œuvre ce béton.

Pour les bétons coulés sur chantier, des échantillons de dimensions suffisantes sont réalisés au préalable pour être validés par le maître d'œuvre. Ils seront fabriqués dans les conditions les plus proches de l'ouvrage définitif (coulage horizontal ou vertical). La formulation, les méthodes de mise en œuvre, le traitement de surface et les conditions de conservation sont soigneusement précisés et aussi proches que possibles de celles du chantier.

Pour les éléments préfabriqués la formulation, les traitements de surface et les aspects de surface sont soigneusement définis.

La validation est faite sur des échantillons âgés d'au moins un mois, de façon que l'aspect de surface pris en compte évolue peu.

L'aspect de surface est défini par les paramètres suivants :

- la texture de la peau du béton, obtenue soit directement par les empreintes du coffrage, soit par traitements de finition sur béton durci ;
- la teinte, qui dépend de la couleur des différents constituants du béton (granulats, ciments, pigments de coloration...);
- les conditions de fabrication (régularité des dosages) et de mise en œuvre (conditions climatiques, de stockage, délai de décoffrage...);
- les traitements de surface du béton sur chantier, appliqués selon les recommandations techniques du fabricant (souvent 28 jours), tels qu'hydrofuges de surface, lasures et antigraffitis.

Remarque

Pour un même béton, l'aspect de surface varie différemment selon son environnement.

La teinte des bétons bruts de démoulage et matricés dépend principalement des constituants les plus fins : pigments, ciments, fillers, sables.

La teinte des bétons traités (surfaces lavées, désactivées, sablées, bouchardées, polies) est liée à l'ensemble des constituants du béton.

4.2 Traitements de surface

Les surfaces sont classées en trois catégories :

- brutes ;
- traitées ;
- revêtues.

4.2.1 Surfaces brutes

Lisses ou à reliefs, elles sont obtenues par démoulage immédiat ou différé.

Procédé	Aspect obtenu
Décoffrage différé	Surfaces lisses ou à reliefs
Décoffrage immédiat	Aspect de surface correspondant au glissement ou au décollement du coffrage sur le béton frais

4.2.2 Surfaces traitées

Elles sont traitées soit à l'état frais, soit à l'état durci, selon les méthodes ci-dessous.

4.2.2.1 Surfaces traitées à l'état frais

Procédé	Aspect obtenu
Passage d'un jet d'eau	Lavé
Tirage à la règle	Dressé
Talochage du béton	Taloché
Passage d'une brosse souple ou d'une plaque de polystyrène expansé	Feutré
Lissage manuel ou mécanique	Lissé
Balayage ou ratissage	Brossé, strié
Bouchardage à rouleau ou instrument similaire sur béton frais	Avec empreintes
Application d'un désactivant sur le coffrage ou à la surface du béton frais. Après prise du béton, la surface est décapée au jet d'eau pour faire apparaître les granulats	Désactivé

4.2.2.2 Surfaces traitées à l'état durci

Procédé	Aspect obtenu
Attaque plus ou moins profonde de la surface à l'acide, puis rinçage à l'eau pour faire apparaître les granulats les plus fins. Réservé à la préfabrication.	Acidé
Projection par un flux d'air de particules extrêmement fines pour faire apparaître les granulats les plus fins.	Gommé
Projection par jet d'air à basse ou haute pression de particules abrasives faisant apparaître les granulats.	Sablé
Attaque de la surface à l'aide d'une boucharde faisant éclater la surface du béton (pâte de ciment et granulats) pour offrir un aspect rugueux plus ou moins prononcé.	Bouchardé
Attaque de la surface par projection de billes d'acier.	Grenailé
Parement attaqué en profondeur à la meule abrasive pour faire ressortir la texture du béton. La surface est rugueuse et conserve les traces de l'outil. Réservé à la préfabrication (première meule du polissage).	Grésé
Obtention par polissage d'une surface unie, sans rayure apparente. Selon les granulats employés et le traitement final, la surface peut être mate ou brillante. Elle peut être traitée avec un bouche-pores. Réservé à la préfabrication.	Poli (mat ou brillant)
La surface est éclatée par l'action de la chaleur d'une flamme sur quelques millimètres pour faire ressortir les granulats.	Flammé ou brûlé
Le parement durci est attaqué au jet d'eau sous forte pression. Le calibrage du jet et sa pression permettent de varier la profondeur de l'attaque et donc l'état de surface résultant.	Hydrodécapé

4.2.3 Surfaces revêtues

Le revêtement peut être constitué, soit d'éléments minces scellés dans le béton, soit de lasures.

4.2.3.1 Éléments minces

Ils sont déposés en fond de moule avant coulage ou éventuellement collés ou agrafés sur chantier.

- briques ;
- pierres ;
- granulats ;
- pâte de verre...

Les éléments incorporés doivent être conformes au **DTU 55.2.- Revêtements muraux attachés en pierre mince (NF P 65-202)** ou aux avis techniques correspondants.

4.2.3.2 Lasures

Après séchage, la surface du béton peut recevoir une lasure destinée à nuancer la teinte d'origine ou renforcer la protection naturelle du matériau. Ce traitement doit suivre les **règles du DTU 59.1** :

- **DTU 59.1 (DTU NF P74-201-1) : Peintures – Travaux de peinture des bâtiments – Partie 1 : cahier des clauses techniques + amendement A1.**
- **DTU 59.1 (DTU NF P74-201-2) : Peintures – Marchés privés – Travaux de peinture des bâtiments – Partie 2 : cahier des clauses spéciales + amendement A1.**

4.3 Teinte du béton

La grande variété des constituants offre à l'architecte un large choix de teintes.

4.3.1 Liant

Le fabricant de ciment fournit une information sur la colorimétrie du produit. Elle est exprimée par une valeur de luminance dans l'échelle des gris assortie d'une tolérance qui est généralement de ± 1 point.

L'indice colorimétrique, noté **L***, est indiqué sur la fiche-produit fournie par le cimentier. Plus l'indice tend vers 100, plus le ciment est clair.

La couleur du ciment dépend des matières premières qui ont servi à sa fabrication, notamment de la teneur en oxyde de fer : plus celle-ci est importante, plus la teinte sera foncée.

4.3.2 Additions

Les additions telles que les fillers calcaires ou siliceux, les cendres volantes sont utilisées afin d'obtenir la teinte souhaitée et de l'uniformiser.

Le dioxyde de titane éclaircit et uniformise la teinte des bétons.

4.3.3 Granulats

Les granulats interviennent pour :

- les surfaces brutes, au travers des particules fines (passant à 63 microns) ;
- les surfaces traitées, au travers de l'ensemble du squelette granulaire.

Nature du granulat	Couleur
silex	beige ou bistre
diorite	bleu ou rose
granite	jaune, rose, gris, vert
calcaire dur et marbre	noir, bleu, rose, beige, blanc, vert
basalte	noir ou bleu-noir
grès	rouge, gris-bleu
quartz	blanc, jaune
quartzite	rose, gris, blanc

4.3.4 Pigments de coloration

Les pigments de coloration utilisés sont toujours des pigments de synthèse d'origine minérale en raison de leur grande stabilité dans le temps. Ils permettent d'obtenir une palette étendue de teintes. **NF EN 12878** : *Pigments de coloration des matériaux de construction à base de ciment et/ou de chaux – Spécifications et méthodes d'essai*.

Le béton peut être coloré selon un dosage allant jusqu'à 6 % du poids du ciment. Les pigments de coloration sont associés de préférence à des granulats de même couleur. Il est recommandé d'utiliser des ciments clairs pour les bétons colorés. L'addition des pigments ne doit pas modifier l'ouvrabilité, la prise et le durcissement du béton.



Salle de musique à Brest (29)
Jacques Ripault, architecte — Photo : J. M. Monthiers



Formulation, fabrication, transport

5.1 Objectifs de la formulation et processus de validation

5.1.1 Généralités

Dans le respect des règles de formulation des bétons, il convient de réaliser plusieurs étapes successives :

1. épreuves d'étude permettant de vérifier l'obtention des caractéristiques demandées ;
2. échantillons pour valider la teinte et l'aspect de surface auprès de l'architecte ;
3. essais de convenance permettant de vérifier que la formulation est adaptée aux matériels de fabrication, aux conditions de transport et aux méthodes de mise en œuvre (vibration, coffrage, décoffrage).

Ce processus a pour but de prévenir des écarts entre les objectifs du marché et le résultat obtenu sur chantier ;

4. durabilité.

Principaux essais de convenance

Fabrication	Essais de rhéologie et de résistance
Transport, manutention jusqu'au site	
Mise en place	Coulage d'un élément témoin représentatif
Décoffrage et traitements éventuels	Vérification de la conformité du parement aux prescriptions du marché

Le maître d'ouvrage choisit la classe d'exposition de l'ouvrage, conformément à la **norme NF EN 206-1 : Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité** qui conditionne les paramètres de formulation du béton.

Les principaux paramètres de durabilité d'un béton apparent sont les suivants :

- **rapport eau efficace/liant équivalent** (voir **NF EN 206-1, annexe NA.F : Valeurs limites applicables en France pour la composition et les propriétés des bétons**) ;
- **dosage minimal en liant équivalent ou absorption d'eau maximale**, pour les éléments préfabriqués de façade (voir **NF EN 206-1, annexe NA.F : Valeurs limites applicables en France pour la composition et les propriétés des bétons**) ;
- **essais complémentaires** pour environnement agressif :
 - ✓ **résistance au gel-dégel** : lorsque les éléments sont destinés à être mis en œuvre dans un environnement climatique agressif, l'essai complémentaire d'absorption d'eau par remontée capillaire n'est plus préconisé :

Classe d'exposition	Norme relative à l'essai proposé
Gel faible : moins de 2 jours/an avec température inférieure à 5 °C	XP P 18-425
Gel sévère : plus de 10 jours/an avec température inférieure à 10 °C	XP P 18-424
Gel et sels de déverglaçage	XP P 18-420

- ✓ autres cas d'environnement agressif (chimique...) : la conformité à des essais spécifiques complémentaires peut être prescrite lors de la commande.

5.1.2 Bétons prêts à l'emploi (BPE) et fabriqués sur chantier

Les règles de formulation indiquées dans la norme **NF EN 206-1 : Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité** s'appliquent, en particulier sur :

- la classe d'exposition ;
- la détermination du dosage en liant ;
- la teneur en eau ;
- les résistances minimales ;
- la destination du béton dans l'ouvrage.

5.1.3 Bétons préfabriqués

Il est recommandé que les éléments architecturaux en béton préfabriqué répondent au référentiel de la marque **NF Éléments architecturaux ou équivalent**. Celle-ci s'appuie sur un cahier des charges complet qui constitue le référentiel technique. Celui-ci s'applique aux éléments architecturaux en béton destinés aux bâtiments et au Génie Civil.

5.2 Choix des constituants

Pour les constituants, leurs caractéristiques, leur influence sur le béton ainsi que les précautions d'emploi :

Voir Chapitre 1 Constituants, page 15

Plusieurs éléments sont à prendre en compte pour concevoir un béton répondant aux exigences du prescripteur. La composition du béton dépend de la destination de l'ouvrage, de sa forme et des traitements de surface envisagés.

Ce chapitre traite les différents paramètres concourant à la qualité du projet.

5.2.1 Ciment

La couleur du béton et les contraintes de durabilité doivent orienter le choix du ciment selon les critères définis.

Voir Chapitre 1 Constituants, page 15

Les caractéristiques du ciment à prendre en compte sont :

- classe de résistance (32,5 ; 42,5 ou 52,5) ;
- résistance initiale (élevée, si l'on souhaite un décoffrage rapide) ;
- nature du ciment si la construction est exposée à des environnements agressifs (norme **NF EN 206-1**) ;
- aptitude à la précontrainte (CP1 ou CP2).

5.2.2 Sables

Les fines contenues dans les sables influencent la couleur finale des bétons.

Pour que la couleur du béton soit homogène pendant toute la durée du chantier, il est impératif, soit de :

- vérifier la propreté ainsi que la régularité de la quantité de fines des sables ;
- commander un lot de sable produit spécialement pour l'ensemble du chantier.

5.2.3 Gravillons

Les gravillons ont peu d'influence sur la couleur finale des bétons bruts de décoffrage. En revanche, leur taille, leur forme et leur couleur sont déterminantes sur l'aspect de surface des bétons traités (polis, désactivés...).

En préfabrication, pour les bétons bruts de décoffrage, les gravillons plats sont déconseillés car ils peuvent créer un effet de pommelage en surface.

5.2.4 Additions et pigments

Les additions et les pigments ont une influence importante sur la teinte finale des bétons. Leur dosage doit être constant.

5.2.5 Adjuvants

Il convient de vérifier que l'adjuvant n'altère pas la couleur et l'homogénéité du béton.

5.2.6 Paramètres du béton influençant le parement

Paramètres	Conséquences et défauts	Remèdes
Ciment		
Changement d'origine Changement de mouture	Variation de teinte	Contrôle qualité cimenterie
Sous-dosage	Ressuage, bullage, nid de cailloux	Dosage en ciment adapté
Dosage variable	Variation de teinte	Contrôle des pesées sur centrale
Eau		
Excès d'eau	Fuite de laitance, ressuage, pleurage (fougère)	Respect du rapport E eff./liant éq.
Dosage variable	Variation de teinte	Prendre en compte l'eau des granulats.
Eau recyclée	Eau recyclée inadaptée pour le béton apparent	Contrôle des fines en suspension.
Granulats - Sable		
Surdosage en sable	Bullage	Optimisation du fuseau granulométrique
Sous-dosage en sable	Pommelage	
Sable ± propre		Origine du sable
Granulométrie du sable variable	Variation de teinte	Origine du sable
Origine du sable variable		Contrôle en centrale
Dosage du sable variable		Prendre en compte l'eau du sable Contrôle des pesées en centrale
G/S trop élevé	Nid de cailloux	Optimisation du fuseau granulométrique
Formule trop continue	Bullage	
Formule trop discontinue	Taches noires	
Surdosage en gravillons	Pommelage	Contrôle des pesées en centrale
Couple ciment/adjuvant		
Incompatibilité	Rhéologie non satisfaisante et/ou aléatoire	Changer d'adjuvant
	Béton trop collant	
	Béton thixotrope	
Maniabilité		
Consistance trop ferme	Bulles, nids de cailloux, reprises de bétonnage	Améliorer la maniabilité

Paramètres	Conséquences et défauts	Remèdes
Rhéologie aléatoire	Variation de teinte, taches	Changer d'adjuvant
Important retard de prise	Ressuage	Diminuer le retard
Coffrage		
Durée de coffrage	Variation de teinte	Respect d'une durée de coffrage constante

5.3 Fabrication

5.3.1 Stockage des constituants

5.3.1.1 Ciment et additions

Le ciment étant un liant hydraulique, toutes les précautions utiles sont à prendre pour le protéger de l'humidité.

En sac, le ciment ou les additions doivent être stockés à l'abri des intempéries, dans un local aéré, avec interposition entre les sacs et le sol d'un vide d'air (palettes, claies...).

Utilisées en vrac, s'assurer de la propreté et de l'étanchéité absolue des silos et des systèmes annexes (remplissage – vidange) et veiller à leur propreté.

5.3.1.2. Granulats

Le stockage en plein air nécessite des précautions pour :

- assurer l'écoulement des eaux de pluie ;
- éviter les mélanges ;
- éviter les pollutions à la reprise (arrachements du sol, souillures accidentelles, poussières nocives ou gravats...).

Il est souhaitable que les granulats soient stockés dans des cases alimentant directement la centrale et équipées de sondes hygrométriques.

5.3.2 Pesage des constituants minéraux

Une qualité régulière du béton suppose :

- le contrôle rigoureux des constituants ;
- un dosage pondéral dont la précision est conforme aux règles en vigueur ;
- le contrôle des moyens de pesage de préférence par un organisme accrédité ou équivalent.

5.3.3 Quantité d'eau de gâchage

La quantité d'eau de gâchage doit être parfaitement maîtrisée. L'eau efficace doit être ajustée d'une gâchée à l'autre afin de garantir une teinte régulière et les performances mécaniques et de durabilité recherchées.

Il est indispensable de tenir compte de l'humidité des granulats et particulièrement de celle des sables.

Pour garantir la régularité de la consistance du béton, certains équipements sont nécessaires :

- sondes de mesure de l'humidité dans les cases à granulats ;
- wattmètre ou sonde de mesure de la quantité d'eau dans le malaxeur.

Le temps de malaxage doit être constant d'une gâchée à l'autre.

5.3.4 Contrôles et essais en cours de réalisation

Des contrôles de la rhéologie du béton (wattmètre, mesures d'affaissement ou d'étalement...) des performances mécaniques à 7 et 28 jours, ainsi que de la teneur en eau du béton sont à réaliser au niveau de la fabrication et de la réception du béton selon les prescriptions de la norme et celles du marché.

Le matériel utilisé pour la fabrication et la mise en œuvre du béton de parement doit être parfaitement propre.

5.4 Transport du béton frais et mise en place

Le béton frais est un produit évolutif. Il convient d'organiser la manutention et le transport de manière régulière entre le malaxeur et l'ouvrage.

Prévoir sur chantier avant chaque vidange du béton un temps de malaxage à grande vitesse afin de garantir sa bonne homogénéité.



Pont Flaubert à Rouen (76)
Aymeric Zublena, architecte — Photo : DR

6.1 Béton coulé sur chantier

6.1.1 Méthode de coulage

Dès la réception du béton sur chantier, un contrôle de la consistance doit être réalisé par l'entreprise (mesure au cône d'Abrams) pour s'assurer de sa conformité à la formulation retenue.

Le béton est mis en place dans les coffrages soit par déversement à l'aide d'une benne, soit par pompage. Dans tous les cas, les précautions suivantes sont à prendre :

- le béton doit être déversé d'une hauteur inférieure à 1 m et être régulièrement réparti par couches horizontales qui ne doivent pas dépasser 50 cm (les accumulations locales risquent d'entraîner des ségrégations) ;
- pour des coffrages hauts et profonds, il peut être nécessaire d'utiliser des manchettes souples ou des tubes plongeurs rigides qui permettent de déverser le béton en fond de coffrage et qui sont progressivement remontés au fur et à mesure du bétonnage. Pour faciliter la descente de la manchette et des vibreurs, il est recommandé de prévoir des cheminées de bétonnage dans les ferraillements, tous les 2 m ;
- une vitesse de bétonnage constante est indispensable pour assurer un parement homogène : cela sous-entend un coulage en continu.

Ce qu'il faut éviter :

- l'enrobage trop faible des armatures ; prévoir 1 cale/m² ;
- un bétonnage par fortes pluies (en cas de délavage du produit de démoulage, prévoir une nouvelle application) ;
- le ruissellement du béton sur les parois du coffrage ;
- un phénomène de cascade sur les armatures.

6.1.2 Bétonnage par temps chaud et par temps froid

La température du béton frais ne doit pas être inférieure à 5 °C, **NF EN 206-1, § 5.2.8 : Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité.**

Par temps chaud, des précautions sont à prendre pour des températures de béton frais supérieures à 25 °C.

Recommandations d'utilisation :

- par temps chaud :
 - ✓ adjuvant retardateur de prise
 - ✓ ciment à faible chaleur d'hydratation
 - ✓ Arrosage des granulats et utilisation éventuelle de glace pilée
- par temps froid :
 - ✓ adjuvant accélérateur de prise et de durcissement
 - ✓ ciment à forte chaleur d'hydratation
 - ✓ eau chaude
 - ✓ granulats maintenus à une température hors gel

Lors d'un chantier de longue durée, l'architecte doit être informé de l'influence des conditions climatiques et des éventuelles modifications des constituants sur la teinte des bétons de parement. Un planning et des conditions de coulage sont à définir entre la maîtrise d'œuvre et l'entreprise.

6.1.3 Bétons autoplaçants

En raison de la suppression de la vibration, ils sont parfaitement adaptés aux :

- bétons de parement ;
- formes complexes et aux grandes hauteurs ;

- ouvrages fortement ferrailés.

La mise en place s'effectue soit :

- à la pompe ;
- avec un tube plongeur ou une manchette de grande longueur

Le diamètre préconisé est compris entre 100 et 120 mm.

Des recommandations ont été rédigées par l'Association française du génie civil (AFGC) dans le cadre du projet national BAP.

Le contrôle de la poussée hydrostatique en pied de coffrage doit être pris en compte pour ce type de béton, notamment en cas d'utilisation d'adjuvant retardateur de prise.

6.1.4 Vibration (coulage traditionnel)

La vibration doit être appliquée à la totalité du volume du béton et d'une manière uniforme, sous peine d'entraîner des hétérogénéités, tant au niveau de la porosité et de l'enrobage des armatures qu'au niveau de l'aspect du parement.

Des défauts de vibration peuvent provoquer la dégradation des parements. La vibration doit être adaptée à la composition du béton, à la masse de béton à mettre en oeuvre et aux caractéristiques de l'ouvrage.

6.1.4.1 Vibrateurs internes ou aiguilles vibrantes

Simple et efficaces, couramment utilisés sur chantier, ils sont constitués par un tube métallique dans lequel la rotation d'une masselotte excentrée produit la vibration. Ils peuvent être pneumatiques ou électriques.

Le diamètre des aiguilles usuelles varie de 40 à 100 mm. Leur fréquence est comprise entre 10 000 et 20 000 vib/mn. L'aiguille est choisie en fonction de l'épaisseur de l'ouvrage ; par exemple, pour un voile de 20 cm, on choisit une aiguille de 40 mm. Elle doit pouvoir s'insérer facilement dans le ferrailage. Il faut éviter le contact du vibreur avec le ferrailage, qui risque de provoquer des phénomènes de fantômes et de marbrures.

6.1.4.2 Vibrateurs externes

Les vibreurs de coffrages et les vibreurs de surface sont utilisés sur les chantiers.

Vibrateurs de coffrages

De même que les aiguilles, les vibreurs de coffrage utilisent le principe de la vibration produite par la rotation d'une masselotte excentrée. Les vibreurs fixés sur les coffrages leur imposent une rigidité et un poids suffisants pour qu'ils ne se déforment pas et pour transmettre la vibration de façon homogène.

La fréquence de vibration des vibreurs électriques est le plus souvent de 3 000 à 6 000 vib/mn. Les vibreurs pneumatiques atteignent des fréquences plus élevées : entre 10 000 et 15 000 vib/mn. La profondeur de béton intéressée par la vibration ne dépassant généralement pas 20 à 25 cm.

Ce type de vibreur est utilisé pour les bétons de parement et lorsqu'il est impossible de recourir à des aiguilles vibrantes, par exemple en tunnel ou pour des pièces fortement ferrailées.

Ils peuvent être associés à des vibreurs internes.

Vibrateurs de surface ou règles vibrantes

Les vibreurs de surface transmettent la vibration à partir d'une règle ou d'une poutre déplacée sur la surface du béton. Le vibreur est fixé sur la règle qui doit présenter une rigidité et une inertie suffisantes.

Ce type de vibration est réservé aux dalles, aux voiries en béton et, de façon générale, à tout élément horizontal de faible épaisseur (de 15 à 20 cm au maximum).

Remarque

Les tables vibrantes sont réservées à la préfabrication.

6.1.4.3 Durée de la vibration

La détermination du temps de vibration est importante car s'il est trop court, le béton est insuffisamment serré ; s'il est trop long, il entraîne la ségrégation de ses constituants.

L'effet de la vibration se caractérise par l'augmentation rapide de la compacité du béton associée à l'expulsion de l'air occlus.

6.1.4.4 Règles pratiques

Les règles de bonne pratique concernent essentiellement le temps de vibration et l'emplacement des vibrateurs.

Le temps de vibration est lié :

- à la nature du béton (granulométrie, consistance) ;
- au volume et au temps de mise en œuvre ;
- à la densité de ferrailage ;
- au type de vibrateurs et à leur puissance.

Les indices concomitants permettant d'apprécier le moment requis pour arrêter la vibration sont les suivants :

- arrêt du tassement du béton ;
- arrêt du dégagement de bulles d'air ;
- apparition de la laitance en surface.

Vibration interne

L'emploi des aiguilles vibrantes impose des précautions :

- ne jamais utiliser l'aiguille vibrante pour déplacer le béton ;
- vibrer des couches successives ne dépassant pas 50 cm d'épaisseur ;
- faire pénétrer l'aiguille dans la couche sous-jacente sur environ 10 cm ;
- plonger rapidement l'aiguille et la ressortir lentement afin de laisser la cavité se refermer ;
- éviter de s'approcher des armatures et du coffrage, ce qui risquerait de provoquer des parements d'aspect hétérogène ;
- déplacer l'aiguille tous les 30 à 50 cm pour les aiguilles courantes de 50 à 75 mm de diamètre (soit environ 7 fois son diamètre) ;
- en cours de vibration, ne jamais sortir l'aiguille du béton.

Vibration externe

L'emplacement des vibrateurs et le temps de vibration sont plus délicats à déterminer car les paramètres sont nombreux : nature du coffrage, forme de la pièce, volume et composition du béton, orientation de la vibration.

L'assistance des fabricants de vibrateurs et de coffrages est recommandée afin d'optimiser la qualité des résultats.

6.1.5 Contrôle après coulage

Outre les contrôles classiques applicables à tous les ouvrages coulés en place tels que :

- verticalité,
- horizontalité,
- blocages des étais de maintien,

pour des ouvrages destinés à rester apparents il est recommandé de vérifier les éventuelles fuites de laitance ou d'eau, de manière à perfectionner le coffrage lors de la prochaine mise en œuvre.

6.2 Béton préfabriqué

6.2.1 Préparation avant fabrication

Principales phases de préparation :

- mise en place du moule, calage et réglage dimensionnel ;
- montage des différentes joues de coffrage et pièces de moulage (mannequins, réservations, etc.) ;
- calfeutrement des différentes parties constitutives du moule par masticage ou joints d'étanchéité ;
- nettoyage soigneux de l'ensemble des parties coffrantes.

- mise en place du produit de démoulage. Il doit être adapté :
 - ✓ à la nature du moule ;
 - ✓ au béton et à sa mise en place ;
 - ✓ à la finition envisagée.
 - ✓ appliquer le produit de démoulage de façon uniforme, sans insuffisance ni excès (l'éliminer, en particulier dans le fond du moule).
- mise en place des armatures, inserts, réservations, incorporations, selon le plan de fabrication de l'élément. Les armatures sont maintenues à l'aide de cales ou de suspentes, selon la qualité de finition recherchée ; respecter les distances d'enrobage prescrites ; éliminer tous les déchets d'acier et fils de ligature.
- protection du moule, si nécessaire, à l'aide d'une bâche par exemple, avant coulage du béton, pour éviter tout risque de salissure (poussières notamment).

Remarques

*Les plans de coffrage sont vus de l'intérieur, faces non coffrées. Ces éléments doivent être conformes à la norme **NF EN 14992** : produits préfabriqués en béton - Éléments de mur.*

6.2.3 Préparation du béton

La composition du béton doit être conforme à :

- à la norme de produit et lorsqu'il n'y a pas de norme de produit à la la norme **NF EN 13369** : Règles communes pour les produits préfabriqués en béton, qui fait référence à la norme **NF EN 206-1** pour la partie composition du béton ;
- la destination de l'élément dans l'ouvrage ;
- la demande de l'architecte : calepinage, couleur, finition...

Des échantillons témoins sont à réaliser avant fabrication pour chaque parement. Ces échantillons sont datés, identifiés et approuvés par le maître d'œuvre (établissement d'un procès-verbal d'acceptation). Ils doivent être conservés pendant toute la durée de l'opération.

Les différents constituants sont dosés avec précision.

Les différentes phases du cycle (malaxage à sec, introduction de l'eau, malaxage humide, vidange) doivent avoir une durée constante pour la réalisation des différentes gâchées.

6.2.4 Mise en place du béton

La plupart des éléments préfabriqués sont coulés horizontalement.

Le béton est déversé à hauteur de coffrage.

Sauf pour les bétons autoplaçants, la vibration utilisée pour la mise en place du béton peut se faire par :

- **table vibrante**, dont la fréquence est fonction de l'épaisseur à réaliser ;
- **vibration interne** à l'aide d'aiguilles vibrantes dont le diamètre est fonction de l'espacement entre armatures (l'aiguille ne doit pas toucher les armatures) ; la distance entre les points de vibration est d'environ sept fois le diamètre de l'aiguille ;
- **vibration externe** à l'aide de vibrateurs fixés sur le moule dont la fréquence et le sens de rotation sont adaptés à la forme, à l'épaisseur de l'élément et au type de parement choisi.

Le préfabricant détermine par ajustements successifs les types de vibrations envisagés et leurs caractéristiques (diamètre des aiguilles, nombre de vibrateurs, positions, fréquences et amplitudes de vibration).

L'utilisation du béton autoplaçant permet :

- d'améliorer les conditions de travail du personnel (absence de nuisances sonores et diminution de la pénibilité) ;
- de réaliser des pièces complexes ;
- de diminuer l'usure des coffrages.

6.3 Cure

La cure consiste à protéger le béton contre la perte d'eau due aux conditions climatiques (température, hygrométrie, vent), à l'état frais après sa mise en œuvre et à l'état durci au jeune âge.

Tant que le béton est dans son coffrage, il est protégé de tout risque de dessiccation.

La cure est appliquée :

- sur béton frais, sur toute surface non coffrée ;
- sur béton durci, au moment du décoffrage.

Elle est indispensable pour garantir un béton de qualité.

6.3.1 Moyens

La norme **NF EN 13369** définit des méthodes pour se prémunir contre les risques de dessiccation. Les différents moyens pour réaliser la cure du béton peuvent être :

- produits de cure spécifiques conformes à la norme **NF EN 934-6** : *Adjuvants pour béton, mortier et coulis - Partie 6 : échantillonnage, contrôle et évaluation de la conformité* ;
- pulvérisation d'eau ;
- film plastique ;
- toile de jute ou géotextile humides ou équivalent.

6.3.2 Applications

La cure est réalisée :

- dès la finition de la mise en œuvre du béton frais exposé à l'air ;
- dès le décoffrage du béton durci, selon les conditions climatiques.

En l'absence d'expériences probantes démontrant la pertinence d'une durée de cure plus faible, la durée de cure varie de 24 heures à plusieurs jours en fonction de la composition du béton, notamment du ciment utilisé, et des conditions climatiques (**Fascicule n° 65** : *Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint* et projet de **norme XP ENV 13670-1** : *Exécution des ouvrages en béton – Partie 1 : tronc commun et document d'application nationale*).

Pour les produits préfabriqués, la norme **NF EN 13369** : *Règles communes pour les produits préfabriqués en béton*, définit des conditions d'application de la cure.

Voir Chapitre 7 *Décoffrage*, page 55

6.3.3 Risques liés à l'absence de cure

L'absence de cure peut entraîner la dessiccation du béton et augmenter le retrait plastique. Elle provoque faïençage, poudroïement, etc.

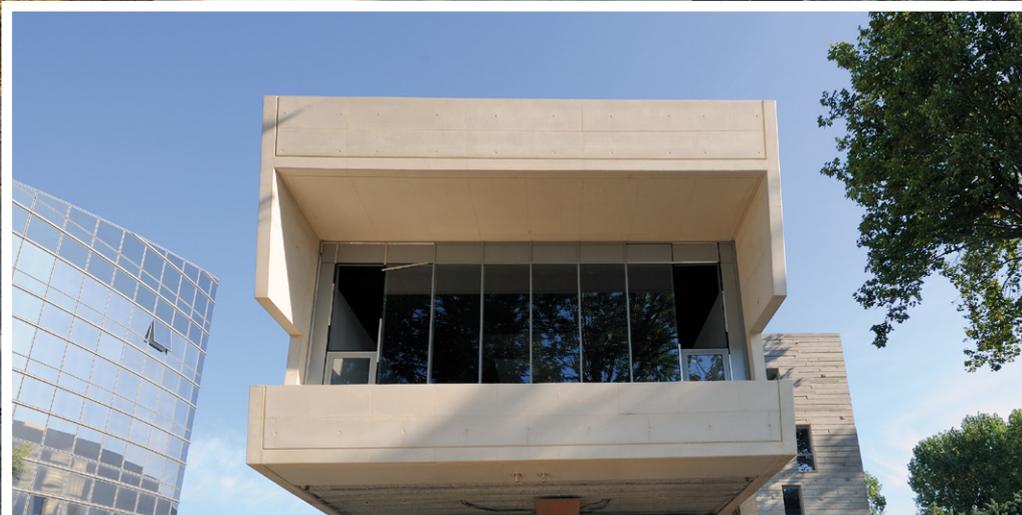
Voir Chapitre 11 *Réparations*, page 89

Ces phénomènes altèrent la peau du béton, garante d'une bonne durabilité vis-à-vis des agressions extérieures : résistance aux sels de déverglaçage, à la pénétration des chlorures, à l'abrasion, à la carbonatation...

6.3.4 Précautions

Le produit de cure doit faire l'objet d'essais préalables afin de vérifier qu'il n'a pas d'incompatibilité avec :

- les traitements de surface prévus (hydrofuge, résine, cire, peinture) ;
- les produits d'étanchéité.



CDDP à Champigny-sur-Marne (94)
Dominique et Giovanni Lelli, architectes — Photo : Laurent Thion

7.1 Résistance à la compression conseillée au décoffrage

Les performances mécaniques à court terme et la teinte au décoffrage dépendent du degré de mûrissement du béton. Le décoffrage d'une pièce en béton ne peut avoir lieu que lorsque le béton développe une valeur de la résistance à la compression suffisante. Lors de cette opération, il faut éviter tout risque de choc thermique.

Le moyen le plus couramment utilisé par l'entreprise pour contrôler la résistance mécanique du béton au moment du décoffrage est l'éprouvette dite « d'information ».

Le développement de la résistance mécanique dépend du mode de conservation des éprouvettes (impact des variations de température et d'hygrométrie).

Une résistance minimale au décoffrage est nécessaire pour :

- assurer la sécurité du personnel au décoffrage et lors de la manutention ;
- éviter tout arrachement de la peau du béton ;
- éviter les déformations au jeune âge du béton ;
- éviter les fissures provoquées par les déformations en flexion des éléments préfabriqués.

Par expérience, on prend :

- 0,2 fois la résistance à la compression à 28 jours pour un béton non manutentionné ; exemple : semelle en C 25/30 : 5 MPa ;
- 0,4 fois la résistance à la compression à 28 jours pour un béton faiblement sollicité ; exemple : voile en C 25/30 : 10 MPa (résistance au vent) ;
- 0,6 fois la résistance à la compression à 28 jours pour un béton manutentionné.

Pour les produits préfabriqués en béton, des exigences sont données dans la norme **NF EN 13369** : Règles communes pour les produits préfabriqués en béton.

Conditions environnementales du produit sur le lieu d'utilisation (classes d'exposition EN 206-1)		Résistance minimale du béton à la fin de la protection contre la dessiccation		
		Degré de durcissement en % de la résistance requise à 28 jours		Résistance mesurée sur cylindre/cube N/mm ²
Pour le béton non armé et sans pièces métalliques noyées : toutes les expositions sauf en cas de gel/dégel, d'abrasion et d'attaques chimiques	XO	Uniquement prescription sur la résistance sur cylindre/cube		12/15
Pour le béton armé ou avec les pièces métalliques noyées : sec ou humide en permanence	XC1			
Humide rarement sec	XC2, XD2			
Humidité modérée	XC3	40	ou	16/20
Saturation modérée en eau sans agent de déverglaçage	XF1			
Autres conditions environnementales (alternance d'humidité et de séchage)		60	ou	25/30

L'obtention de cette résistance est conditionnée par :

- température initiale du béton frais ;
- composition du béton ;
- nature du coffrage (isolant ou non) ;
- caractéristiques géométriques de l'élément coulé ;
- température extérieure ;
- conditions de protection, de chauffage et d'étuvage mises en œuvre sur chantier ou en usine.

7.2 Maturométrie

La maturométrie est un moyen de contrôle qui a pour objectif l'optimisation technico-économique du béton, tant dans sa phase de formulation que dans sa mise en œuvre.

L'utilisation de la maturométrie permet de contrôler l'évolution de la résistance mécanique du béton au jeune âge afin d'améliorer la productivité sur chantier ou en usine, et d'assurer la sécurité lors des phases de décoffrage.

L'application de la maturométrie à la peau du béton peut améliorer l'homogénéité des teintes si l'on décoffre à un temps de maturité équivalent. Il convient de faire des essais afin de vérifier que le paramètre « maturité constante » pris en compte pour le décoffrage n'a pas d'incidence sur l'aspect des parements.

Le principe consiste à suivre l'élévation thermique afin de mesurer en temps réel l'évolution de la résistance mécanique du béton dans l'ouvrage, intégrant ainsi l'ensemble des facteurs influençant cette évolution :

- composition du béton ;
- géométrie de l'ouvrage ;
- nature du coffrage ;
- isolation ;
- température initiale du béton frais ;
- conditions météorologiques ;
- phasage du coulage du béton...

Pour mettre en œuvre cette méthode, l'entreprise travaille en collaboration avec le fabricant de béton ou le cimentier.

Remarque

La maturométrie est essentiellement utilisée pour le contrôle des résistances à court terme sur les ouvrages d'art. Cette technique doit être intégrée dans le CCTP dès le début du projet car elle influe sur l'organisation du chantier. Pour plus d'informations : [Guide technique Résistance du béton dans l'ouvrage. La maturométrie, LCPC.](#)

7.3 Traitement thermique

Le traitement thermique accélère la prise du béton. Il accroît sa résistance au jeune âge.

Cette technique est utilisée généralement en préfabrication industrielle non architectonique afin de diminuer le cycle de fabrication (démoulage des éléments et mise en précontrainte plus rapides).

Le traitement thermique se fait par apport de chaleur extérieure ou par auto-étuvage. Il est surtout appliqué par temps froid.

Il est nécessaire de s'assurer que ce traitement n'influe pas sur la teinte finale du béton.

7.4 Influence du délai de décoffrage sur la teinte du béton

La teinte du béton dépend du temps de coffrage et du degré de mûrissement du béton (degré d'hydratation). La teinte obtenue au moment du décoffrage est évolutive du fait de :

- la poursuite des réactions d'hydratation ;
- la carbonatation de la peau du béton ;
- la température extérieure ;
- le pourcentage d'humidité de l'air ambiant.

Afin que la teinte soit homogène sur l'ensemble des éléments, les temps de mûrissement du béton doivent être identiques : temps de coffrage égaux à conditions climatiques similaires.

Pour une même formulation de béton et dans des conditions climatiques et de mise en œuvre similaires, afin d'obtenir une teinte homogène et constante sur un ensemble d'éléments d'ouvrage, on veille à respecter des délais de coffrage identiques.

Pour un chantier de longue durée couvrant plusieurs saisons, en précaution complémentaire on veille à décoffrer le béton à même maturité (résistance équivalente au décoffrage).

7.5 Décoffrage du béton coulé en place

7.5.1 Principes

Après s'être assuré que le béton mis en place est suffisamment mature, on décoffre.

Le retrait du coffrage se fait en plusieurs phases :

- enlèvement des éléments de serrage ;
- décollement de la première peau (partie non stabilisée du coffrage) ;
- enlèvement de la première peau par un retrait perpendiculaire à la surface coffrée tout en maintenant un parallélisme entre coffrage et béton. Le retrait doit être supérieur aux épaisseurs des modénatures ou reliefs du coffrage ;
- dégagement du coffrage : pendant la manœuvre de levage, l'outil doit être largement éloigné du mur fraîchement décoffré ;
- procéder à l'identique pour la seconde partie du coffrage (seconde peau stabilisée) tout en mettant en place les stabilisateurs destinés à l'élément fraîchement bétonné.

7.5.2 Autocontrôle visuel, traitement éventuel

Après décoffrage, les autocontrôles classiques sont réalisés par l'entreprise. S'agissant de béton de parement, on insiste sur le contrôle d'aspect.

Des reprises ponctuelles (légères ségrégations ou épaufrures, par exemple) sont effectuées avec un matériau strictement identique à celui mis en place. Celles-ci sont réalisées dès le décoffrage de manière à quasiment « disparaître » avec le séchage définitif de l'ouvrage.

Le ponçage des balèvres est réalisé 1 jour après le décoffrage.

7.5.3 Nettoyage du coffrage

Avant de répéter les opérations de coffrage, les outils et les peaux sont très soigneusement nettoyés et vérifiés au niveau de l'aspect et des systèmes d'étanchéité.

Dès l'achèvement des opérations de nettoyage, le produit décoffrant (huile ou cire) est immédiatement appliqué.

7.5.4 Protection de l'ouvrage coulé

Réalisé *in situ*, cet ouvrage est protégé :

- des salissures, par un film de protection de type non-tissé (géotextile) non adhérent au béton ou par pulvérisation d'un produit spécifique ;
 - des chocs par protection des arêtes, des extrémités au moyen d'éléments en bois équipés de cales inertes ou par une membrane semi-rigide gaufrée ;
 - des taches de rouille dues aux aciers en attente par passivation de ces derniers ou application d'une barbotine.
- Utiliser du fil de fer galvanisé dans les dispositifs de maintien des protections.

7.6 Décoffrage du béton préfabriqué

7.6.1 Principes

Les éléments sont de préférence coulés horizontalement : la pièce en béton est manutentionnée de la zone de coulage jusqu'à l'aire de stockage.

La position des ancrages nécessaires à la manutention et à la pose doit être prise en compte lors de l'étude de calepinage réalisée par l'architecte ou le bureau d'études. Une concertation entre l'architecte, l'entreprise et le préfabricant s'impose.

7.6.2 Contrôles et conditions de stockage

Après décoffrage, les contrôles visuels et dimensionnels sont réalisés par le préfabricant. Le béton de parement fait l'objet d'un contrôle d'aspect rigoureux.

Des reprises ponctuelles peuvent être effectuées avec un matériau strictement identique à celui mis en place. Celles-ci sont réalisées dès le décoffrage de manière à quasiment « disparaître » avec le séchage définitif de l'ouvrage.

Les conditions de stockage sont déterminantes sur l'aspect du béton. Condensations et ruissellements d'eau sont à éviter, en particulier par temps froid.

Le stockage doit être effectué dans des râteliers :

- assurant la ventilation entre les pièces ;
- évitant leur déformation.

Il est important que les parties des râteliers en contact avec les éléments en béton soient gainées afin d'éviter les traces de rouille sur le béton. De même il est nécessaire de protéger les inserts et armatures en attente.

7.7 Produits de décoffrage

Ils doivent non seulement permettre la séparation aisée du béton de son coffrage mais, dans le cas du béton de parement, remplir également les fonctions suivantes :

- permettre la reproduction fidèle du relief inscrit dans le coffrage ;
- garantir l'obtention d'un parement de teinte homogène, exempt de taches et d'altérations ;
- limiter le bullage de surface ;
- préserver les peaux coffrantes, notamment contre toute oxydation, et accroître leur durée d'utilisation ;
- ne pas encrasser les coffrages et réduire au minimum les opérations de nettoyage ;
- avoir les mêmes facilités d'emploi quelles que soient les conditions climatiques (hiver, été) et résister à la pluie ;
- ne pas gêner l'accrochage des produits de protection posés ultérieurement (hydrofuges et antigraffiti, par exemple) ;
- être compatibles avec les conditions de coulage.

Les produits démoulants se présentent sous forme fluide ou pâteuse. Ils peuvent être miscibles ou non dans l'eau et leur action peut être physique ou physico-chimique. Ils doivent être choisis en fonction de la nature du coffrage utilisé.

Qu'elles soient en métal, en bois, élastomères ou plastiques, les « peaux coffrantes » se présentent souvent sous la forme de grandes zones lisses qui, pour des raisons de rendement évidentes, doivent être huilées rapidement.

Les produits à utiliser doivent être sélectionnés en fonction de leur compatibilité avec les peaux coffrantes, par exemple :

- pour les matrices élastomères, on évite les produits comportant des solvants risquant de les déformer ;
- pour le métal, on est vigilant à certaines émulsions qui peuvent poser des problèmes de rouille.

Les huiles de démoulage végétales sont de plus en plus utilisées en dépit de leurs limites pour les températures extrêmes.

Les produits de décoffrage doivent être appliqués de manière régulière et en faible quantité. La pulvérisation se fait à une pression minimale de 2 bars, avec une buse de sortie permettant la répartition homogène des gouttelettes. Si les huiles sont plus visqueuses en raison d'une baisse de température, la pression doit être augmentée afin de maîtriser ces paramètres. En respectant cette mise en œuvre, il se forme un film protecteur fin et continu évitant la formation d'accumulations ponctuelles.

Lors de l'utilisation sur des coffrages, on passe une raclette ou un chiffon afin de limiter les excès. En effet, les matières actives risquent d'entraîner la formation de taches, de bullages et de farinage.

7.7.1 Huiles et émulsions

Via les organismes de santé, les lois de protection environnementales et devant le manque de référentiel réglementaire, le Syndicat national des adjuvants pour bétons et mortiers (Synad) a construit une classification des agents de démoulage dont la méthode a été concertée avec le Cérif. Il existe 4 grandes familles d'huiles et émulsions :

- végétal ;
- de synthèse ;
- minéral neuf ;
- recyclé.

Page suivante

Tableau 1. Classification Synad des agents de démoulage.

Appellation : L'appellation VÉGÉTAL concerne les agents de démolage formulés entièrement ou en partie avec des constituants végétaux (soja, coïza, ester méthylique,...) et dont la biodégradabilité ultime à 28 jours est supérieure à 60%, selon le test NF EN ISO 9408 - OCDE 301 F. Les produits des adhérents du Synad respectant ce critère sont identifiés par un logo spécifique.



Point éclair : C'est la température à laquelle un produit s'enflamme au contact d'une flamme.

Biodégradabilité : La biodégradabilité est la capacité d'une substance à subir une biodégradation, c'est à dire une transformation en produit simple par l'intermédiaire d'organismes vivants. La classification SYNAD a choisi la biodégradabilité ultime, soit une dégradation complète d'un composé organique par les micro-organismes, conduisant à la production de CO₂, d'eau, de sels minéraux... Les résultats sont exprimés en % d'élimination à une échéance de 28 jours. **LA NORME NF EN ISO 9408 - OCDE 301 F** La norme détermine le % de biodégradation ultime en mesurant la consommation en dioxygène ou la production de dioxyde de carbone.

CLASSIFICATION SYNAD DES AGENTS DE DÉMOULAGE

Appellation	Définition	Critères d'information		
		Sécurité feu	Santé	Environnement
VÉGÉTAL Pur Végétal	- Concentration huile ou solvant végétal > 95% - Point éclair > 100°C - Biodégradabilité mini 60% en 28 jours selon NF EN ISO 9408 - OCDE 301 F - Aucun étiquetage-sécurité	★★★★	★★★★	★★★★
A base Végétale	- Concentration huile ou solvant végétal > 50% - Non inflammable (Point éclair > 61°C) - Biodégradabilité mini 60% en 28 jours après évaporation selon NF EN ISO 9408 - OCDE 301 F - Aucun étiquetage-sécurité	★★★★	★★	★★★★
Émulsion d'Huile Végétale	- Biodégradabilité mini 60% en 28 jours selon NF EN ISO 9408 - OCDE 301 F - Aucun étiquetage-sécurité	★★★★	★★★★	★★★★
SYNTHÈSE				
Pur Synthèse	- Point éclair > 100°C - Aromatiques totaux < 1%	★★★★	★★	★★
Synthèse	- Solvants désaromatés - Point éclair > 61°C - Aromatiques totaux < 1% - Couleur Gardner 5 maxi	★★★★	★★	★★
Émulsion d'Huile de synthèse	- Aromatiques totaux < 1%	★★★★	★★	★★
MINÉRAL NEUF	- Couleur Gardner 10 maximum - Solvants à teneur en aromatiques < 1%	★★	★★	★★
RECYCLÉ	- Conforme aux directives du Conseil des Communautés Européennes n° 85/467/CEE du 1 ^{er} octobre 1985-J.O. des Communautés Européennes L269 du 11 octobre 1985 - Absence de Métaux Lourds	★★	★★	★★

Aromatiques : Les composés aromatiques plus ou moins présents dans de nombreuses huiles de base minérale sont des produits lourds, peu stables à l'oxydation et très agressifs vis-à-vis des élastomères. Ces composés aromatiques sont dangereux pour la santé (toxiques, mutogènes) et pour l'environnement (car difficilement biodégradables). On recherche donc leur élimination maximale lors des raffinages. Seules les huiles dites « blanches » traitées à l'hydrogène sont totalement exemptes d'hydrocarbures aromatiques ou naphthéniques lourds.

Gardner : Echelle de couleur allant de l'incolore (min) jusqu'au noir sombre (maxi) en passant par les jaunes et marrons. C'est l'échelle généralement adoptée pour les produits pétroliers. Exemples : la couleur 0 est incolore, la 5 correspond à une huile de table, la 10 à une huile moleur neuve ...

Légende :
Critères d'information basés sur une classification de 1 à 5 correspondant à un classement comparatif où :
★★★★ : Très bon pour le critère envisagé
★★★☆☆ : Très mauvais pour le critère envisagé

Pour la sécurité feu :
★★★★ pour point éclair supérieur à 100°C,
★★★★ pour point éclair de 61 à 100°C,
★★★☆☆ pour point éclair de 23 à 61°C,
★★☆☆☆ pour point éclair de 0 à 23°C,
☆☆☆☆ pour point éclair < 0°C.

Pour la santé :
★★★★ pas d'évaporation de Composés Organiques Volatiles (COV) et 0% de teneur en aromatiques,
★★★☆☆ évaporation de COV très faible à la température d'utilisation et teneur en aromatiques < 1%,
★★☆☆☆ point éclair plus faible, donc évaporation un peu plus forte de COV et teneur en aromatiques < 1%,
★★☆☆☆ évaporation importante de COV et teneur en aromatiques < 1%,
★★☆☆☆ évaporation importante de COV et teneur en aromatiques > 1%.

Pour l'environnement :
★★★★ biodégradabilité ultime du composé, pas de pollution de l'atmosphère,
★★★☆☆ biodégradabilité ultime et très légère évaporation dans l'atmosphère de COV,
★★☆☆☆ pas de biodégradabilité ultime, évaporation plus importante de COV dans l'air,
★★☆☆☆ pas de biodégradabilité ultime et dégradation plus importante de COV,
★★☆☆☆ pas de biodégradabilité ultime, présence d'aromatiques dans l'environnement et COV.

Copyright SYNAD 2003

Afin de bien sélectionner l'agent décoffrant adapté à l'aspect de surface souhaité par l'architecte, il est nécessaire de prendre en compte les points suivants :

- mode d'application de l'agent décoffrant :
- proscrire tout excès,
- maintenir la pression du pulvérisateur entre 3 et 4 bars,
- utiliser des buses adaptées à la pulvérisation et les maintenir propres ;
- compatibilité avec la peau coffrante à valider au moyen d'essais préalables ;
- recherche de la polyvalence de l'agent décoffrant vis-à-vis des conditions climatiques,

Recommandation

Il est conseillé d'utiliser un seul et même agent pour l'ensemble du chantier afin d'éviter les risques d'erreur liés à l'utilisation d'un agent inadapté au support, ce qui entraînerait des désordres.

Les huiles et émulsions à conseiller sont :

- **huiles végétales** : la tendance va vers l'utilisation croissante de ces produits en raison de leur impact environnemental ; néanmoins, des précautions sont à prendre :
 - ✓ par temps très chaud, il peut y avoir un risque d'oxydation (épaississement) : dans ce cas, on ne doit donc appliquer ces produits que peu de temps avant le coulage du béton,
 - ✓ par temps très froid, il peut se produire un épaississement par une modification de la viscosité du produit,
 - ✓ éviter toute application excessive,
 - ✓ vérifier la compatibilité avec les produits de traitement éventuels : peinture, hydrofuge, enduit,
 - ✓ contrôler la compatibilité avec les joints souples de coffrage ;
- **huiles de synthèse** : ce sont des produits purs (un seul type de molécule de synthèse) et stables qui donnent de bons résultats ; ces huiles généralement incolores et contenant peu d'additifs (antioxydant...) sont peu sensibles à une application en excès ; elles sont recommandées pour les bétons apparents sur tous les types de coffrage (métal, bois brut, bois bakelisé...);
- **émulsions** (mélange miscible d'eau et d'huile d'origine végétale ou de synthèse) ; elles réduisent le bullage, notamment sur les coffrages absorbants ; elles sont inodores ;
précautions :
 - ✓ elles peuvent parfois créer un léger encrassement des coffrages qu'il faut bien nettoyer avant de procéder à une nouvelle application,
 - ✓ elles sont sensibles au gel.

Nous déconseillons

- Huiles recyclées : d'une façon générale, ces huiles sont déconseillées du fait de leur toxicité et de leurs résultats aléatoires : risques de poudrage des surfaces, bullage, altération des peaux coffrantes.
- Huiles avec tensio-actif : certaines huiles contiennent des tensio-actifs : des précautions d'emploi sont à prendre en raison de leur miscibilité à l'eau du béton : risques d'une fine désactivation de la peau du béton et de bullage. Respectez les préconisations indiquées dans la fiche technique.

Remarque

L'utilisation du gas-oil est interdite.

7.7.2 Cires

Les cires se présentent sous forme de pâte ou de liquide pulvérisable.

Les cires sont préférées aux huiles pour créer un film protecteur plus « sec ». Une fois la cire appliquée, il est préconisé de bien la « lustrer » avec un chiffon : sur des coffrages d'aspect glacé, le béton présente alors une surface miroir et sans bulles.

Les cires en pâte, une fois appliquées sur le coffrage, résistent bien aux intempéries. Elles apportent une protection efficace et durable des peaux coffrantes et donnent un bon aspect de parement, sous réserve d'une application soignée : les excès provoquent des taches ou des traces de coups de chiffon.

Les cires liquides pulvérisables sont préconisées pour les coffrages à relief important.

7.7.3 Produits à double effet (décoffrant et désactivant)

Ces produits appliqués par pulvérisation ou au rouleau sur les coffrages retardent la prise de la peau du béton en contact avec le coffrage. Le lavage ou le brossage doivent être réalisés dès la fin du décoffrage. Cette technique est applicable en préfabrication ; sur le chantier en béton coulé en place, une grande maîtrise du procédé est indispensable : une étude de faisabilité est conseillée.

Il ne faut surtout pas employer d'agent décoffrant avec les désactivants, la propriété décoffrante étant déjà incluse dans ces produits. Il existe différents produits en fonction de la profondeur de désactivation souhaitée par l'architecte (selon le diamètre des granulats à désactiver). Ces produits sont identifiés par leur couleur.

7.7.4 Effet physico-chimique

Pour formuler leurs décoffrants, les industriels utilisent des produits actifs faiblement dosés dans des bases : huile, eau, cire en pâte. Les molécules de ces produits possèdent une polarité chimique qui les fait bien adhérer aux surfaces sans pour cela avoir une viscosité élevée (c'est l'opposé du démoulage par interposition d'un film très gras, et épais).

Le but est d'obtenir la formation d'un film qui résiste à la forte abrasion qui se produit le long du coffrage pendant le coulage ou la phase de vibration.

Pendant la prise du béton, les molécules actives des produits décoffrants doivent provoquer à l'interface coffrage/béton une action chimique contrôlée qui aboutit à annuler les forces d'adhérence entre le béton et la paroi coffrante.



Centre Hospitalier Les Murets, La Queue-en-Brie (94)
François Noël, architecte — Photo : DR

Étanchéité des joints de façade

8.1 Généralités

Le calfeutrement des joints de façade est important pour la réussite de l'ouvrage. En complément de la fonction technique, la fonction esthétique doit tenir compte des exigences architecturales.

Il est réglementé par les documents suivants :

- **DTU 44.1 (NF P 85-210-1)** : *Étanchéité des joints de façade par mise en œuvre de mastics* ;
- **DTU 22.1 (NF P 10-210)** : *Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire* ;
- **Directives UEATc communes** pour l'agrément des procédés de construction pour grands panneaux lourds préfabriqués ;
- **Prescriptions techniques communes aux procédés de mur ou de gros œuvre du groupe spécialisé n° 1** ;
- **Cahier du CSTB n° 2159**.
- **Eurocode 2**.

Remarque

Les systèmes de traitement des joints de façade relèvent de la garantie décennale.

8.1.1 Définition

On appelle **joint** :

- l'espace laissé libre entre deux éléments de construction ;
- le matériau qui sert à remplir cet espace, dit matériau de calfeutrement ou de jointoiment.

Les types d'espace existant dans un ouvrage sont :

- de fractionnement ou de dilatation ;
- architecturaux (calepinage).

Les matériaux de jointoiment assurent l'étanchéité d'éléments entre eux. Ils doivent :

- prendre en compte les mouvements mutuels de ces éléments dus aux conditions climatiques (température et hygrométrie) et aux variations de chargement de l'ouvrage ;
- absorber ces mouvements sans subir de dommage afin de continuer à assurer la fonction d'étanchéité ;
- être inaltérables dans le temps.

Remarque

Certains joints sont laissés libres, par exemple ceux des murs de soutènement.

8.1.2 Sollicitations

Les joints sont soumis à des sollicitations :

- traction, élongation ;
- compression, retrait ;
- cisaillement, glissement ;
- érosion en surface ;
- pression d'eau et d'air ;
- agression chimique ;
- vandalisme.

8.2 Types de joints

Le calepinage des joints et leurs caractéristiques sont définis par le concepteur et l'entreprise.

Les joints sont classés en **deux catégories** :

- les joints à un étage, dont l'étanchéité à l'air et à l'eau est assurée uniquement par un produit de calfeutrement ;
- les joints à deux étages (ouverts, ventilés, drainés, à chambre de décompression selon le **DTU 22.1**), dont l'étanchéité à l'air et à l'eau est assurée par plusieurs éléments, l'un d'eux étant un produit de calfeutrement.

Par exemple, ce type de joint à deux étages peut être constitué, en allant de l'extérieur vers l'intérieur :

- d'un dispositif constituant une barrière à l'entrée de l'eau ;
- d'un espace vide de drainage en communication avec l'extérieur ;
- d'un dispositif assurant l'étanchéité à l'air.

On distingue les joints :

- **souples (mastics)** ;
- **mécaniques** ;
- **précomprimés** ;
- **collés**.

8.2.1 Joints souples

Ils permettent d'obtenir la continuité du parement parce qu'ils affleurent au nu extérieur des façades.

L'aspect libre est calfeutré par un mastic, conformément au **DTU 44.1**. Il existe différents coloris de mastic permettant l'harmonisation des joints avec la façade.

Un mastic est un produit de calfeutrement livré et mis en œuvre avec une consistance pâteuse présentant, après mise en place, des caractéristiques :

- d'adhérence au support ;
- de cohésion ;
- de déformabilité,

qui lui permettent d'assurer durablement l'étanchéité à l'eau et à l'air d'un joint dans des conditions données d'ambiance et de mouvement.

On distingue les **mastics** :

- élastiques ;
- plastiques.

Il existe plusieurs familles chimiques de mastic : polyuréthanes, silicones, acryliques, butyls.

Selon leur situation dans l'ouvrage, les joints souples nécessitent une protection mécanique contre les risques de vandalisme.

8.2.2 Joints mécaniques

Parce qu'ils sont en retrait du nu extérieur, les joints mécaniques créent une rupture de la surface et un trait ombré entre les panneaux.

Ils mettent en œuvre des profilés, généralement en PVC, constitués de deux glissières incorporées, à la fabrication, dans les rives des panneaux, et d'une languette introduite lors du montage dans les glissières de deux panneaux adjacents.

Ils sont réservés à la réalisation des étanchéités à l'eau. Pour l'étanchéité à l'air un complément doit être mis en œuvre (par exemple, bande collée à l'arrière des panneaux ou joints précomprimés).

Ces joints acceptent un écartement des panneaux mis en œuvre plus important que les joints souples. Cela les rend particulièrement aptes à être utilisés pour les joints exposés à de grandes variations d'ouverture, par exemple entre panneaux-sandwichs à voile extérieur librement dilatable, à condition que le joint soit continu. Ils sont d'une grande durabilité et sont réalisés quelles que soient les conditions climatiques.

Certains systèmes font l'objet d'avis techniques.

8.2.3 Joints précomprimés

Présenté en rouleaux précomprimés, généralement en mousse de polyuréthane, ce joint assure l'étanchéité en se décomprimant.

Certaines mousses sont imprégnées de bitume pour améliorer leur étanchéité (attention au risque de taches par temps chaud).

Ce procédé est appliqué :

- soit seul, puisqu'il assure l'étanchéité à l'air et à l'eau ;
- soit en complément des joints mécaniques, qui ne sont étanches qu'à l'eau ;
- soit en rejingot en joint horizontal.

Remarque

Il existe des joints comprimés mis en place en force (joints élastomères en forme de sapin) principalement utilisés sur les joints de dilatation.

8.2.4 Joints collés

C'est une bande collée à l'arrière des éléments, souvent bitumineuse.

Elle permet de compléter :

- l'étanchéité horizontale au sommet des panneaux comportant un joint mécanique ou souple vertical ;
- les joints mécaniques pour l'étanchéité à l'air.

Elle évite les entrées de laitance à l'intérieur du joint en cas de clavetage entre éléments.

8.3 Dimensionnement des joints

Le dimensionnement des joints est lié au choix du concepteur.

Les éléments préfabriqués sont soit :

- liés de façon rigide à la structure ;
- suspendus, dans le cas par exemple d'une isolation thermique par l'extérieur (ITE),

présentent des variations dimensionnelles. Celles-ci sont la conséquence des contraintes thermiques que subit le béton (coefficient de dilatation de 10^{-5} m/m/°C).

Le Syndicat national des joints et façades (SNJF) considère un écart de température de 80 °C entre hiver (-10 °C) et été (+70 °C).

Le **DTU 22.1 (NF P 10-210-1)** : *murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire – Partie 1 : cahier des charges*, prévoit que les joints doivent avoir une largeur comprise entre 10 mm et 30 mm ; une largeur nominale de 15 mm convient le plus souvent.

Les variations dimensionnelles sont aggravées par la mise en œuvre en façade d'un parement sombre, captant plus fortement le rayonnement solaire.

L'ouverture des joints est validée par le bureau d'études, après le choix de l'architecte, en considérant les dimensions des panneaux.

Les joints de dilatation sont imposés et dimensionnés par l'**Eurocode 2 (NF EN 1992-1-1)** : *Calculs des structures en béton*.

Pour obtenir une étanchéité à l'eau et à l'air des joints horizontaux, il est recommandé d'utiliser des profils avec rejingot (différence de niveau), complétés par un joint précomprimé entre éléments ou une bande collée à l'arrière de l'élément.

Les **règles SNJF** proposent un calcul du dimensionnement des joints verticaux.

8.4 Mise en œuvre

L'exécution du jointolement et la préparation du support sont confiées à des équipes spécialisées titulaires des qualifications nécessaires.

Le mastic utilisé doit être titulaire d'un label SNJF en cours de validité.

Une attention particulière est apportée à la préparation du support :

- l'adhérence du mastic doit être vérifiée si les supports sont en béton revêtu (contacter le cas échéant le fabricant du mastic) ;
- les surfaces de contact (ou interfaces) du joint doivent être propres, sèches, exemptes de tout produit (laitance, huile de décoffrage, hydrofuge de surface...) susceptible de nuire à l'adhérence du mastic ;
- les dimensions du joint sont contrôlées en tenant compte des variations dimensionnelles liées aux différences de températures ;
- un fond de joint (mousse de polyéthylène à cellules fermées) enfoncé dans le vide permet de réaliser un calfeutrement de section rectangulaire, à l'épaisseur maîtrisée.



Médiathèque de Carnoux (13)
Atelier Fernandez-Serres — Photo : DR

9.1 Coulé sur chantier

Pour faire valider par l'architecte les caractéristiques d'aspect de surface, un voile témoin représentatif du chantier est réalisé in situ.

9.1.1 Parements

On distingue :

- des parements coffrés (parois verticales et sous-faces) ;
- des parements non coffrés (états de surface des dalles et planchers).

9.1.1.1 Parements coffrés

En l'absence de toute indication de **documents particuliers au marché (DPM)**, les parements ordinaires sont retenus. Toutefois, lorsqu'il est destiné à rester brut ou à être revêtu, le parement extérieur des ouvrages exposés à la pluie doit être soigné.

Des qualités de parement différentes peuvent être exigées. Elles sont définies dans les DPM (parement bouchardé, lavé, sablé, etc.).

Les caractéristiques de planéité des parements sont regroupées dans les tableaux ci-après **DTU 21 (NF P18-201) : Travaux de bâtiment – Exécution des ouvrages en béton – Cahier des clauses techniques (Indice de classement : P18-201)**.

Parement (1)	Planéité d'ensemble rapportée à la règle de 2 m	Planéité locale, hors joints, rapportée à un réglet de 0,20 m (creux maximal sous ce réglet)
Élémentaire	Pas de spécificité particulière	
Ordinaire	15 mm	6 mm
Courant	7 mm	2 mm
Soigné	5 mm	2 mm

(1) Les caractéristiques de l'épiderme et tolérances d'aspect sont définies dans le **FD P 18-503**.

9.1.1.2 Parements non coffrés

État de surface	Planéité d'ensemble rapportée à la règle de 2 m	Planéité locale, hors joints, rapportée à un réglet de 0,20 m (creux maximal sous ce réglet)
Brut de règle	15 mm	Pas de spécificité particulière
Surfacé	10 mm	3 mm
Lissé (1)	7 mm	2 mm

(1) Si les DPM indiquent que le support est destiné à recevoir un revêtement de sol collé ou une sous-couche isolante ou encore un revêtement de sol en pose scellée désolidarisée, les tolérances de planéité sont celles des sols lissés.

9.1.2 Tolérances dimensionnelles

Ces tolérances concernent les dimensions et les formes définies par les plans de coffrage.

Elles ne concernent pas :

- les déformations qui se produiront après la livraison de l'ouvrage, par exemple le fluage ;
- les tolérances d'implantation générale ;
- les axes de construction.

Sont à prendre en compte :

- les parties d'ouvrage :
 - ✓ poteaux et murs,
 - ✓ poutres et dalles ;
- les dispositifs constructifs du béton armé (enrobage, position des armatures, etc.).

Selon le **DTU 21 (NF P18-201)** : *Travaux de bâtiment – Exécution des ouvrages en béton – Cahier des clauses techniques.*

9.1.3 Tolérances d'aspect

Les tolérances d'aspect (état de surface, teinte) sont vérifiées conformément au fascicule de documentation **FD P18-503** : *Surfaces et parements de béton - Éléments d'identification.*

À l'occasion de la réalisation des échantillons et des prototypes, le maître d'œuvre définit avec l'entreprise les écarts admissibles.

Une distance suffisante entre l'observateur et l'élément en béton est nécessaire pour avoir une vue d'ensemble.

9.1.3.1 État de surface

Le niveau de qualité de la texture d'épiderme, E (1) à E (4), est évalué en référence à l'échelle de bullage définie dans le fascicule de documentation **FD P 18-503** : *Surfaces et parements de béton - Éléments d'identification* :

- E (1)** **Bullage moyen** correspond au niveau de l'échelle 7, surface maximale par bulle 3 cm², profondeur 5 mm, surface du bullage 10 % de la surface totale,
Bullage concentré = 25 % ;
- E (2)** **Bullage moyen** correspond au niveau 5, surface maximale par bulle 1,5 cm², profondeur 3 mm, surface du bullage 3 % de la surface totale,
Bullage concentré = 10 % ;
- E (3)** **Bullage moyen** correspond au niveau 3, surface maximale par bulle 0,3 cm², profondeur 2 mm, surface du bullage 2 % de la surface totale,
Bullage concentré = 5 % ;
- E (4)** À préciser au marché.

9.1.3.2 Teinte

Le principe du nuancier utilisé pour la vérification des teintes est basé sur l'échelle des gris du fascicule de documentation **FD P18-503** : *Surfaces et parements de béton - Éléments d'identification.*

Le niveau de qualité (homogénéité) de la teinte « T » est défini par un chiffre qui caractérise les écarts admis par rapport à la teinte moyenne, respectivement entre deux zones adjacentes (mêmes éléments, jusqu'à deux éléments contigus) et entre deux zones éloignées (éléments non contigus) :

- T (0)** absence de critères ;
- T (1)** écart admissible entre deux zones adjacentes :
3 degrés par rapport à la teinte moyenne,
écart admissible entre deux zones non contiguës : 4 degrés par rapport à la teinte moyenne ;
- T (2)** écart admissible entre deux zones adjacentes :
2 degrés par rapport à la teinte moyenne,
écart admissible entre deux zones non contiguës : 3 degrés par rapport à la teinte moyenne ;
- T (3)** écart admissible entre deux zones adjacentes :
1 degré par rapport à la teinte moyenne,
écart admissible entre deux zones non contiguës : 2 degrés par rapport à la teinte moyenne ;
- T (4)** écart admissible à préciser par le marché.

Pour le béton blanc, on prend une photo en noir et blanc de l'échantillon témoin et des façades examinées, et l'on respecte l'échelle ci-dessus indiquée au marché.

9.2 Préfabrication

Les éléments préfabriqués doivent être contrôlés par l'entreprise de gros œuvre à la livraison sur le site avant l'incorporation dans l'ouvrage (contrôle visuel de chaque pièce et contrôle dimensionnel par sondage).

9.2.1 Tolérances dimensionnelles

Elles doivent être conformes aux valeurs de la norme **NF EN 14992** : *Produits préfabriqués en béton – Éléments de mur* (voir tableaux § 4.3.1.1 de la norme).

Il existe deux classes de tolérance :

- la **classe A** s'applique aux surfaces coulées dans un moule unitaire ;
- la **classe B** s'applique aux autres surfaces telles que les tables coffrantes.

9.2.2 Tolérances d'aspect

Pour faire valider par l'architecte les caractéristiques d'aspect de surface, différents échantillons témoins d'au moins 20 cm x 30 cm sont fabriqués lors de la commande par l'industriel.

Un procès-verbal d'acceptation sera signé entre les différentes parties.

État de surface, teinte, texture

Ils seront comparés à ceux des échantillons témoins définis ci-dessus.

Voir Chapitre 4 *Aspects de surface, page 37*

Leurs niveaux de qualité sont identiques à ceux définis par le fascicule **FD P 18-503** : *Surfaces et parements de béton - Éléments d'identification* et complété par le **CEN TR 15739** : *Produits préfabriqués en béton. Surface et parements en béton. Éléments d'identification*.

Une distance suffisante entre l'observateur et l'élément en béton est nécessaire pour avoir une vue d'ensemble.

Pour les produits préfabriqués, le fascicule **FD P 18-503** est remplacé par le **CEN TR 15739**.

9.2.3 Marquage CE et étiquetage

Il est recommandé que les éléments architecturaux en béton préfabriqué répondent au référentiel de la marque NF Éléments architecturaux ou équivalent. Celle-ci s'appuie sur un cahier des charges complet qui constitue le référentiel technique. Celui-ci s'applique aux éléments architecturaux en béton destinés aux bâtiments et au Génie Civil.

Conformément à la norme **NF EN 14992** : *Produits préfabriqués en béton – Éléments de mur*, les informations simplifiées suivantes doivent accompagner le symbole du marquage CE de l'élément :

- le nom ou la marque d'identification du fabricant et le lieu de fabrication ;
- le numéro d'identification de l'élément ou équivalent (afin d'assurer la traçabilité) ;
- les deux derniers chiffres de l'année d'apposition du marquage ;
- le numéro du certificat CE de conformité du contrôle de la production en usine (uniquement pour les produits relevant du système 2+) ;
- la référence à la norme **NF EN 14992** : *Produits préfabriqués en béton – Éléments de mur*.

9.2.4 Réception du premier élément en usine

Le préfabricant informe le maître d'œuvre de la réalisation du premier élément et l'invite à le réceptionner en usine. L'examen visuel doit être fait dans des conditions similaires aux conditions finales d'exposition des pièces (distance, inclinaison...) et comparé à l'échantillon initial accepté par les différentes parties.

9.2.5 Réception à la livraison sur chantier

Chaque élément doit être livré avec un bon de livraison comportant :

- la déclaration de conformité aux spécifications de la commande ;
- les indications du marquage ;
- la mention du transporteur ;
- la date de livraison.

Pour les éléments faisant l'objet de la marque **NF EN 14992** : *Produits préfabriqués en béton – Éléments de mur* ou d'une autre certification officielle, l'apposition du sigle du certificat dispense de faire figurer la déclaration de conformité sur le bon de livraison.

Outre l'identification des éléments, la réception de ceux-ci par l'entreprise ou le maître d'œuvre comprend la vérification de non-dégradation ou dommages à la livraison.

Les dégradations et les non-conformités constatées à la livraison sur site doivent être mentionnées sur l'exemplaire du bon de livraison du transporteur. Pour les pièces non conformes, contacter au préalable le préfabricant avant de les retourner à l'usine.

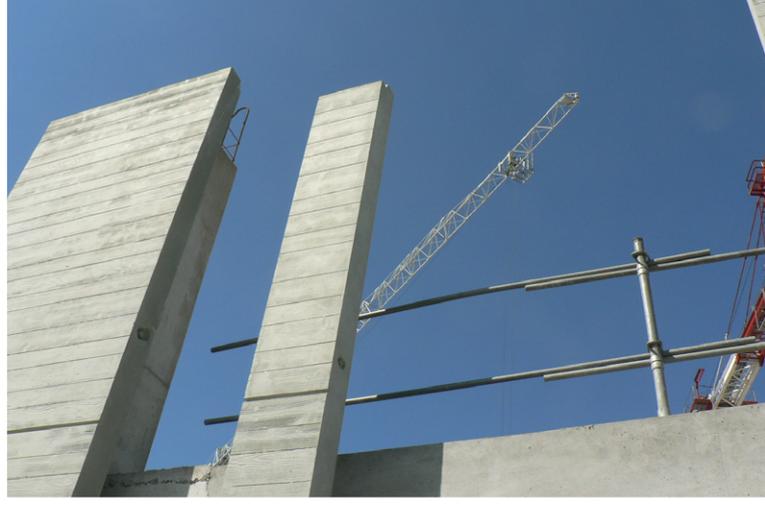
9.2.6 Tolérances de pose

Les points importants à respecter sont :

- la largeur des joints ;
- l'alignement des lignes de joints des panneaux ;
- l'affleurement.

9.3 Références normatives

- **DTU 21 (NF P18-201)** : *Travaux de bâtiment – Exécution des ouvrages en béton – Cahier des clauses techniques (Indice de classement : P18-201).*
- **DTU 22.1 (NF P10-210-1)** : *Travaux de bâtiment - Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire - Partie 1 : cahier des charges - Partie 2 : cahier des clauses spéciales (Référence commerciale des parties 1 et 2).*
- **FD P18-503** : *Surfaces et parements de béton - Éléments d'identification.*
- **NF EN 13369** : *Règles communes pour les produits préfabriqués en béton.*
- **NF EN 14992** : *Produits préfabriqués en béton – Éléments de mur.*
- **Fascicule 65** : *Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou en béton précontraint. Cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux.*



Immeuble de bureaux à Tours (37)
Daniel Kahane, architecte — Photo : DR

10.1 Pourquoi protéger et entretenir les bétons ?

Le respect des règles de mise en œuvre est essentiel pour donner au matériau des caractéristiques durables, immédiates et évolutives, tant sur le plan technique qu'esthétique.

Ce « savoir-faire » ne doit pas exclure la prise de conscience et le respect d'un phénomène inéluctable et naturel : **le vieillissement**. Prenant en compte ce phénomène, nous arrivons naturellement à la question de l'entretien si nous voulons que le matériau soit pérenne.

En effet, comme toute façade, les parements de béton doivent être entretenus régulièrement par des méthodes adaptées à leur spécificité.

La protection et l'entretien des bétons doivent donc être considérés comme des actions normales et prévisibles, pour autant qu'elles n'aient pas à intervenir sur les phénomènes pathologiques liés par exemple au non-respect des règles techniques de mise en œuvre.

La protection est associée à la durabilité esthétique et structurale des parements. Elle garantit l'homogénéité des teintes (variations de teinte dues à la pluie).

10.1.1 Altérations visuelles

Elles peuvent être :

- naturelles,
- organiques (mousse, lichen...),
- atmosphériques (cendres, fumées...),
- efflorescences,
- accidentelles ou volontaires (goudron, peinture, tags, graffiti...).

10.1.2 Altérations structurelles

Ce peut être :

- des fissures ;
- un microfaiçage ;
- l'éclatement du béton par corrosion des armatures ou gel ;
- la dégradation par un nettoyage inadapté.

Des interventions simples doivent permettre, tous les 5 à 10 ans, selon les produits et les sites, de conserver au mieux les bétons et leur rendre l'aspect originel disparu.

- **béton neuf** : protection + entretien + diagnostic à 5 ans ;
- **béton ancien** : diagnostic + nettoyage (restauration si nécessaire) + protection + entretien + diagnostic à 5 ans.

10.2 Types de salissures

Les principales salissures sont listées dans le tableau 1 : Familles de produits selon le type de salissure.

10.2.1 Détachage

Il s'agit d'un nettoyage de zones limitées dans le cas de salissures particulières, à l'aide de nettoyeurs chimiques adaptés qui nécessitent :

- d'éviter le contact prolongé des produits attaquant le béton ;
- de tenir compte de l'aspect de surface du béton ;
- de rincer abondamment en récupérant les eaux usées.

Le tableau n° 1 regroupe les principaux produits utilisés en fonction du type de salissure.

Tableau n° 1. Familles de produits selon le type de salissure.

Type de salissure	Produits utilisés	Types de nettoyage	Précautions - Dispositions particulières
- Huiles végétales - Graisses	Détergent autoémulsionnable.	Brossage puis rinçage sous pression.	- Éviter les solvants purs qui font pénétrer la tache plus profondément. - Choisir de préférence des solvants très volatils.
	Pâte absorbante.	Application à la spatule, temps d'attente, brossage.	L'opération peut être répétée plusieurs fois jusqu'à disparition de la tache.
Tanin	Agents oxydants puissants (péroxydes, hypochlorites).	Brossage puis rinçage sous pression.	- Intervenir dès l'apparition des taches. - Humidification préalable. - Risque de décoloration. - Manipuler avec précaution.
Gomme à mâcher	- Neige carbonique. - Tétrachlorure de carbone.	Refroidissement par aérosol suivi d'un grattage à la spatule du produit durci.	- Précautions d'emploi. - Personnel qualifié.
Bitume	- Lessive chaude. - Dissolvant auto-émulsionnable.	- Grattage préalable si couche épaisse. - Pulvérisation du produit. - Attente du ramollissement. - Rinçage eau chaude haute pression.	Pour harmoniser l'état de surface, faire un nettoyage final au détergent.
Micro-organismes	Fongicides (par exemple : sulfamate d'ammonium).	- Pulvérisation du produit sous pression et brossage. - Attente de 1 à 2 semaines et lavage haute pression.	Ces produits agissent en tuant les micro-organismes, ce qui induit un temps d'attente avant élimination
Rouille	- Acide oxalique 5 %. - Acide phosphorique 10 %. - Citrate de sodium.	- Brossage suivi d'un rinçage sous pression.	- Humidification préalable du support avant toute application d'acide. - Produits corrosifs et toxiques qui attaquent le béton. - Rinçage abondant obligatoire. Important Faire obligatoirement des essais préalables.
Efflorescences	Acides spécifiques dilués.	- Brossage à sec pour enlever le maximum d'efflorescences. - Application du produit en brossant la surface.	- Humidification préalable du support avant toute application d'acide. - Rinçage obligatoire. Important Faire obligatoirement des essais préalables.

Type de salissure	Produits utilisés	Types de nettoyage	Précautions - Dispositions particulières
Peinture et graffiti	Solvants spécifiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Pulvérisation des solvants, attente du ramollissement puis brossage. - Ces opérations peuvent être répétées plusieurs fois. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rinçage final à l'eau obligatoire.
<i>Important : Pour tout produit chimique, consulter les fabricants.</i>			

10.3 Influence de la nature du support sur la sensibilité aux salissures

Les paramètres influents sont les suivants.

10.3.1 Compacité - Porosité

Une compacité élevée optimise l'homogénéité du matériau et réduit la présence de vides susceptibles de favoriser la pénétration des salissures.

Pour un béton apparent, la compacité doit être optimale et donc la porosité minimale.

10.3.2 Rugosité

Le degré de rugosité détermine :

- la sensibilité aux salissures ;
- la facilité de nettoyage.

Les bétons matricés permettent d'éviter la dégradation des parements par l'affichage sauvage.

Pour les sols, on s'attache à trouver le meilleur compromis afin que le béton ne soit pas glissant sans pour autant fixer les salissures. Se référer au document [Les Sols finis en béton, Bétocib](#).

Important

Les problèmes de salissures doivent être pris en compte dès la conception du bâtiment parce que certaines formes favorisent l'encrassement :

- éviter les pièges à eau (creux, saillies...);
- maîtriser le cheminement des eaux de ruissellement (larmiers, corniches, chaperons) ;
- tenir compte de l'orientation des parements (ouest, nord, verticaux, horizontaux).

Remarque

Quelle que soit la protection mise en place sur un béton, celle-ci ne rendra jamais bon un mauvais béton.

10.4 Protection

10.4.1 Hydrofuges de surface

L'hydrofugation de surface est sans doute le système de protection des bétons le plus répandu actuellement.

Un hydrofuge de surface est un produit destiné à limiter la pénétration de l'eau dans les pores du béton, sans en altérer les qualités mécaniques et esthétiques.

L'hydrofuge de surface doit être utilisé :

- soit préventivement : comme protection contre la pénétration d'eau dans le support ;
- soit curativement : en rénovation et entretien des façades.

Ce produit peut être :

- **filmogène** : il n'agit pas par capillarité mais crée un film étanche à la surface extérieure du parement, et s'oppose ainsi à la pénétration de l'eau sans bloquer les échanges gazeux (ce type d'hydrofuge modifie la texture et la teinte du parement) ;
- **d'imprégnation** (non filmogène) : il agit par capillarité, ce qui a son importance aussi bien pour l'aspect des surfaces à traiter que pour l'efficacité du traitement. Il doit posséder les qualités suivantes :
 - ✓ créer une surface qui s'oppose à la pénétration de l'eau sans bloquer les échanges gazeux ;
 - ✓ ne pas modifier la teinte ni la texture de la surface, et ce même en vieillissant ;
 - ✓ avoir une profondeur de pénétration suffisante ;
 - ✓ ne pas entrer en réaction avec le béton ;
 - ✓ accepter éventuellement un certain taux d'humidité du support lors de l'application (produit en phase aqueuse).

Se reporter au tableau n° 2 présentant dans le détail ces familles, avec leurs caractéristiques et leur adaptation au support à traiter. Le choix d'un produit compatible avec la qualité du support peut se faire grâce aux conseils des fabricants et des applicateurs, et par la consultation des fiches-produits détaillées.

Tableau n° 2. Familles des produits hydrofuges.

Familles des produits	Caractéristiques	Durabilité moyenne	Application	Observations
Oligomère de siloxane	<ul style="list-style-type: none"> - Très bon pouvoir de pénétration. - Matière active supérieure à 5 %. - Pas de pression de vapeur, donc pas d'évaporation du produit (perte de matière active). - Demeure dans le matériau jusqu'à ce que les conditions soient optimales pour la polymérisation. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne (estimation > 10 ans). 	<ul style="list-style-type: none"> - Sur les surfaces humides. - Efficace après 4 ou 5 heures d'application. - Application sur tout support minéral. 	<ul style="list-style-type: none"> - Existe en émulsion aqueuse ou en phase solvant.
Résines silicones	<ul style="list-style-type: none"> - Matière active solution à 5 % (solvant organique). - Grosses molécules donc faible profondeur de pénétration (à moduler en fonction du solvant). - Effet perlant très marqué. 	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité limitée sur supports alcalins. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sur support sec. - Séchage physique : 4 ou 5 heures. - Facilité d'application. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aptitude au séchage variable selon le produit. - Produit de moins en moins utilisé. - Produit jaunissant sous l'action des UV.
Silanes (organo-siliciques monomères)	<ul style="list-style-type: none"> - Molécules extrêmement petites (importante profondeur de pénétration). - Effet perlant limité. - Résiste au lavage (pluie) avant séchage. - Possibilité de mélange dans divers solvants. - Caractère volatil du produit. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne (estimation > 10 ans). 	<ul style="list-style-type: none"> - Support sec ou humide. - Polymérisation intimement liée : <ul style="list-style-type: none"> - aux conditions ambiantes (humidité) - à la présence d'un catalyseur (alcalinité) 	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité accrue en phase aqueuse. - Produits les plus utilisés.
Siliconates : - Méthylsiliconates - Propylsiliconates	<ul style="list-style-type: none"> - Polymérisation lente en présence de CO₂. 		<ul style="list-style-type: none"> - Sur support sec. - Risque de lavage par temps de pluie avant séchage. 	<ul style="list-style-type: none"> - Produit délicat à utiliser.

Familles des produits	Caractéristiques	Durabilité moyenne	Application	Observations
Acryliques	<ul style="list-style-type: none"> - Produit filmogène. - Extrait sec élevé. - Très fines molécules permettant un excellent accrochage. - Freine la pénétration de CO₂, SO₂, SO₃ et autres acides. - Résiste aux UV. - Résiste aux alcalins. - Perméable à la vapeur d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne (estimation > 10 ans). 	<ul style="list-style-type: none"> - Sur support humide. - Diluable à l'eau. - Rouleau, brosse, pistolet, pulvérisateur. 	<ul style="list-style-type: none"> - Efficace sur tout support minéral. - Séchage très rapide (environ 1 h à 2 h), selon hygrométrie ambiante.
Résines fluorées (PTFE : PolyTetraFluoroEthylène)	<ul style="list-style-type: none"> - Profondeur de pénétration faible (reste plus en surface). 	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne (estimation > 10 ans). 	<ul style="list-style-type: none"> - Sur support sec ou humide. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disponible en phase solvantée ou aqueuse (stable). - Fonctions antifongiques possibles selon formulations. - Association possible avec des oléofuges.
<p><i>Remarques</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Avant toute application de produits hydrofuges permanents, il est impératif de laisser un délai de cure de 28 jours après le décoffrage du béton. - Des hydrofuges d'imprégnation peuvent être appliqués immédiatement après le décoffrage afin d'éviter l'incrustation des efflorescences calciques ou des salissures sur chantier ; ces produits ont une durée de vie limitée à quelques mois. 				

10.4.1.1 Contrôles avant application

Avant toute application :

- il faut s'assurer des préconisations suivantes :
 - ✓ la concentration à utiliser (solution mère) qui devra être conforme aux notices techniques ;
 - ✓ la technique d'application et la quantité de produit à appliquer ;
 - ✓ les délais d'application à prévoir en fonction des conditions atmosphériques ;
 - ✓ l'âge du béton au moment de l'application du produit ;

ces préconisations peuvent s'appuyer sur le rapport de la zone témoin.

- Il faut vérifier :
 - ✓ l'état de surface du support, en particulier sa compacité, sa propreté, son degré d'humidité.
 - ✓ le degré de résistance du produit aux alcalis ;
 - ✓ les effets secondaires du produit ;
 - ✓ la profondeur de pénétration du produit en fonction de la porosité du support, pour les hydrofuges d'imprégnation ;
 - ✓ l'efficacité et la durabilité du traitement ;
 - ✓ les garanties offertes par le traitement avec assurances préalablement définies en accord avec l'applicateur ;
 - ✓ le traitement sur une zone témoin.

10.4.1.2 Vérifications pendant l'application

Lors de l'application, il faut :

- vérifier le respect du cahier des charges (quantité/m²).
- appliquer le(s) produit(s) de façon continue, uniforme et en quantité suffisante.

10.4.1.3 Choix des produits

L'hydrofugation de surface permet de lutter efficacement contre la pénétration d'eau par capillarité dans le matériau, à condition de respecter systématiquement les précautions suivantes.

Choisir les produits en fonction :

- du type d'ouvrage ;
- des caractéristiques du support (porosité, état de surface).

Le questionnaire ci-après, Les bonnes questions à poser pour choisir un bon hydrofuge, aide à sélectionner le(s) produit(s) le(s) mieux adapté(s) aux besoins.

Les bonnes questions à poser pour choisir un bon hydrofuge

Identification
Dénomination/Fabricant :
Famille chimique :
Quantité matière active :
Solvant :
Nombre de composants :

Caractéristiques principales	Tests de sélection
Effet marquant (modification de l'aspect) :	Antigriffiti :
Filmogène ou d'imprégnation :	Perméance :
Effet perlant :	Résistance aux agents extérieurs :
Consommation à respecter par m ² :	Toxicologie :
Applicable support humide :	Action fongique :

Caractéristiques du support
Nature du parement :
Support vertical/horizontal :
Age du support :
Délai de mise en œuvre :
Traitement antérieur :

Durabilité	Tests d'absorption
Durabilité estimée :	Test à la pipe :
Durabilité garantie :	Test à la lucarne : (Voir lexique).

Informations complémentaires
Notice technique :
Procès-verbaux :
Cahier des charges :
Références :

Remarques

10.4.2 Hydrofuges de masse

Ils sont incorporés lors du malaxage du béton.

L'hydrofuge de masse s'oppose à la migration de l'eau à l'intérieur de la masse du béton.

10.4.3 Antigraffiti

Il faut distinguer deux types d'actions concernant les graffitis :

- l'action curative, qui consiste à éliminer les graffitis sur une surface non protégée.
- l'action préventive, qui consiste à traiter une surface pour faciliter l'élimination des graffitis.

Il faut savoir qu'une surface qui n'a pas été traitée préalablement antigraffiti est parfois irrécupérable. Pour cette raison, il est fortement conseillé de traiter les surfaces dès la mise en œuvre.

10.4.3.1 Action curative : nettoyer les graffitis

Deux techniques sont utilisées pour le décapage des graffitis sur le béton :

- projection à basse pression de fines particules calcaires ou siliceuses en phase humide.
- décapage par combinaison de produits chimiques et de lavage à haute pression.

Une expertise préalable permet de définir la technique appropriée.

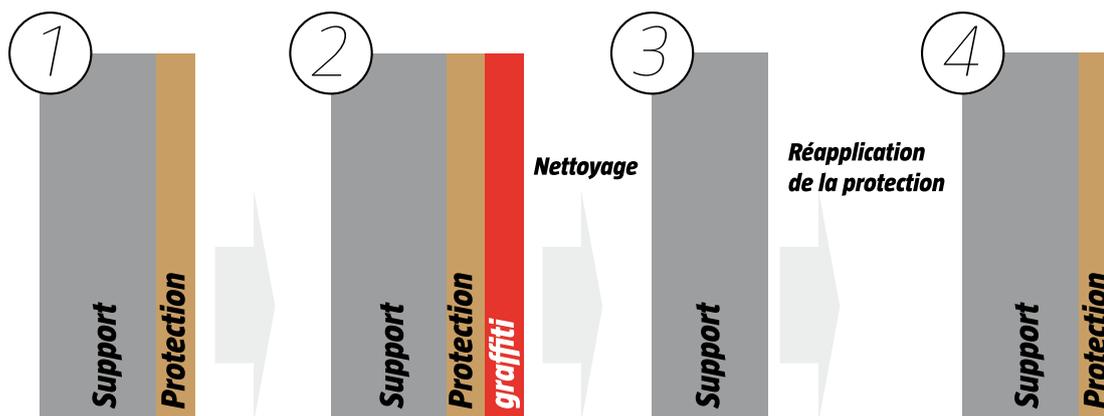
10.4.3.2 Action préventive : se protéger des graffitis

On distingue deux systèmes préventifs contre les graffitis.

Système non permanent

La protection est éliminée à chaque nettoyage.

Ce système consiste en l'application de produits à base de microcires végétales ou synthétiques, de résines acryliques, de silicones ou encore de polymères fluorés (voir schéma ci-dessous).



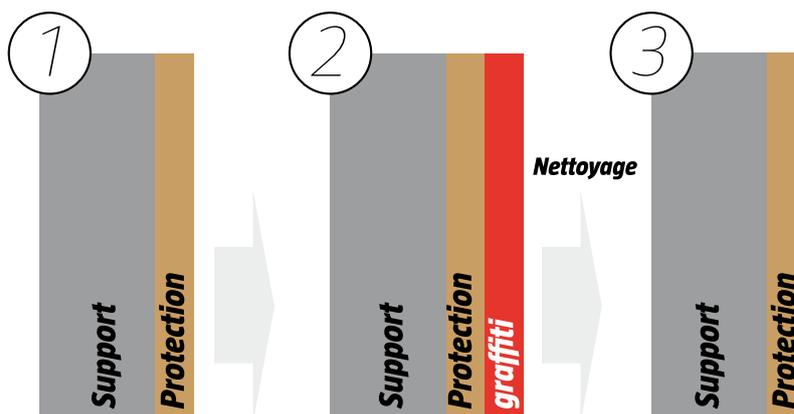
Ce système est conseillé parce qu'il laisse respirer le support ; il est peu marquant, facile à enlever.

Système permanent

La protection reste en place après nettoyage.

Ce système consiste en l'application de produits à base de résines polyuréthanes, époxydiques ou encore d'alkydes d'uréthane époxy (voir ci-dessous).

Dans tous les cas ces produits filmogènes sont visibles à la surface des parements.



Ce système limite davantage les échanges gazeux.
Le tableau n° 3 regroupe les systèmes préventifs antigraffiti.

Tableau n° 3. Familles des systèmes préventifs antigraffiti.

Systèmes	Familles	Durabilité	Usage	Méthode	UV Vieillessement (DTU 42.1) (*)
Non permanents	- Microcires végétales ou synthétiques.	3-5 ans	Unique	Décapage chimique, vapeur ou eau chaude sous pression.	Insensible
	- Résines acryliques.				Peu sensible
	- Polymère fluoré.				Peu sensible
Permanents	- Polyuréthane bicomposant.	3-10 ans	Permanent	Nettoyage des graffitis par le solvant approprié.	Peu sensible
	- Résines époxy ou alkydes d'uréthane époxy.				Sensible
<p>(*) Travaux de bâtiment - Réfection de façades en service par revêtements d'imperméabilité à base de polymères - Partie 1-1 : cahier des clauses techniques - Partie 1-2 : critères généraux de choix des matériaux - Partie 2 : cahier des clauses spéciales - Référence commerciale des parties P1-1, P1-2 et P2 du NF DTU 42.1 de novembre 2007 - Indice de classement : P84-404 L'utilisation de décapants chimiques biodégradables est recommandée.</p>					

Le traitement est choisi par le maître d'ouvrage avec l'architecte. L'application est définie en relation avec le fabricant et l'applicateur en fonction du produit, du système et du type de maintenance retenu.

Les points suivants seront particulièrement étudiés :

- nature du support ;
- fréquence des graffitis ;
- influence sur l'aspect esthétique du support ;
- perméabilité à la vapeur d'eau du traitement de protection ;
- essais de vieillissement artificiel.

Le questionnaire qui suit, Les bonnes questions pour une bonne protection antigraffiti, est une aide à la sélection du produit le plus adapté aux besoins.

Les bonnes questions pour une bonne protection antigraffiti.

Identification
Dénomination/Fabricant :
Système de protection :
Système de nettoyage correspondant :
Nombre de produits du système :

Caractéristiques principales	
Effet marquant (modification de l'aspect) :	Hydrofuge :
Filmogène ou d'imprégnation :	Perméance :
Tenue aux UV :	Précaution d'application :
Consommation à respecter par m ² :	Biodégradable :
Applicable support humide :	Utilisation intérieure/extérieure :
Délai avant efficacité :	

Caractéristiques du support
État de surface :
Support vertical/horizontal :
Age du support :
Délai de mise en œuvre :
Support neuf ou ancien :
Traitement antérieur :

Tests de sélection
Test de vieillissement artificiel (DTU 42.1) :
Informations complémentaires
Fiche technique du système :
Procès-verbaux :
Cahier des charges :
Références :

Durabilité a l'usage	Remarques
Système non permanent : - Tenue du revêtement - Type de maintenance prévu :	
Système permanent : - Tenue dans le temps : - Nombre de nettoyages possibles :	

Pour les sols, se référer au document **Les Sols finis en béton, Bétocib, 2005.**

10.5 Entretien

10.5.1 Méthodes

L'entretien du béton consiste à le nettoyer périodiquement et à renouveler sa protection. Le choix d'une méthode de nettoyage est fonction de la nature du support et des salissures.

Le tableau 4 ci-dessous regroupe les principales méthodes de nettoyage et d'entretien.

Tableau n° 4. Principales méthodes de nettoyage des bétons.

Méthodes	Support	Avantages	Inconvénients	Observations
Nettoyage à l'eau				
- Ruissellement - Nébulisation.	- Lisse. - Peu encrassé.	N'altère pas la peau du béton.	Action lente (plusieurs jours/m²). Infiltrations : - risques d'oxydation des armatures ; - ne pas pratiquer pendant des périodes de gel. Gêne pour l'environnement. Consommation d'eau importante (minimisée par la nébulisation).	
Sous pression, eau froide ou chaude.	Tout type de support.	Rapide. Efficace.	Risque d'abrasion. Infiltrations : - risques d'oxydation des armatures ; - ne pas pratiquer pendant des périodes de gel.	Important Faire des essais préalables pour adapter la pression et la température de l'eau au support (toujours basse pression).
Projection de particules < 50 microns (microsablage ou gommage)				
À sec	Tout type de support sauf béton poli.	Efficace. Peu abrasif. Précis.	Ne convient pas aux bétons polis (rend le béton mat). Action lente.	Obligation d'aspirer ou de mouiller les poussières.

Méthodes	Support	Avantages	Inconvénients	Observations
À l'eau	Tout type de support sauf béton poli.	Efficace. Peu abrasif (moins abrasif que la projection à sec). Précis.	Ne convient pas aux bétons polis (rend le béton mat). Action lente. Infiltrations : - risques d'oxydation des armatures - ne pas pratiquer pendant des périodes de gel.	Obligation de récupérer les boues.
Produits chimiques				
Produits acides (concentration modérée)	Tout type de support sauf béton poli.	Efficace. Rapide sur des petites surfaces.	Nécessite des précautions d'emploi. Technique polluante. Risque d'altération chimique du support.	À utiliser sur des taches ponctuelles. Nécessité de rinçage à grande eau. Obligation de récupérer les eaux usées. Humidifier préalablement le support.
Produits basiques	Tout type de support.	Efficace. Rapide sur des petites surfaces.	- Nécessite des précautions d'emploi. - Technique polluante. - Risque d'altération chimique du support. - Risque d'apparition d'efflorescences.	Rinçage. Important : - Faire obligatoirement des essais préalables.
Produits solvantés	Tout type de support.	Efficace.	Nécessite des précautions d'emploi. Nécessite de récupérer les boues. Technique polluante.	Obligation de récupérer les boues. Important - Faire obligatoirement des essais préalables.
Produits à base de latex (pelable)	Tout type de support	Conserve l'épiderme. Aucune perte de matière. Très précis.	Nécessite des formulations de latex adaptées au support.	Très efficace sur les dépôts de suies.
Laser				
Désincrustation photonique	Tout type de support.	Conserve l'épiderme. Aucune perte de matière. Très précis.	Action lente (plusieurs jours/m ²). Nécessite des précautions d'emploi.	Humidifier préalablement le support. Concerne les petites surfaces et les modénatures.

Pour l'ensemble de ces méthodes, procéder à un essai préalable et se conformer aux conseils d'utilisation des entreprises de nettoyage.

10.5.2 Contrat de maintenance

10.5.2.1 Objectifs

Toute façade, quelle que soit sa nature, a besoin d'un entretien périodique visant à garantir la pérennité de l'ouvrage. Pour la durabilité des traitements des parements décrits ci-dessus, on recommande un contrat de maintenance à souscrire entre le maître d'ouvrage et l'applicateur ou une société spécialisée, de manière à optimiser les effets des traitements et à maintenir de façon constante l'efficacité des protections.

Le contrat de maintenance est préconisé dans le cadre d'une action préventive aussi bien que curative :

- la maintenance préventive s'effectue par des visites sur site selon une périodicité à fixer, et les vérifications accomplies tendront à s'assurer de la pérennité des traitements spéciaux et à prévenir toute défaillance.
- la maintenance curative consistera en interventions sur demande du maître d'ouvrage, après diagnostic technique des éléments concernés. Le prestataire s'engage à intervenir pour le traitement (hydrofuge, antigraffiti) des parements après réparation.

L'objectif du contrat de maintenance doit être défini le plus précisément possible, tant vis-à-vis de l'aspect esthétique à préserver qu'au regard des performances recherchées quant à la protection et à la prévention.

10.5.2.2 Principales clauses à prévoir

Voici un rappel des principales clauses à prévoir dans un tel contrat, auxquelles il conviendra de veiller tout particulièrement, outre les clauses commerciales et techniques habituelles :

- la périodicité (mensuelle, trimestrielle, annuelle ou au coup par coup) ;
- les délais d'intervention (au maximum 48 heures pour les traitements antigraffiti) ;
- la durée du contrat ;
- la garantie.

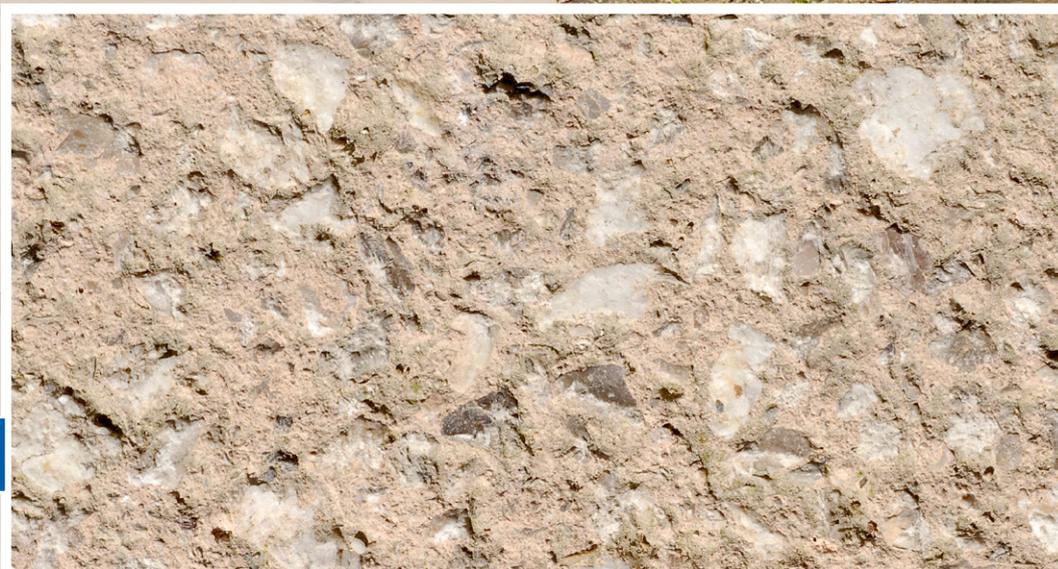
10.6 Recommandations au maître d'ouvrage et à l'architecte

Il est fait obligation au maître d'ouvrage et à l'architecte de remettre au prestataire la documentation technique et tous les éléments d'information utiles à ses interventions tels que :

- durée habituelle d'un hydrofuge de surface, d'un antigraffiti, d'une lasure ;
- nettoyage des parements.

10.7 Référence normative

- **NF EN 1504-2** : *Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 2 : systèmes de protection de surface pour le béton.*



Musée du quai Branly - Paris (75)
Jean Nouvel, architecte — Photo : H.A. Segalene

11.1 Observation et diagnostic des dégradations courantes

Il existe trois principales causes de dégradations des bétons :

- les **dégradations dues à l'usage** (poinçonnement dû à la circulation...);
- les **dégradations dues au temps** (salissures, gel, éclatements du béton provoqués par la corrosion des armatures);
- les **dégradations accidentelles** (chocs, incendies, graffitis).

Les raisons de réparer un ouvrage en béton sont diverses : enrayer les phénomènes de dégradation, remettre en état le parement du béton, éviter l'apparition de nouveaux désordres et assurer une bonne durabilité, tout en préservant l'esthétique.

Suite à l'observation de dégradations constatées lors de la visite des ouvrages conformément à la norme **NF P 95-101 : Ouvrages d'art – Réparation et renforcement des ouvrages d'art en béton et en maçonnerie – Reprise du béton dégradé superficiellement – Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés**, il convient de prévoir un diagnostic d'évolution sur l'état de la structure et des matériaux : c'est un préalable indispensable à toute opération de réhabilitation. Ce diagnostic a pour buts :

- d'identifier la pathologie ;
- d'évaluer son ampleur ;
- d'en déterminer les causes.

Il appartient au maître d'œuvre ou à l'expert mandaté par les assurances de définir les moyens adaptés pour réaliser ce diagnostic : observations visuelles, mesures *in situ*, analyses en laboratoire, simulation de vieillissement, etc.

Ce diagnostic approfondi permet de définir les réparations à exécuter (méthodes, famille de produits à utiliser, conditions d'application, préparation du support, etc.) et les traitements complémentaires à envisager.

Les laboratoires spécialisés aident à réaliser ce diagnostic et définissent les réparations adaptées à l'ouvrage.

Les dégradations courantes sont répertoriées dans les tableaux ci-après.

11.2 Pathologies

11.2.1 Pathologies existant à l'origine

Constat	Description	Origines	Évolution
Bullage	Présence de cavités à la surface du béton, d'une profondeur inférieure à 5 mm.	– Formulation inadaptée du béton. – Mise en œuvre inadaptée.	Risque d'encrassement.
Nids de cailloux	Accumulation localisée de gravillons.	– Formulation inadaptée du béton. – Mise en œuvre inadaptée.	– Fragilisation vis-à-vis des agressions extérieures. – Accentuation des risques de corrosion.
Spectre des armatures	Dessin visible des armatures (fantômes).	– Ségrégation du béton dans le prolongement des armatures – Mise en vibration de l'armature par l'aiguille vibrante lors de la mise en place du béton.	Aucune évolution si l'enrobage est conforme.

11.2.2 Pathologies apparaissant dans le temps

Constat	Description	Origines	Évolution
Aspect grenu	Érosion locale de la laitance (peau du béton).	<ul style="list-style-type: none"> - Environnement urbain, marin. - Pluies, embruns. - Action du vent. 	Perte progressive de l'aspect d'origine conduisant à une augmentation de la porosité en surface, avec apparition progressive des granulats.
Écaillage	Peau du béton se décollant sous forme d'écailles.	<ul style="list-style-type: none"> - Corrosion des armatures. - Gel en présence de sel de déverglaçage en surface. - Attaques sulfatiques (gypse, eau de mer...). - Alkali-réaction. - Présence de pyrites. - Granulats gélifs. 	Épaufrures, éclatement du béton.
Épaufrures ou éclatements localisés	Fragments détachés de la masse du béton.	<ul style="list-style-type: none"> - Corrosion des armatures. - Chocs. - Gel/dégel. - Évolution possible d'un écaillage. 	Extension possible des désordres.
Fissures	Fentes de largeur et de profondeur variables (hors fissures d'origine structurelle $\leq 3/10^e$ de mm).	<ul style="list-style-type: none"> - Corrosion des armatures. - Problèmes structurels (ex. : sous-dimensionnement, chocs). - Retrait, dilatation. - Attaques sulfatiques (gypse, eau de mer...). - Alkali-réaction. - Gel/dégel. - Fissures de reprise de bétonnage. 	Amplification en fonction de l'environnement atmosphérique et de l'utilisation.
Concrétions	Cristallisations indurées massives.	Circulation d'eau au travers du béton.	Lixiviation du béton (effet dégradant provoqué par la dissolution de la chaux du béton).
Salissures	Taches et coulures.	<ul style="list-style-type: none"> - Environnement. - Pluies, embruns. - Action du vent. - Orientation du bâtiment. - Conception du bâtiment (larmier, ...). - Accidents. 	Perte progressive de l'aspect d'origine conduisant, dans certains cas, à la dégradation du parement.

11.2.3 Pathologies existant à l'origine ou apparaissant dans le temps

Constat	Description	Origines	Évolution
Faiencage	Maillage de fissures fines et superficielles.	<ul style="list-style-type: none"> - Dessiccation précoce du béton par temps chaud (et absence de cure). - Excès d'éléments fins dans la formulation du béton. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fissuration non évolutive. - Inconvénient esthétique. - Durabilité.
Efflorescences	Cristallisations le plus souvent blanchâtres à la surface du béton.	Remontée d'eau localisée chargée en chaux à la surface du béton	L'évolution : <ul style="list-style-type: none"> - est fonction de l'hygrométrie ambiante ; - décroît dans le temps ; - coulures indélébiles en parement.
		Nitrates (engrais).	Dégradation éventuelle du béton.
		Apport de sels solubles provenant de l'environnement (sulfates, chlorures).	Dégradation du béton et des armatures.

11.3 Bullage

Le bullage n'altère pas la résistance mécanique du béton mais il pose un problème d'ordre esthétique.

Actions préventives

- ✓ Pour éviter ce désordre, il convient d'apporter une attention particulière à la formulation du béton, voire d'utiliser un béton autoplaçant et surtout un agent de décoffrage (huile, cire, émulsion) adapté au moule et au béton. La vibration interne ou externe du béton, pour sa mise en œuvre (limiter la hauteur de chute à 1 m), doit être soignée et respecter les règles de l'art.

11.4 Nids de cailloux

La formation des nids de cailloux provient essentiellement de la ségrégation du béton lors de sa mise en œuvre (manque de fines, consistance inadaptée, rapport gravillons/sable inadapté).

Le phénomène est amplifié par d'autres paramètres liés à une mise en œuvre insuffisamment soignée : par exemple lors d'une vibration trop longue et mal adaptée, dans le cas du coulage *in situ* d'une hauteur de chute du béton trop importante ou dans le cas d'une mauvaise étanchéité des moules (fuite de laitance).

Actions préventives

- ✓ Pour éviter la ségrégation, il convient d'étudier soigneusement la formulation et d'éviter les excès d'eau.
- ✓ Utiliser des coffrages étanches pour éviter toute fuite de laitance.
- ✓ Veiller à la position et à la densité des aciers.
- ✓ Vibration adaptée.

11.5 Fissures

11.5.1 Classification des fissures selon leur ouverture

Faïençage

Réseau de microfissures se présentant sous forme d'un dessin géométrique à mailles irrégulières ; il n'intéresse le plus souvent que la couche superficielle du béton.

Microfissure

Fente très fine dont l'ouverture est inférieure à 0,2 mm.

Fissure

Fente dont l'ouverture est comprise entre 0,2 mm et 2 mm.

Lézarde ou crevasse

Fente dont l'ouverture est supérieure à 2 mm.

11.5.2 Faïençage et fissuration superficielle (non évolutifs)

Ces phénomènes se manifestent par un réseau de fines ouvertures qui n'intéresse que la couche superficielle de laitance du béton brut. Naturels mais inesthétiques, ils ne nuisent pas à la durabilité des éléments.

Actions préventives

- ✓ Pour éviter ces fissures, il suffit de maintenir humide la surface du béton les premiers jours ou d'utiliser un produit de cure.

11.5.3 Fissures passives (non évolutives)

Fissures dont l'ouverture ne varie plus de façon sensible dans le temps, quelles que soient les conditions de température ou de sollicitations de l'ouvrage.

Actions préventives

- ✓ Pour éviter ces fissures, une armature en treillis soudé est à disposer dans le béton de parement.

11.5.4 Fissures actives (évolutives)

Fissures dont l'ouverture varie dans le temps en fonction de gradients thermiques ou hygrométriques, ou des sollicitations de l'ouvrage.

Elles peuvent être dues à l'une des causes suivantes.

11.5.4.1 Fissures dues à la corrosion des armatures

Les armatures enrobées de béton sont naturellement protégées de la corrosion par un phénomène de passivation s'opérant lors de l'hydratation du ciment (création d'un environnement basique important – pH 13 environ). Ce milieu basique risque toutefois de se transformer dans le temps du fait de :

- la carbonatation lente de la couche protectrice due au gaz carbonique de l'air ;
- la diffusion d'ions chlorure (milieu marin, sels de déverglaçage, etc.) ;
- l'emploi d'adjuvants chlorés (limite acceptable de chlore : 0,4 % du poids de ciment pour le béton armé ; 0,1 % à 0,2 % pour le béton précontraint) ;
- la présence de fissures

Des défauts d'enrobage ou des bétons mal vibrés, de ce fait trop poreux, risquent de conduire à la dégradation prématurée de l'armature (rouille qui se caractérise par un oxyde expansif conduisant à un éclatement localisé ou à une fissuration de l'enrobage le long de l'armature).

En règle générale, les enrobages minimaux préconisés par l'**Eurocode 2 (NF EN 1992-1-1)** sont fonction :

- des classes d'exposition de l'ouvrage ou de chaque partie d'ouvrage ;
- des classes structurales de l'ouvrage liées à sa durée de vie ;
- de la performance mécanique du béton ;
- du type et du positionnement des armatures ;
- des contraintes particulières et tolérances d'exécution.

Pour les parements structurés, lavés, désactivés ou bouchardés, l'enrobage nominal est mesuré au niveau de la partie la plus en creux.

Dans tous les cas, il convient de ne pas charger une pièce trop près de ses parements, le béton d'enrobage étant particulièrement vulnérable (risques d'épaufrures et de fissures).

Les règlements suivants fixent des minima d'enrobage :

- **NF EN 1992-1-1 (Eurocode 2)** : *Calcul des structures en béton – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.*
- **DTU 21 (NF P 18-201)** : *Travaux de bâtiment - Exécution des ouvrages en béton – Cahier des clauses techniques.*
- **DTU 22.1 (NF P10-210-1)** : *Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaques pleines ou nervurées en béton ordinaire.*
- **DTU 23.1 (NF P 18-210/GUI)** : *Murs en béton banché – Guide pour le choix des types de murs de façade en fonction du site.*

11.5.4.2 Fissures d'origine mécanique

Elles résultent en général d'erreurs de conception, de calcul ou d'exploitation des ouvrages.

11.5.4.3 Fissures d'origine thermique

Elles sont dues à la dilatation et à la contraction du béton sous l'effet respectivement de la chaleur et du froid.

Actions préventives

- ✓ Étudier soigneusement la disposition des joints de dilatation et de fractionnement, la position des armatures ainsi que les problèmes liés à la transmission de chaleur tels que l'ensoleillement, les ponts thermiques, etc.

11.5.4.5 Fissures dues à l'alcali-réaction et aux attaques sulfatiques

Il s'agit d'une dégradation interne due au gonflement du béton, se manifestant par une fissuration profonde en réseau. Les phénomènes d'alcali-réaction sont le résultat d'une réaction chimique complexe se développant entre certains types de granulats contenant des formes de silice réactive et les alcalins du béton, en présence d'humidité. Ils s'accompagnent de la formation de gels silico-calco alcalins expansifs.

La grande majorité des désordres observés sur les bétons en contact avec les sols ou les eaux de ruissellement sont dus à la présence de sulfates externes au béton. Ils réagissent avec les aluminates de calcium des ciments et conduisent à la formation d'ettringite expansive.

Actions préventives

Prévoir des matériaux conformes aux normes et recommandations en vigueur :

- ✓ **LCPC** : *recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne*
- ✓ **LCPC** : *Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction*
- ✓ **Sétra** : *Guide pour la rédaction des pièces écrites des marchés – Préventions des désordres dus à l'alcali-réaction*
- ✓ **Afnor** : *liste des carrières ayant des produits certifiés (www.marque-nf.com/download/produits/FR/NF041.pdf) liée à la marque granulats NF041.*
- ✓ **XP P 18-545** : *Granulats | Éléments de définition, conformité et codification.*
- ✓ **NF P 15-317** : *Liants hydrauliques | Ciment pour travaux à la mer.*
- ✓ **NF P 15-318** : *Liants hydrauliques | Ciments à teneur en sulfures limitée pour béton précontraint.*
- ✓ **NF P 15-319** : *Liants hydrauliques | Ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates.*
- ✓ **FD P18-011** : *Béton - Définition et classification des environnements chimiquement agressifs – Recommandations pour la formulation des bétons.*

11.5.4.6 Fissures dues aux cycles gel/dégel

La transformation en glace de l'eau contenue dans le béton s'accompagne d'une expansion de 9 % en volume qui crée ainsi, à l'intérieur de celui-ci, des contraintes internes très importantes conduisant à la formation de fissures.

Actions préventives

- ✓ Le moyen de pallier l'apparition de tels désordres consiste, par exemple, en l'introduction dans le béton frais, lors du malaxage, d'un entraîneur d'air provoquant la création d'un réseau de bulles d'air uniformément réparties dans la masse qui se comportent comme des vases d'expansion lors de la transformation de l'eau en glace.
- ✓ Des vérifications au gel peuvent être effectuées par essais selon les indications suivantes :

Classe d'exposition	Norme relative à l'essai proposé
Gel faible : moins de 2 jours/an avec température inférieure à 5 °C.	NF P 18-425 : Bétons – Essai de gel sur béton durci. Gel dans l'air. Dégel dans l'eau.
Gel sévère : plus de 10 jours/an avec température inférieure à 10 °C.	NF P 18-424 : Bétons – Essai de gel sur béton durci. Gel dans l'eau. Dégel dans l'eau.
Gel et sels de déverglaçage.	XP P 18-420 : Bétons – Essai d'écaillage des surfaces de béton durci exposées au gel en présence d'une solution saline

11.6 Efflorescences

Les efflorescences sont des dépôts de sels ou de cristaux, de teinte généralement claire, blanchâtre, qui apparaissent à la surface du béton.

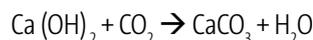
Deux causes sont possibles :

- Au moment de sa prise et de son durcissement, le ciment libère une certaine quantité de chaux : $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Cette chaux est pour partie soluble dans l'eau.

Le béton contient inévitablement plus d'eau que nécessaire à l'hydratation du ciment. Cette eau excédentaire tend à s'échapper de la masse du béton vers l'extérieur, d'autant plus vite que l'atmosphère est chaude et sèche.

Cette eau chargée en chaux dissoute et en sels divers chemine vers la surface, puis s'évapore ; une réaction lente est provoquée au contact du gaz carbonique de l'air selon la formule :

chaux hydratée et gaz carbonique donnent carbonate de calcium et vapeur d'eau



Ce carbonate de calcium insoluble se dépose en surface sous forme d'un voile blanchâtre.

Les efflorescences calciques proviennent donc d'un phénomène naturel et ne sont pas dues à une pathologie du béton.

Actions préventives

- ✓ Optimiser la quantité d'eau de gâchage et la compacité du béton.
 - ✓ Respecter les conditions de cure et de stockage des produits.
 - ✓ Employer un hydrofuge de masse ou de surface.
-
- Par apport de sels solubles (sulfates, nitrates, chlorures) provenant des engrais, sels de déverglaçage ou de pollutions diverses.

11.7 Méthodologie de réparation

11.7.1 Études et investigations préliminaires

11.7.1.1 Établissement de l'historique de l'ouvrage

Il faut rechercher en particulier :

- la provenance des bétons, leur composition, la date, la période de coulage du béton (été, hiver...) et les conditions de mise en œuvre. Préciser également les problèmes spécifiques rencontrés en fabrication tels qu'un mauvais positionnement des aciers, un dosage trop faible en ciment, un mélange mal vibré ;
- les définitions des contraintes prévues par le calcul ;
- les modifications de charges et de structures.

11.7.1.2 Évaluation des contraintes environnementales et d'exploitation

Il s'agit d'évaluer les contraintes environnementales actuelles et futures, notamment les facteurs physiques susceptibles de dégrader les bétons tels que chocs, abrasions, surcharges, feu, cycle gel/dégel, et chimiques (pollutions, environnements agressifs).

11.7.1.3 Diagnostic du processus de dégradation

Évaluation de l'origine des désordres constatés

Le diagnostic est l'étape préliminaire à toute réparation. Il a pour objet d'évaluer l'origine des désordres constatés ainsi que leur ampleur. Il permettra de définir les techniques de réparation à mettre en œuvre et d'évaluer financièrement l'ampleur des réparations à entreprendre. Il est souvent réalisé par des spécialistes et fait appel à une série d'analyse et d'observations sur chantier et également en laboratoire.

Le diagnostic fait appel aux examens suivants :

- ✓ examen visuel approfondi et sondage manuel au marteau ;
- ✓ essais effectués en laboratoire sur prélèvements réalisés *in situ* (éprouvettes, carottages) ;
- ✓ essais non destructifs réalisés *in situ* pour notamment identifier la présence d'agents agressifs dans le béton et préciser les causes des désordres constatés (origine mécanique ou chimique), ainsi que leur étendue (à préciser sur schémas, dessins, photos) ;
- ✓ mesure de l'enrobage et du diamètre des aciers (pachomètre) ;
- ✓ mesure de la porosité superficielle du parement (essai éprouvette à pipe).

Il faut également vérifier l'état satisfaisant de la structure porteuse et des liaisons. *A contrario*, il est nécessaire de déterminer l'état mécanique de la construction et d'identifier les faiblesses de la structure, notamment des armatures (tableau 1).

Tableau 1. Exemple de diagnostic pour déterminer la dégradation des armatures.

Diagnostic	Méthode
Inspections visuelles et photographiques	Réalisation de dessins précisant les dégradations. Photographies des désordres les plus représentatifs.
Mesure de l'enrobage	Emploi d'un pachomètre pour mesurer l'enrobage aux endroits dégradés et également sur l'ensemble de la surface à réparer.
Localisation des parties corrodées non visibles	Mesure de potentiel : cette méthode électrochimique permet d'établir une cartographie des zones pouvant présenter un risque de corrosion et d'évaluer l'importance des désordres.

Diagnostic	Méthode
Estimation de la vitesse de corrosion	Mesure par résistance de polarisation : cette méthode mesure la vitesse de corrosion des armatures et permet d'estimer la durabilité de la structure.
Évaluation de la profondeur de carbonatation	Test à la phénolphthaléine : il est réalisé sur une coupe fraîche du béton à l'aide d'un réactif chimique qui montre par coloration la profondeur de carbonatation.
Mesure de l'absorption d'eau en surface	Essai « à la pipe ».
Évaluation du dosage en chlorure, en sulfate	Par analyse physico-chimique.
Évaluation de la cohésion de la surface du béton	Essai d'adhérence sur pastilles collées à la surface du béton.

Ce diagnostic fait appel à un ensemble d'examens à effectuer ou non selon l'importance des dégâts constatés. Il permet de déterminer :

- l'origine de la corrosion :
 - ✓ enrobage insuffisant,
 - ✓ armatures situées dans une zone de béton carbonaté,
 - ✓ attaque par les ions chlorures ;
- l'importance de la corrosion et ses conséquences vis-à-vis de la durée de service de l'édifice (mesure du diamètre résiduel des aciers corrodés).

Des examens complémentaires en laboratoires (tableau n° 2) peuvent être réalisés à partir de carottages ou de prélèvements sur le béton à diagnostiquer afin de déterminer les principaux constituants du béton (analyses physico-chimiques permettant d'évaluer les dosages en ciment et en chlorure et la nature des granulats).

Tableau 2. Exemple d'analyses chimiques applicables au béton.

Recherches	Analyses
Dosage en liants	Analyse qualitative et quantitative du liant.
Nature des granulats.	Analyse pétrographique par microscope optique.
Composition minéralogique	Examen par diffraction des rayons X.
Composition minéralogique. Pathologies particulières.	Microscope électronique à balayage (MEB).
Porosité	Pesée hydrostatique. Porosimètre à mercure (distribution des pores). Microscopie optique par analyse d'images (microstructure du béton).
Alcali-réaction.	Méthode de test accéléré ou emploi de l'acétate d'uranyl.
Carbonatation	Test à la phénolphthaléine.

En cas de désordres importants, il est recommandé de procéder à une analyse physico-chimique du béton (tableau 3) afin de :

- ✓ déterminer son état général (profondeur de carbonatation en particulier, alcali-réaction, teneur en ions chlorure, réaction sulfatique) ;
- ✓ rechercher sa composition initiale (ciment, granulats employés) afin de rechercher un produit de réparation approprié.

Tableau 3. Principales méthodes d'analyses physico-chimiques.

Détermination qualitative et quantitative du ciment dans un béton à partir d'un prélèvement représentatif

Il existe **deux méthodes** :

- La première consiste à doser la silice soluble du béton, celle qui est mise en solution au cours d'une attaque acide. En considérant que cette silice provient uniquement du liant et pas des granulats, on remonte au pourcentage de ciment en divisant la valeur trouvée par la teneur en silice soluble du ciment utilisé dans le béton.
- La deuxième méthode suit le même principe, en remplaçant la silice soluble par la fraction hydraulique, définie comme le complément à 100 % de la somme : insoluble + perte au feu + chaux carbonatée.

Le pourcentage de ciment est généralement exprimé comme la moyenne des valeurs obtenues par chacune de ces deux méthodes.

Parallèlement, on mesure la quantité d'eau liée dans le béton par différence de perte de poids entre 80 °C et 550 °C. Le rapport eau liée sur le pourcentage de ciment renseigne sur le degré d'hydratation du béton (sauf en présence de matières organiques).

En outre, sur l'échantillon de béton, on mesure par pesée hydrostatique sa densité apparente et sa porosité ouverte. La valeur de densité apparente permet d'exprimer le pourcentage de ciment déterminé précédemment en kg/m^3 .

La porosité ouverte va renseigner sur le rapport eau/ciment du béton frais et sur la qualité de la mise en place.

- Microscopie

- ✓ **Microscopie optique** :

Cette technique permet de réaliser des examens pétrographiques des bétons et des granulats, de détecter la présence de microfissurations, de faire des analyses granulométriques et des comptages de l'espacement de bulles d'air dans les bétons.

- ✓ **Microscopie électronique à balayage (MEB)** :

Cette technique analytique permet l'observation de matériaux massifs à faible et fort grossissements. On peut ainsi visualiser la microstructure d'un matériau tout en conservant une grande profondeur de champ d'observation (aspect 3D des images), ce qui est impossible par microscopie optique traditionnelle. Cette technique utilise un faisceau d'électrons comme source lumineuse, un ensemble de lentilles électromagnétiques et système télévisuel pour la visualisation. Le microscope électronique est en général couplé à un analyseur de rayons X dont la fonction est d'identifier et de quantifier les rayonnements X émis par l'échantillon sous le bombardement électronique. Ainsi, l'identification des éléments chimiques qui constituent la matière observée, ainsi que leur dosage dans certaines conditions expérimentales, est possible.

- Diffraction des rayons X

Ce type d'analyse permet de déterminer qualitativement et parfois quantitativement la composition minéralogique d'un échantillon de matériau.

- Fluorescence X

Permet de réaliser des analyses élémentaires qualitatives et quantitatives (pourcentage de chaux, de silice, d'alumine...). Cette technique est complémentaire à la diffraction des rayons X.

- Analyse thermique

L'analyse thermique (AT) est un terme générique désignant des techniques qui permettent de suivre les propriétés physiques et/ou chimiques d'un matériau en fonction de la température ou du temps lorsque celui-ci est soumis à une programmation de température, sous atmosphère contrôlée.

Il existe **trois techniques** :

- ✓ **L'analyse thermogravimétrique (ATG)** mesurant les variations de masse d'un échantillon. Ces variations peuvent être une perte de masse (émission de vapeurs par l'échantillon) ou un gain de masse (fixation de gaz sur l'échantillon). Les applications sont très variées et concernent une multitude de catégories de produits (déshydratation, décomposition, pyrolyse, oxydation, réduction...).

- ✓ **L'analyse thermodifférentielle (ATD)** mesurant la différence de température entre un échantillon et une référence (matériau inerte thermiquement). Avec cette méthode toute transformation de type endothermique (fusion, solidification, déshydratation...) ou de type exothermique (oxydation, décomposition...) est détectable pour toutes les catégories de matériaux.

- ✓ **L'analyse calorimétrique différentielle (ACD ou DSC)** mesurant les variations de flux thermique dans un échantillon. Lorsqu'un matériau est chauffé ou refroidi, sa structure, sa composition chimique évoluent. Ces transformations comme la fusion, l'oxydation... se réalisent avec échange de chaleur.

Rapport de diagnostic

Pour être utile, le rapport de diagnostic doit indiquer, à partir de la synthèse des différents tests effectués :

- l'origine et l'importance des désordres constatés, leur évolution probable ainsi que leur incidence sur l'exploitation de l'ouvrage ;
- les préconisations de reprise
- les réparations à entreprendre (méthodes applicables) avec leur degré de priorité.

11.7.2 Projet de réparation

Le projet de réparation constitue le cahier des charges de la réparation à envisager. Il doit :

- définir les objectifs à atteindre (durabilité, aspect...);
- préciser les moyens à mettre en œuvre ;
- évaluer le montant des réparations.

Le choix des procédés et des produits de réparation doit être adapté :

- aux défauts constatés (faiencage, fissuration superficielle, écaillage, éclats, épaufrures, fissuration profonde, corrosion des armatures...);
- aux contraintes du chantier (contraintes d'exploitation, économiques, environnementales) ;
- aux conditions spécifiques de mise en œuvre des solutions proposées (produits à base de liants hydrauliques, de résine époxydique...);
- au support.

11.7.3 Exécution des travaux

11.7.3.1 Élimination des zones dégradées ou polluées par des agents agressifs

Il ne faut pas sous-estimer les zones dégradées qui sont constituées de parties visibles, mais aussi de parties paraissant *a priori* saines.

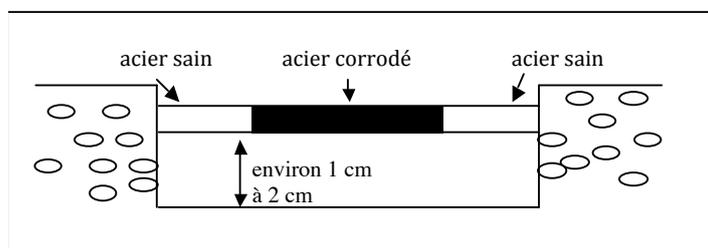
Il existe différentes méthodes d'élimination des bétons dégradés ou des zones polluées (tableau 4) citées dans la norme **NF P 95-101** : *Ouvrages d'art – Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie – Reprise du béton dégradé superficiellement – Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.*

Tableau 4. Méthodes d'élimination des bétons dégradés (source : NF P 95-101).

Méthodes / Matériel	Efficacité	Inconvénients
a) Élimination en épaisseur		
Burinage Outils manuels pneumatiques ou électriques légers	Bon dégagement des bétons fissurés brûlés et pollués dans l'encombrement des armatures.	Création de microfissurations locales dans le cas d'abattage sans précaution.
Repiquage Marteau léger pneumatique à aiguilles multiples	Préparation efficace des bétons et surtout des armatures corrodées provoquant leur décollement.	Création de microfissurations dans les granulats du béton.
Bouchardage Outils manuels, pneumatiques ou électriques légers à pointes de diamant	Bonne préparation des surfaces de faible importance.	Microfissurations importantes.
Hydro-décapage	Bon enlèvement des granulats dessertis et des liants dégradés.	– Risque pour le personnel. – À réserver aux produits de réparation adhérent sur surface humide.

Méthodes / Matériel	Efficacité	Inconvénients
b) Élimination de surface		
Sablage à sec Sableuse pneumatique et compresseur	Avec sables synthétiques agréés, bonne préparation des bétons et armatures avec utilisation de résine synthétique.	<ul style="list-style-type: none"> - Nuages de poussières. - Nécessité d'un personnel qualifié, équipé de protection individuelle agréée. - Risque pour ce personnel.
Sablage humide Sableuse pneumatique et compresseur	Avec de la silice pure, bonne préparation des reprises avec liant hydraulique.	<ul style="list-style-type: none"> - Risque important de pollution des parties voisines. - Prévoir une protection efficace.
Décapage à l'eau à très haute pression Pompe électrique haute pression	Bon enlèvement des granulats dessertis et des liants dégradés.	<ul style="list-style-type: none"> - Risque pour le personnel. - À réserver aux produits de réparation adhérent sur surface humide.
Rabotage mécanique Rabot électrique à molettes ou outils multiples	Préparation des surfaces planes horizontales, non armées, fissurées et polluées.	<ul style="list-style-type: none"> - Création d'amorces de fissuration. - Prévoir un produit de collage ou un primaire d'accrochage.
Décapage thermique Lance à becs multiples oxyacétyléniques	Préparation des surfaces planes de béton non armé, très efficace en cas de pollution chimique.	<ul style="list-style-type: none"> - Création de fissures dans les granulats du béton. - Prévoir un nettoyage final énergique.
Ponçage Ponceuse légère rotative à disques abrasifs	Préparation des surfaces planes de faible importance sans fissure ni armature.	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de reprise performante. - Risque de polissage de la surface.
c) Décapage chimique		
Par acide dilué ou par solvant	À réserver aux cas particuliers : élimination de la pellicule de surface (peinture) ou de laitance de béton non armé.	<ul style="list-style-type: none"> - Risque important de pollution des parties voisines. - Prévoir une protection efficace. Risque de corrosion des armatures.

11.7.3.2 Réparation des armatures



1. Dégager complètement les armatures corrodées à traiter jusqu'aux aciers sains.
2. Éliminer les parties corrodées sur toute la surface de l'armature par brossage métallique, repiquage, sablage ou grenailage.
3. Éliminer toute poussière résiduelle soit à sec, par brossage, aspiration ou soufflage à l'air déshuilé, soit par lavage à l'eau avec ou sans détergent, avec élimination des excès d'eau. Le choix de la technique de nettoyage est fonction des produits de réparation utilisables sur support sec ou humide.

4. Mesurer le diamètre résiduel des armatures corrodées. En fonction des préconisations du diagnostic, mettre en place des armatures supplémentaires par scellement ou soudure pour compenser la réduction des sections des armatures d'origine.
 - ✓ armatures non structurales : on peut admettre localement des dégradations de la section de l'ordre de 20 % ;
 - ✓ armatures structurales : lorsque cette dégradation est supérieure à 10 % de la section, procéder à un remplacement de la zone endommagée. Solutions envisageables :
 - mise en place d'une nouvelle armature de section équivalente avec une longueur d'ancrage égale à 50 fois le diamètre de part et d'autre de la zone renforcée ;
 - soudure d'une nouvelle barre sur la partie saine existante (longueur de soudure : 10 fois le diamètre),
 - utilisation d'un système de manchonnage pour assurer la continuité des armatures,
 - renforcement de la section par collage, sur la peau du béton, d'une bande de renforcement (procédés agréés),
 - en cas d'enrobage insuffisant, mettre en place des armatures en acier galvanisé ou inoxydable ;
 - ✓ armatures pour béton précontraint : lorsque la dégradation touche ces armatures il y a lieu de réaliser un diagnostic précis des désordres pour envisager soit une réparation de l'élément, soit son remplacement.
5. Enduire l'armature d'un produit de protection anti-corrosion adapté et compatible avec le produit de réparation.
6. Reconstituer l'enrobage des armatures avec un produit de réparation certifié ou spécifique selon la nature du béton, sa localisation, son traitement de finition et le type de bâtiment (historique ou non). Le produit de réparation doit adhérer parfaitement au support, présenter un faible retrait, une bonne imperméabilité à l'eau et une résistance mécanique comparable à celle du support.
7. Après réparation, l'ensemble de la surface de l'ouvrage peut être traité à l'aide d'un inhibiteur de corrosion qui va renforcer la protection des armatures par action chimique (inhibiteur de type monofluoro-phosphate ou amino-alcool).

Remarque

D'autres méthodes de protection sont utilisables telles que les procédés électro-chimiques (réalcalinisation, extraction des ions chlorures, protection cathodique). Ces procédés sont à mettre en œuvre par des spécialistes.

11.7.3.3 Choix des produits de réparation

Caractéristiques des produits de réparation

Le produit de réparation utilisé doit posséder vis-à-vis du béton dégradé les qualités suivantes :

- être compatible avec le support, à savoir :
 - ✓ un retrait plastique limité pour les liants hydrauliques (retrait apparaissant pendant les premières heures lors de la prise et du durcissement). La présence de fibres de polypropylène permet de répartir la fissuration sous forme de microfissures (des précautions particulières sont à prendre lors de la mise en œuvre : humidification du support, protection contre la dessiccation) ;
 - ✓ un retrait hydraulique limité pour les liants hydrauliques de manière à éviter l'apparition de fissures ou de décollement à l'interface produit de réparation/béton restauré ;
 - ✓ une adhérence au béton support au moins égale à la résistance en traction du béton restauré ;
 - ✓ une adhérence aux armatures métalliques d'origine ou rapportées ;
 - ✓ des résistances mécaniques à la compression, à la traction, similaires à celles du béton support ;
 - ✓ un module élastique semblable à celui du béton support ;
 - ✓ un coefficient de dilatation le plus proche possible de celui du béton support.
- présenter une durabilité par rapport aux conditions environnementales :
 - ✓ les principaux agents agressifs participant au phénomène de corrosion des armatures à prendre en compte pour l'environnement sont :
 - les chlorures,
 - les sulfates,
 - le gaz carbonique,
 - l'oxygène,
 - l'eau pure,
 - les UV ;
 - ✓ les deux vecteurs de ces agents agressifs sont l'air et l'eau ;

- ✓ comme tout béton réalisé selon les règles de l'art, les produits de réparation doivent donc présenter une compacité permettant d'obtenir une imperméabilité garante de :
 - la **résistance à la carbonatation**, c'est-à-dire à la pénétration du gaz carbonique contenu dans l'air qui, lorsqu'il entrera en contact avec les armatures, provoquera leur corrosion du fait de leur dépassivation. Cette caractéristique est étroitement liée, outre à l'aspect formulation du produit de réparation, à la qualité de sa mise en œuvre, et notamment à la teneur en eau de gâchage et à la mise en place ;
 - la **résistance aux sulfates** apportés soit par l'eau de mer (ou les embruns), soit par l'eau présente dans des sols riches en gypse (par exemple le sous-sol parisien) ou par le sel de déverglaçage utilisé en hiver. Dans un milieu alcalin comme le béton, la présence de sulfates provoque la formation d'hydrates expansifs (ettringite) entraînant, à terme, la ruine du béton. Il faut tenir compte de cet élément pour la formulation du produit de réparation fabriqué en usine ou sur chantier, en choisissant les ciments adaptés PM (Prise Mer) ou ES (Eaux Séliniteuses) ;
 - la **résistance aux chlorures** apportés essentiellement par l'eau de mer (ou les embruns) et le sel de déverglaçage. Les chlorures migrant dans le béton se transforment en acide chlorhydrique provoquant la corrosion des armatures ;
 - la **résistance aux cycles de gel/dégel**, indispensables dans les environnements subissant ces cycles. Pour les produits de réparation à base de liant hydraulique, la présence d'un adjuvant d'entraîneur d'air est nécessaire.

Les différentes familles de produits de réparation

Il existe trois familles de produits de réparation :

- les mortiers ou bétons à base de liants hydrauliques ;
- les mortiers ou bétons à base de liants hydrauliques modifiés ;
- les mortiers ou bétons à base de résines synthétiques.

Ces produits peuvent être préparés sur chantier ou en usine ; dans ce dernier cas, ils doivent figurer sur la liste des fabrications admises à la marque NF – **Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique** – éditée par l'AFNOR.

Pour les bâtiments classés et ceux figurant à l'Inventaire des monuments historiques, les produits de réparation ne sont pas obligatoirement certifiés ; dans ce cas, la composition est faite par un formulateur. Pour les autres bâtiments, s'orienter de préférence vers des produits de réparation certifiés.

Pour l'ensemble de ces trois familles, la température ambiante d'application doit être comprise entre 5 °C et 30 °C environ ; la température du support béton doit être supérieure ou égale à 5 °C.

Mortiers ou bétons à base de liants hydrauliques

Il faut choisir un liant normalisé (ciment et/ou chaux hydraulique) adapté à la fois à l'environnement et au support à réparer, utiliser des granulats d'une granulométrie identique ou similaire à celle du béton d'origine et adaptée à l'épaisseur de la partie à réparer, ainsi que des adjuvants normalisés permettant de respecter le dosage en eau préconisé (adjuvant réducteur d'eau) ou de compenser les aléas liés aux conditions climatiques (adjuvant retardateur ou accélérateur de prise, entraîneur d'air).

Stockage. Les produits et matériaux sont stockés sous abri dans un local aéré non humide et protégé contre les pollutions de toute nature.

Préparation. Le support doit être propre, sain et avoir subi une préparation de surface adaptée permettant de le débarrasser de tout élément non ou peu adhérent. Il doit être notamment exempt de trace d'huile, de graisse, de laitance, de produit de cure et de toute substance susceptible de nuire à l'adhérence. Il doit présenter une cohésion d'au moins 1 MPa en traction directe.

- La préparation sur chantier des produits de réparation doit être assurée par des moyens mécaniques adaptés aux volumes unitaires et au cahier des charges. Tout mélange manuel est interdit. Le cahier des charges doit définir le rapport eau sur ciment (E/C) qui conditionne la maniabilité souhaitée ainsi que la qualité des réparations.
- Les produits de réparation fabriqués en usine se présentent sous la forme de mortiers prédosés secs auxquels il suffit d'ajouter la quantité d'eau fixée par le fabricant. Parfois, un adjuvant est conditionné séparément en dose précise pour être associé au dernier moment au produit de base (utiliser de préférence des résines acryliques, les résines en latex, sensibles aux UV, provoquant le jaunissement de la réparation). Toutes les précautions doivent être prises pour assurer une parfaite homogénéité du mélange : respect du dosage en eau, malaxage mécanique, respect du temps de malaxage.

Application. Quels que soient leurs modes de conditionnement et de préparation, les produits sont mis en œuvre dans les délais les plus courts après l'arrêt du malaxage. Le délai dépend de la nature du liant, de la température ambiante et de l'adjonction éventuelle d'un adjuvant.

Afin d'améliorer la liaison entre mortiers ou bétons et support, il peut être nécessaire, sauf s'il s'agit de béton projeté, d'appliquer un produit d'adhérence à base de résine ou de liants hydrauliques modifiés. Les délais prescrits entre l'application du produit d'adhérence et celle des mortiers ou bétons doivent être scrupuleusement respectés. Ces délais sont en général fonction de la température ambiante et de celle du support.

Lors de l'application, le support doit être saturé d'eau. Pour cela, l'arroser abondamment la veille et l'humidifier si nécessaire à nouveau juste avant la mise en œuvre. Veiller cependant à ce qu'il ne reste pas de film ni de flaque d'eau en surface, ce qui pourrait nuire à l'adhérence du mortier.

Par ailleurs, il est nécessaire d'effectuer le serrage du mortier ou du béton sur son support.

Afin d'éviter tout problème lié à la dessiccation, le mortier doit être protégé du gel, du vent et du soleil pendant la prise et le durcissement.

Mortiers ou bétons à base de liants hydrauliques modifiés

Il s'agit de mélanges formulés sur chantier ou en usine à base de liants hydrauliques, de granulats, modifiés par l'ajout de résines synthétiques (de préférence choisir des produits à base acrylique car les produits à base latex sont sensibles aux UV) et éventuellement de fibres.

L'addition de résine permet de réduire le rapport eau/ciment. Elle améliore sensiblement les propriétés des mortiers :

- l'adhérence au support ;
- les résistances mécaniques ;
- la résistance à la carbonatation ;
- l'imperméabilité ;
- la plasticité lors de la mise en œuvre.

Stockage. Certains constituants des produits à base de liants hydrauliques modifiés sont sensibles aux températures externes et à l'humidité. Les conditions de stockage sont précisées par les fabricants sur les emballages et dans les notices : elles doivent être impérativement respectées.

Préparation. Le support doit être propre, sain et avoir subi une préparation de surface adaptée permettant de le débarrasser de tout élément non ou peu adhérent. Il doit être notamment exempt de trace d'huile, de graisse, de laitance, de produit de cure et de toute substance susceptible de nuire à l'adhérence. Il doit présenter une cohésion d'au moins 1 MPa en traction directe.

Au moment de la préparation, le prémélange est gâché avec un liquide dans des proportions définies par le fabricant. Ce liquide peut être : soit de l'eau, soit un liquide spécial prédosé par le fabricant. Le mode d'emploi du fabricant doit être respecté, en particulier l'ordre de mélange des constituants. Lorsque le liquide à ajouter est de l'eau, la quantité doit être mesurée avec des récipients étalonnés.

Application. Le matériel et les temps de malaxage doivent être ceux préconisés par le fabricant ou le cahier des charges. Afin d'améliorer la liaison entre mortier et support, il peut être préconisé d'appliquer un produit d'adhérence à base de liant hydraulique modifié, sauf s'il s'agit de béton projeté.

Lors de l'application, le support doit être saturé d'eau. Pour cela, l'arroser abondamment la veille et l'humidifier si nécessaire à nouveau juste avant la mise en œuvre. Veiller cependant à ce qu'il ne reste pas de film ni de flaque d'eau en surface, ce qui pourrait nuire à l'adhérence du mortier.

Par ailleurs, il est nécessaire d'effectuer le serrage du mortier ou du béton sur son support. Afin d'éviter tout problème lié à la dessiccation, le mortier doit être protégé du gel, du vent et du soleil pendant la prise et le durcissement.

Mortiers ou bétons à base de résines synthétiques

Ces mortiers sont essentiellement utilisés lorsqu'il faut obtenir de hautes résistances mécaniques et chimiques dans un délai très court. En revanche, le coefficient de dilatation de ces produits est supérieur à celui du béton : il faut donc éviter leur application dans les ouvrages où le risque de choc thermique est important, par exemple en façade.

Le liant est constitué de résine thermodurcissable comme les résines époxydiques.

Les mortiers à base de liants synthétiques se caractérisent par :

- une excellente adhérence au support béton ou acier ;
- un durcissement rapide ;
- une imperméabilité à l'eau et à la vapeur d'eau ;

- de très hautes résistances mécaniques avec une montée en résistance rapide.

Stockage. Le stockage des produits doit se faire dans l'emballage d'origine, dans un endroit protégé, sec et à la température préconisée par le fabricant.

Préparation. Le support doit être propre, sain et avoir subi une préparation de surface adaptée permettant de le débarrasser de toute partie non ou peu adhérente. Il doit être notamment exempt de trace d'huile, de graisse, de laitance, de produit de cure et de toute substance susceptible de nuire à l'adhérence. Il doit présenter une cohésion d'au moins 1 MPa en traction directe. Le support doit être parfaitement sec, sauf si la résine est compatible avec une surface humide.

Une couche primaire d'adhérence peut être nécessaire selon les produits.

Le mode d'emploi du fabricant doit être scrupuleusement suivi. Il doit définir :

- le choix du matériel de malaxage,
- un éventuel prémalaxage à sec,
- l'ordre de mélange des composants des résines synthétiques,
- le temps de malaxage pour une parfaite homogénéité du mélange,
- l'éventuelle nécessité de nettoyage, après chaque gâchée, du matériel et des récipients.

D'une façon générale, tout mélange de gâchées différentes doit être proscrit.

Application. Le mode d'emploi du fabricant doit donner la durée pratique d'utilisation des produits en fonction de la nature de la résine, des dosages utilisés, des quantités préparées et de la température.

Le programme de mise en œuvre doit tenir compte de la température ambiante, de celle des composants et de celle du support.

Lors de la mise en place dans le coffrage, il faut s'assurer que la résine (composant du mélange) n'adhère pas à ce coffrage et prendre, si nécessaire, les mesures adéquates, par exemple en enduisant le coffrage d'un film isolant.

11.7.3.4 Technique de mise en place des produits de réparation

Quelles que soient la nature et la quantité de produit de réparation, le mélange doit être parfaitement homogène avant son application. Pour les produits de réparation fabriqués en usine, se reporter aux notices techniques du fabricant.

Suivant le type des désordres à réparer, il existe différentes techniques d'application des produits de réparation :

- à la truelle pour les petites surfaces,
- au pot à projeter,
- à la machine à projeter pour les grandes surfaces (par voie sèche [gunitage] ou par voie humide).

Pour les fissures profondes et ouvertes, la technique de l'injection est utilisée. Le support doit être parfaitement dépoussiéré.

11.7.3.5 Aspect de parement

La discrétion de la réparation tient à plusieurs facteurs dont il faut tenir compte à l'avance :

- la teinte du produit adopté : la coloration ne sera jamais la même, mais elle doit s'en rapprocher (des échantillons pour le mélange de reprise doivent être proposés) ;
- la granulométrie du parement : on doit mélanger le produit avec des granulats identiques à ceux du béton d'origine pour constituer un ragréage de parement ;
- l'empreinte du coffrage : elle peut être imitée ou reprise en moulage ;
- les raccords avec l'existant : ils peuvent être franchement arrêtés suivant un dessin à préciser, ou au contraire sans limite apparente et en dégradé.

Très visible au début, la réparation doit pouvoir se fondre progressivement dans le parement.

11.7.4 Synthèse des techniques de réparation des bétons

Désordres	Traitements			
	Lavage	Décapage	Purge du béton	Réparation
Bullage	Élimination des salissures et particules non adhérentes.			Ragrée éventuellement la surface avec un produit adapté (couleur, anti-retrait...)
Nids de cailloux	<i>Dito.</i>		Suivant l'importance de la zone concernée, burinage ou repiquage du « mauvais » béton	Reprendre au mortier de réparation. Traiter éventuellement les armatures corrodées.
Spectre des armatures	<i>Dito.</i>	Si l'enrobage des armatures est correct, ce problème est principalement esthétique. Dans ce cas, un léger sablage humide estompera la présence du spectre.		Si le spectre est dû au mauvais enrobage des armatures, protéger impérativement par une étanchéité (voir inhibiteurs de corrosion).
Aspect grenu	<i>Dito.</i>	Si l'attaque est un peu profonde (déchaussement du sable), décaper la surface par bouchardage ou grenailage.		Protéger éventuellement la surface bouchardée à l'aide d'un hydrofuge.
Écaillage	<i>Dito.</i>		Suivant l'importance de la zone concernée, burinage ou repiquage du « mauvais » béton en dégageant les armatures corrodées.	<ul style="list-style-type: none"> - Traiter les armatures éventuellement corrodées. - Reprendre au mortier de réparation. - Traiter éventuellement avec un hydrofuge.
Épaufrures	<i>Dito.</i>		Suivant l'importance de l'épaufrure, burinage ou repiquage de la zone endommagée en dégageant les armatures éventuellement corrodées.	<ul style="list-style-type: none"> - Traiter les armatures éventuellement corrodées. - Reprendre au mortier de réparation. - Ajouter un complément d'armatures suivant l'importance de la réparation.
Fissures	<i>Dito.</i>		- Pour les fissures avec infiltration d'eau, ouvrir la fissure et évacuer les parties non adhérentes.	Traiter la fissure ouverte avec un joint souple étanche.
			- Pour les fissures avec corrosion des armatures	Se reporter aux épaufrures.
			- Dans les deux cas, vérifier qu'il ne s'agit pas d'une fissure structurelle.	Pour les fissures structurelles : <ul style="list-style-type: none"> - Faire une injection de résine dans la fissure et renforcer, si nécessaire, la structure par collage de bandes de renforcement en inox ou en fibres de carbone. - Travaux réalisés par une entreprise spécialisée.
Concrétions	Pour les concrétions peu adhérentes, lavage à l'eau sous haute pression.	Dans le cas d'adhérences plus importantes, décapage par sablage humide.		Étancher le béton en éliminant l'origine des pénétrations d'eau.

Désordres	Traitements			
	Lavage	Décapage	Purge du béton	Réparation
Efflorescences	<ul style="list-style-type: none"> – Pour les cristallisations peu adhérentes, lavage à l'eau et brossage. – Pour les cristallisations plus adhérentes, lavage à l'eau additionnée d'acide chlorhydrique (dilution 5 %) suivi d'un rinçage à l'eau abondant. – Renouveler l'opération si nécessaire. 	<p>Pour les efflorescences sous forme de cristaux solides, voir le problème des concrétions.</p>		<p>Après lavage à l'eau acidulée et rinçage, laisser « respirer le béton » pendant quelques semaines avant d'appliquer un hydrofuge.</p>
Salissures (voir <i>Protection et entretien des bétons</i>)	<ul style="list-style-type: none"> – Lavage à l'eau sous haute pression éventuellement additionnée d'un détergent adapté. – Brossage et rinçage. 	<p>Gommage de la surface pour les salissures les plus ancrées.</p>		<p>Protéger les surfaces par un hydrofuge d'imprégnation.</p>

11.8 Dix commandements pour réparer les bétons

Faire un point sur l'état de l'ouvrage.	<p>Cette étape consiste à réaliser une évaluation de l'état de l'ouvrage existant à partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> – de documents retraçant l'historique du bâtiment ; – d'observations visuelles et d'analyses in situ ou/et en laboratoire permettant d'apprécier l'étendue des dégradations. <p>Des précautions concernant la sécurité seront éventuellement prises en fonction de l'état de l'ouvrage afin d'éviter tout risque d'accident.</p>
Identifier les causes des dégradations	<p>Les causes des dégradations seront identifiées selon :</p> <ul style="list-style-type: none"> – leur nature : chimique, physique ou mécanique ; – leur origine : erreurs de dimensionnement ou de conception et de réalisation, problèmes liés à la mise en place, exploitation inadaptée de l'ouvrage. <p>Il faudra distinguer les causes qui génèrent des dégradations non évolutives, et celles qui génèrent des dégradations évolutives dans le temps.</p>
Estimer l'évolution probable des dégradations	<p>À partir de l'identification des causes de dégradations établie précédemment, il est possible de prévoir leur évolution au moins sur le court terme et, ainsi, d'estimer la durée de vie de l'ouvrage sans intervention.</p>
Fixer les objectifs d'intervention	<p>À ce stade, à partir des analyses réalisées précédemment et d'expériences vécues antérieurement sur d'autres ouvrages par la maîtrise d'œuvre (l'architecte, le bureau d'étude ou l'expert), il est possible de définir précisément les objectifs d'intervention, c'est-à-dire, soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> – ne réaliser aucune intervention ; – réaliser une protection qui stabilisera l'ouvrage dans l'état où il se trouve ; – effectuer des réparations pour éliminer et remédier aux dégradations constatées ; – effectuer des travaux de renforcement structuraux si l'état de l'ouvrage le justifie.
Prendre en compte les exigences du maître d'ouvrage	<p>Le maître d'ouvrage choisira en fonction de critères économiques, historiques, esthétiques, de sécurité, etc. l'un des objectifs d'intervention proposés.</p>

Établir un plan d'intervention	Le maître d'ouvrage ayant clairement choisi ses objectifs d'intervention et fixé ses exigences, le maître d'œuvre peut maintenant définir un plan d'intervention. C'est à ce stade que sont choisies les méthodes ainsi que les produits de réparation et/ou de protection.
Rédiger un cahier des charges	Ce document contiendra la description des opérations à réaliser selon la logique propre au chantier considéré. Il proposera un planning précis prenant en compte à la fois : <ul style="list-style-type: none"> - les accès, l'environnement et l'installation du chantier, - les travaux préparatoires, - les mesures de sécurité, - ainsi que la séquence des phases d'intervention.
Sélectionner les intervenants	Le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre étudieront et compareront les réponses aux appels d'offres proposées par les entreprises, ainsi que les PAQ.
Réaliser un contrôle pendant les travaux	La maîtrise d'œuvre, l'organisme de contrôle suivront régulièrement l'avancement des travaux et signaleront les éventuelles non-conformités.
Réceptionner les travaux	Vérifier la conformité des travaux selon le cahier des charges. Établir un plan de suivi régulier.



Centre dramatique de Montreuil (93)
Dominique Coulon, architecte — Photo : Ciments CALCIA



Introduction

Depuis toujours il existe différents types de bétons en fonction des matériaux entrant dans leur composition, on peut citer parmi ces anciens bétons : les bétons romains, les bétons de paille, les bétons de terre,...

Ces dernières décennies les bétons à base de ciment ont beaucoup évolué grâce à une meilleure connaissance de leurs constituants. Outre l'amélioration des performances du ciment, l'introduction de particules ultra-fines (finesse inférieure à celle du ciment) augmente la compacité donc la durabilité du béton. Des adjuvants améliorent les caractéristiques du béton à l'état frais et les performances du béton durci. De nouveaux constituants comme les fibres ont permis de concevoir des bétons correspondant aux exigences des utilisateurs.

12.1 Bétons autoplaçants (BAP)

12.1.1 Normalisation

Le contexte normatif actuel permet l'utilisation des BAP :

- la norme **NF EN 206-1** : *Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité* ;
- les normes de produits et la norme **NF EN 13369** : *Règles communes pour les produits préfabriqués en béton*.
- avec, en complément, les **Recommandations dans le cadre du projet BAP (béton auto plaçant)**, AFGC, documents scientifiques et techniques.

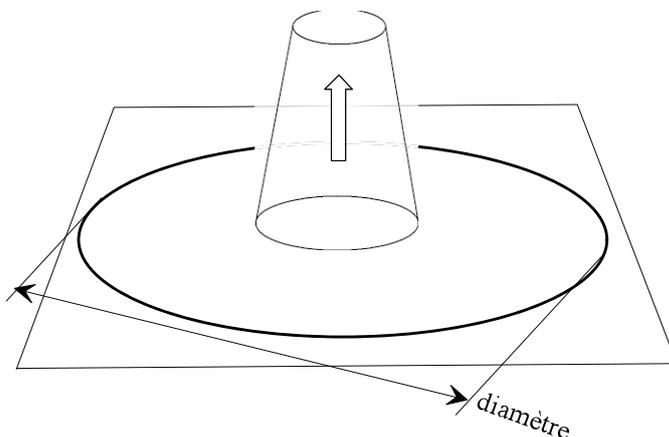
12.1.2 Définition – Composition

Les BAP sont des bétons très fluides, homogènes et stables (qui ne ségrègent pas), mis en œuvre horizontalement (dalles) et verticalement (voiles) sans vibration. Ils se placent parfaitement dans le coffrage par le seul effet de la gravité. Les BAP se distinguent des bétons courants par leurs propriétés à l'état frais. À l'état durci, ils présentent les mêmes caractéristiques de durabilité qu'un béton traditionnel.

La fluidité est obtenue par l'utilisation d'adjuvants superplastifiants, voire éventuellement d'agents de cohésion (pour éviter les risques de ségrégation), et par une formulation spécifique :

- optimisation du squelette granulaire :
- augmentation de la quantité de fines (ciment, additions) ;
- diminution du Dmax (diamètre du plus gros des granulats, généralement compris entre 10 et 16 mm) ;
- rapport gravillon/sable (G/S) voisin de 1.

La consistance est mesurée en caractérisant l'étalement (le diamètre) obtenu au cône d'Abrams.



Important

La fluidité n'est pas obtenue par une quantité d'eau supplémentaire.

12.1.3 Domaines d'utilisation

Les BAP sont utilisés le plus souvent pour des ouvrages présentant une densité d'armatures importante, une géométrie complexe, des voiles de grande hauteur ou avec de nombreuses réservations.

12.1.4 Aspect de finition

Les BAP sont utilisés essentiellement pour des bétons bruts de décoffrage. Ils épousent parfaitement les reliefs des matrices.

Ce sont des bétons techniques.

La régularité de la teinte et de l'aspect de surface repose :

- sur une grande rigueur lors :
 - ✓ de la fabrication,
 - ✓ de la mise en œuvre,
 - ✓ de la période de séchage du béton ;
- et sur les conditions climatiques (température et hygrométrie).

La mise en œuvre consiste à :

- s'assurer de la résistance mécanique du coffrage par rapport à la poussée hydrostatique du béton, notamment en pied de coffrage ;
- vérifier l'étanchéité des coffrages ;
- limiter la hauteur de chute du béton lors de son introduction dans le coffrage (< 1m) ;
- s'assurer de la stabilité des réservations lors du coulage ;
- s'assurer de la qualité et de la mise en œuvre correcte de l'agent décoffrant.

L'entreprise doit veiller au respect de l'enrobage préconisé, voire l'augmenter afin d'éviter les fantômes des armatures.

La consistance des BAP permet de :

- limiter le bullage et les défauts tels que nids de cailloux dans les zones fortement ferrillées ;
- réaliser des coulages sur de grandes hauteurs permettant de diminuer le calepinage ;
- d'obtenir des parements de qualité sans recours au ragréage (arêtes propres).

Important

La maîtrise de la teneur en eau est un point essentiel de l'aspect de surface des BAP.

12.1.5 Atouts

- Qualité des parements.
- Diminution des délais d'exécution sur chantier.
- Amélioration de la sécurité et des conditions de travail (pénibilité...).
- Diminution des nuisances sonores (absence de vibration).

12.2 Bétons hautes performances (BHP)

12.2.1 Normalisation

La norme **NF EN 206-1 : Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité** couvre les bétons pour des résistances caractéristiques à la compression allant jusqu'à C100/115. Pour le dimensionnement, l'**Eurocode 2 (NF**

EN 1992-1-1) *Calculs des structures en béton* prend en compte des bétons de résistance caractéristique à la compression allant jusqu'à C90/105.

12.2.2 Définition – Composition

Les BHP sont caractérisés par une résistance à la compression supérieure à C50/60. Ces bétons possèdent des performances mécaniques améliorées mais également des propriétés de durabilité accrues.

Les BHP sont obtenues en diminuant la porosité du matériau et en augmentant sa compacité. Le dosage en eau est limité et le squelette granulaire est optimisé. L'ajout d'adjuvant de type plastifiant ou superplastifiant permet de maintenir la maniabilité. Pour atteindre des performances élevées, l'utilisation d'additions permet d'accroître la compacité du béton.

12.2.3 Domaines d'utilisation

Les BHP sont principalement utilisés pour :

- optimiser les épaisseurs et les élancements d'un ouvrage ;
- augmenter la durabilité d'un ouvrage (ouvrages difficiles d'accès pour l'entretien et la maintenance ou soumis à des environnements agressifs).
- accélérer les cadences de production en usine de préfabrication.
- augmenter la rotation des coffrages sur chantier.

12.2.4 Aspect de finition

Ces bétons peuvent être laissés bruts de décoffrage ou traités en surface. Les principaux aspects de finition couramment utilisés pour des bétons traditionnels peuvent être obtenus sur des BHP.

12.2.5 Atouts

Technologiques

- Remplissage des moules facilité par la fluidité du matériau,
- Résistance élevée aux jeunes âges,
- Déformations différées (fluage) plus faibles,
- Durabilité élevée : meilleure résistance aux agents agressifs,
- Meilleure résistance à l'abrasion et à la fatigue.

Architecturaux

- Ouvrages plus élancés,
- Allègement des structures porteuses,
- Réduction de l'emprise au sol,
- Amélioration de la qualité des parements.

Environnementaux

- Optimisation des matières premières,
- Diminution de l'impact lié au transport,
- Diminution de la quantité d'énergie pour la mise en place des éléments,
- Augmentation de la durée de vie de l'ouvrage.

Économiques

- Augmentation des cadences de production (résistance au jeune âge plus élevée),
- Gain sur le transport et la mise en place des pièces préfabriquées,
- Diminution des coûts d'entretien et de maintenance des ouvrages.

12.3 Bétons fibrés

12.3.1 Normalisation

Conforme à la norme **NF EN 206-1** : *Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité.*

12.3.2 Définition – Composition

Un béton fibré est un béton dans lequel on a incorporé des fibres métalliques, de verre ou organique (polypropylène, polyvinylalcool, ...).

Selon leur nature, elles améliorent les propriétés du béton :

- diminution des risques de fissuration ;
- remplacement partiel ou total des armatures passives ;
- meilleure tenue au feu ;
- meilleur comportement ductile à la rupture.

Pour avoir une bonne répartition de ces fibres dans le béton, il est recommandé de les introduire dans le malaxeur.

12.3.3 Domaines d'utilisation

Ils dépendent de la nature des fibres.

Acier

Les bétons de fibres métalliques sont destinés aux applications suivantes :

- fondations superficielles ;
- dallages ;
- éléments préfabriqués : voussoirs de tunnels, poutres, tuyaux...

Les fibres métalliques, ou certaines fibres organiques polymères dites « structurelles », peuvent remplacer les armatures dans certains cas hors zones sismiques.

Polypropylène

Les bétons contenant des fibres de polypropylène sont destinés aux applications suivantes :

- voirie et aménagement d'espaces publics ;
- béton projeté ;
- béton de parement ;
- béton de sculpture.

Les fibres de polypropylène améliorent la tenue du béton au feu.

Elles ne remplacent pas les armatures métalliques.

Polyvinylalcool

Ces fibres entrent dans la composition des bétons fibrés ultra-hautes performances (BFUP)

Minérale (verre)

Les bétons contenant des fibres de verre sont destinés aux applications suivantes :

- éléments de faible épaisseur ;
- éléments décoratifs ;
- enduits extérieurs.

Ces bétons sont soit projetés, soit à démoulage différé.

Ces bétons sont appelés CCV (Composite Ciment Verre)

12.3.4 Aspect de finition

L'introduction de fibres dans un béton nécessite d'adapter sa formulation en vue d'obtenir une ouvrabilité garantissant un aspect de finition soigné, l'utilisation d'un adjuvant fluidifiant est recommandée.

12.4 Bétons fibrés à ultra-hautes performances (BFUP)

12.4.1 Recommandations

L'AFGC et le SETRA ont édité un [guide de recommandations permettant la justification des ouvrages en BFUP](#) : *Bétons fibrés à ultra-hautes performances, Recommandations provisoires*.

12.4.2 Définition – Composition

Les bétons fibrés à ultra-hautes performances sont des matériaux à matrice cimentaire, de résistance caractéristique à la compression comprise entre 120 et 250 MPa. Ces matériaux sont additionnés de fibres (métalliques, polymères ou minérales) en vue d'obtenir un comportement ductile en traction et de s'affranchir dans certains cas de l'emploi d'armatures passives.

Ces matériaux se caractérisent par une matrice avec un très bas rapport eau sur liant, de l'ordre de 0.2.

12.4.3 Domaines d'utilisation

Ils dépendent de la résistance et de la durabilité du matériau.

Les BFUP à base de fibres métalliques sont destinées à des applications structurelles. Ceux à base des fibres organiques sont utilisés pour des applications architectoniques.

Résistance

Le comportement mécanique du matériau permet de concevoir des ouvrages d'art élancés et légers tels que des structures en treillis.

Pour les bâtiments de grande hauteur, par exemple, ce matériau permet de réduire la section des poutres et de construire, à coût égal, un étage supplémentaire.

Il devient possible de travailler avec des portées plus grandes et de réaliser des plateaux libres permettant d'accroître la surface d'habitation.

Durabilité

En raison de sa très faible porosité, ce matériau est particulièrement adapté à des environnements :

- agressifs : présence d'ions chlorures, de sulfates ou d'acides faibles ;
- sévères : fortes variations de température et d'humidité.

12.3.4 Aspect de finition

Ce matériau offre une large palette de teintes grâce à l'utilisation de pigments colorés.

Sa grande fluidité lui permet :

- d'épouser parfaitement l'empreinte de la matrice et de créer une large variété de textures ;
- de multiplier les formes complexes ;
- de diminuer les épaisseurs.

12.5 Bétons autonettoyants et bétons dépolluants

Les bétons autonettoyants et dépolluants fonctionnent selon le même principe : la photocatalyse. Ce qui nécessite que la peau du béton ne soit pas revêtue par un produit filmogène pour être en contact direct avec les rayons ultraviolets (UV) de la lumière du jour.

Le béton autonettoyant conserve le parement dans son état d'origine pendant toute la vie du bâtiment. Le béton dépolluant purifie l'air qui est en contact avec son parement.

Généralités

La photocatalyse est le phénomène naturel dans lequel une substance appelée photocatalyseur, accélère la vitesse d'une réaction chimique sous l'action de la lumière naturelle ou artificielle. Lors de cette réaction, le catalyseur n'est ni consommé ni altéré. Cette réaction présente beaucoup de similitude avec la synthèse chlorophyllienne.

En utilisant l'énergie lumineuse, l'eau et l'oxygène de l'air, les photocatalyseurs engendrent la formation de molécules très réactives, appelées radicaux libres, capables de décomposer par oxydo-réduction certaines substances, organiques et inorganiques, présentes dans notre environnement et parfois nocives.

La photocatalyse favorise une décomposition plus rapide des polluants en évitant leur accumulation.

12.5.1 Bétons autonettoyants

12.5.1.1 Normalisation

Ils sont conformes à la norme **NF EN 206-1** : *Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité*.

12.5.1.2 Définition – Composition

Les bétons autonettoyants ont la propriété d'empêcher la formation sur les parements des ouvrages, de salissures d'origines biologiques, telles que mousses, lichens, algues durant toute la vie du bâtiment, quelle que soit son exposition.

Ils sont obtenus grâce à l'utilisation de ciments à effet photocatalytique à propriété autonettoyante conformes à la norme NF EN 197-1. Ils sont fabriqués en incorporant dans un ciment courant (CEM I 52,5 N), blanc ou gris, du dioxyde de titane qui va servir de catalyseur. Le dosage et la variété de dioxyde de titane sont choisis de façon à optimiser les propriétés autonettoyantes de ces bétons.

La photocatalyse est un phénomène naturel qui se produit grâce aux rayons ultraviolets (UV) présents dans la lumière du jour, quelle que soit l'orientation du bâtiment, et qui provoque la destruction des composés biologiques. La présence d'un catalyseur va accélérer la destruction de ces salissures et permettre ainsi de conserver le parement dans son état d'origine.

Il s'agit d'un phénomène pérenne, actif pendant toute la vie de l'ouvrage car d'une part il n'y a pas d'usure du catalyseur et d'autre part toute la masse du béton est concernée (en cas d'épaufrures, le phénomène continu d'exister).

La composition d'un béton autonettoyant, mise à part l'utilisation d'un ciment à effet photocatalytique, ne se différencie pas de celle d'un béton apparent. Ses caractéristiques rhéologiques et mécaniques sont identiques à celles d'un béton architectural habituel.

12.5.1.3 Domaines d'utilisation

Les bétons autonettoyants sont utilisés exclusivement pour la réalisation de bâtiments dont les parements sont apparents. Aucun produit de revêtement ne doit les recouvrir, ces bétons doivent être en contact direct avec la lumière du jour. Ils sont particulièrement recommandés dans les environnements propices aux développements de salissures d'origines biologiques.

Remarque

Les ciments à effet photocatalytique à propriété autonettoyante contiennent un hydrofuge de masse.

12.5.1.4 Aspect de finition

Les aspects de parement lisses, bruts de décoffrage ou polis, qui limitent l'accrochage donc leur développement de salissures d'origines biologiques, sont à privilégier.

12.5.1.5 Atouts

Ces bétons maintiennent dans le temps l'aspect de parement d'origine, diminuent les frais d'entretien et les effets induits sur l'environnement liés aux produits utilisés pour le nettoyage.

12.5.2 Bétons dépolluants

12.5.2.1 Normalisation

Ils sont conformes à la norme **NF EN 206-1** : *Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité*.

12.5.2.2 Définition – Composition

Les bétons dépolluants ont la propriété de purifier l'air des villes, en détruisant les polluants générés par les moteurs thermiques, les oxydes d'azote (NOx), mais aussi les composés organiques volatils (COV).

Ils sont obtenus grâce à l'utilisation de ciments à effet photocatalytique à propriété dépolluante conformes à la norme **NF EN 197-1** : *Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants. Amendement A1 (décembre 2004 – NF EN 197-1/A1)*, qui sont fabriqués en incorporant dans un ciment courant (CEM I 52,5 N), blanc ou gris, du dioxyde de titane qui va servir de catalyseur. Le dosage et la variété de dioxyde de titane sont choisis de façon à optimiser les propriétés dépolluantes de ces bétons.

La photocatalyse est un phénomène naturel qui se produit grâce aux rayons ultraviolets (UV) présents dans la lumière du jour et qui provoque la destruction de certains polluants - NOx et composés organiques volatils (COV) - contenu dans les masses d'air en contact avec la surface du béton. Ces masses d'air polluées étant en continuel mouvement, la dépollution est effective tant que le béton est en contact avec la lumière du jour.

Il s'agit d'un phénomène pérenne, qui va être actif pendant toute la vie de l'ouvrage car d'une part il n'y a pas d'usure du catalyseur et d'autre part toute la masse du béton est concernée ; en cas d'épaufrures, le phénomène continue d'exister.

La composition d'un béton dépolluant, mise à part l'utilisation d'un ciment à effet photocatalytique, ne se différencie pas de celle d'un béton traditionnel destiné à rester apparent. Ses caractéristiques rhéologiques et mécaniques sont identiques à celles d'un béton traditionnel.

12.5.2.3 Domaines d'utilisation

Les bétons dépolluants sont utilisés exclusivement pour la réalisation d'ouvrages dont les bétons sont destinés à rester apparents. Aucun produit de revêtement ne doit les recouvrir, ces bétons doivent être en contact direct avec la lumière du jour.

Ils sont particulièrement recommandés dans les environnements pollués, tels que les façades de bâtiments proches de voies très circulantes ou pour la réalisation de voiries. Dans ces cas, la source de pollution étant proche de la surface du béton son efficacité est d'autant meilleure.

12.5.2.4 Aspect de finition

Tous les types d'aspect de finition sont envisageables. Cependant les textures micro ou macrogrenues sont à privilégier car les surfaces de béton en contact (surfaces spécifiques) avec l'air pollué sont plus importantes, ce qui améliorera le rendement de la dépollution de l'air.

12.5.2.5 Atouts

Les taux de dépollution sont fonction des conditions climatiques, notamment du vent. L'air des villes est moins pollué.



Centre de l'enfance à Sèvres (92)
Hellin Sebbag, architectes — Photo : Stéphane Chalmeau

L'objectif principal d'un descriptif est de préciser et détailler les ouvrages à réaliser.

Le présent chapitre s'adresse aux concepteurs, architectes et prescripteurs techniques qui ont à rédiger un descriptif concernant la réalisation d'ouvrages en béton apparent.

Le rédacteur adaptera le texte proposé en modifiant ou supprimant les articles ci-dessous, en fonction du projet à réaliser.

Il appartient à l'utilisateur de se référer aux diverses réglementations en vigueur et contraintes techniques particulières définies par le maître d'œuvre.

En outre, le descriptif type doit permettre d'obtenir deux garanties complémentaires :

- le respect du choix du concepteur par l'entrepreneur et l'assurance de la faisabilité de ce choix ;
- le calcul par l'entrepreneur de l'estimation du coût économique de l'ouvrage projeté, en fonction d'un choix transparent.

Ce descriptif type doit également servir de document de référence pour faciliter le dialogue entre les différents intervenants de l'acte de construire.

13.1 Éléments préfabriqués

Tant pour la composition des bétons que pour leur mise en œuvre, l'entreprise et le préfabricant doivent respecter :

- la norme de produit et, lorsqu'il n'y a pas de norme de produit, la norme **NF EN 13369** : *Règles communes pour les produits préfabriqués en béton* ;
- les différents textes et réglementations en vigueur ;
- les présentes prescriptions techniques.

Une marque de certification par tierce partie (Qualif IB, NF ou équivalent) constitue une preuve de conformité aux normes de référence et permet de garantir l'aptitude à l'emploi du produit.

La marque volontaire est complémentaire au marquage CE et permet au prescripteur de sélectionner les produits aptes à répondre à ses besoins. Pour les éléments de mur, la marque Qualif IB Éléments Architecturaux deviendra en 2009 la marque NF Éléments Architecturaux, preuve de la conformité à la norme **NF EN 14992** et au référentiel NF avec l'application obligatoire du marquage CE en mai 2010.

13.1.1 Textes de référence

- **NF EN 13369** : *Règles communes pour les produits préfabriqués en béton*.
- **NF EN 14992** : *Produits préfabriqués en béton – Éléments de mur*.
- **NF EN 1504-2** : *Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton - Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 2 : systèmes de protection de surface pour le béton*.
- **NF P 18-201 (DTU 21)** : *Travaux de bâtiment – Exécution des travaux en béton – Cahier des clauses techniques*.
- **NF P 10-210 (DTU 22.1)** : *Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire*.
- **FD P 18-503** : *Surfaces et parements de béton – Éléments d'identification*.
- « **Prescriptions Techniques Communes aux procédés de mur ou de gros œuvre** », Cahier du CSTB, n° 2159.
- **Fascicule 65** : *Exécution des ouvrages en béton armé ou en béton précontraint par post-tension (fascicule du CCTG applicable aux marchés publics)*.
- **Recommandations SNJF** (Syndicat national des joints et façades) pour la réalisation des joints de bâtiment.
- **CEN TR 15739** : *Produits préfabriqués en béton. Surface et parements en béton. Éléments d'identification*.

13.1.2 Étendue des prestations de l'entreprise et du préfabricant

L'ensemble des bétons préfabriqués apparents doit être formulé et mis en œuvre conformément :

- à l'aspect final recherché ;
- aux caractéristiques du projet du maître d'œuvre ;
- aux emplacements mentionnés sur les plans ;
- au présent descriptif.

Un dialogue doit être instauré entre l'architecte, l'entreprise et le préfabricant au moment des études d'exécution afin de satisfaire aux exigences du projet.

Au stade de la consultation, l'entreprise doit poser toutes les questions qui s'imposent à la maîtrise d'œuvre, ainsi qu'aux bureaux d'études pour éviter toute erreur d'interprétation.

Un élément témoin est réalisé par le préfabricant pour être soumis aux architectes, aux bureaux d'études de structures et au maître d'ouvrage avant toute réalisation définitive.

13.1.3 Critères de choix de l'entreprise générale ou de gros œuvre

Lors de la remise de son offre, l'entreprise doit préciser dans son mémoire technique :

- ses options de méthodologie de réalisation des éléments architecturaux ;
- sa certification ISO 9001 ou sa qualification professionnelle ;
- son PAQ ;
- ses références de réalisations ;
- le ou les préfabricants qu'elle souhaite s'adjoindre en sous-traitance.

13.1.4 Critères de choix du préfabricant

Il est recommandé que le préfabricant proposé par l'entreprise générale ou de gros œuvre remplisse l'un ou plusieurs des critères suivants :

- le produit standard préfabriqué sera de préférence certifié NF ou équivalent ;
- la fabrication du produit architectural préfabriqué non standard sera couverte par un plan d'assurance qualité interne ;
- les références de réalisations fournies.

Remarque

Le préfabricant devient souvent un sous-traitant à l'entreprise générale ou de gros œuvre et doit être soumis à l'acceptation du maître d'ouvrage, des architectes et bureaux d'études de structures, en leur soumettant leurs qualifications et références.

13.1.5 Conception des éléments

Les éléments architecturaux en béton fabriqués en usine doivent être réalisés en respectant la totalité des critères de qualité techniques, dimensionnels, esthétiques souhaités.

En collaboration avec l'industriel, l'entreprise du présent lot met en place une procédure de maîtrise de la qualité concernant l'ensemble des tâches nécessaires à la réalisation des éléments préfabriqués avec leurs études, plans, adaptations, fabrication, transport.

13.1.6 Parements

Les parements - reliefs, modénatures, textures et teintes - sont définis conformément au chapitre 4.

Voir Chapitre 4 *Aspects de surface, page 37*

Avant commande, des échantillons sont proposés pour chaque parement, afin de valider la texture et la teinte selon le fascicule de documentation **FD P 18-503 : Surfaces et parements de béton – Éléments d'identification** et complété par **CEN TR 15739 : Produits préfabriqués en béton. Surface et parements en béton. Éléments d'identification**.

Une fois l'entreprise désignée, un échantillon témoin est réalisé à plus grande échelle. Un prototype peut être réalisé pour des chantiers très importants ou des projets atypiques ; dans ce cas, cette demande doit être formulée expressément dans le descriptif.

Les échantillons témoins sont datés, identifiés et approuvés par l'architecte, le maître d'ouvrage et, éventuellement, le bureau d'études de structures. Ils sont conservés pendant toute la durée de l'opération.

L'accord sur les échantillons témoins ou sur le prototype, le cas échéant, est noté dans un procès-verbal signé par les parties concernées.

Pour éviter toute ambiguïté, les différents parements de chaque élément type sont précisés sur un plan de calepinage. La qualité d'aspect des faces non vues est définie également (joints latéraux, tranches, angles biseautés, double face, etc.).

Exemple :

Description du parement	Échantillon témoin (référence)*	Observations
Face externe des panneaux (façade Nord) : traitement poli 5 passes avec bouchonnage avant la dernière passe. (plan n° ...)	P125 (nom du fabricant :.....)	Prévoir des bords abattus.
<i>* Les références des échantillons témoins sont disponibles chez le préfabricant.</i>		

Pour s'assurer de la régularité d'aspect, il faut veiller :

- à la composition du béton, qui doit être conforme à la formulation nominale de l'échantillon retenu ;
- à la qualité des coffrages ;
- au choix des produits de décoffrage ;
- à la qualité de la mise en œuvre (vibration, temps de coffrage, manutention, stockage..).

Les niveaux de teinte moyenne et de qualité d'aspect (texture et teinte) sont définis pour chaque échantillon, conformément à la prescription définie par le **FD P 18-503 : Surfaces et parements de béton – Éléments d'identification**.

13.1.7 Traitement des retours, angles, chants et arêtes

Ces points doivent être définis précisément par l'architecte lors de l'établissement du descriptif. D'une façon générale, la texture et la teinte de toutes les faces vues doivent être définies.

Par exemple :

- chants polis, sablés, etc. ;
- traitements des angles entre 2 panneaux ;
- traitement des joints et arêtes.

13.1.8 Tolérances dimensionnelles

Les tolérances dimensionnelles des éléments de mur conformes à la norme **NF EN 14992 : Produits préfabriqués en béton – Éléments de mur**, sont définies comme indiqué ci-après pour :

1. ouvertures et inserts ;
2. longueur, hauteur, épaisseur et dimensions diagonales ;
3. planéité des surfaces.

Choisir la classe A ou B correspond au degré de précision souhaité pour chacun des trois critères.

Remarque

À défaut de précisions la classe B est retenue.

13.1.8.1 Tolérances de positionnement des ouvertures et des inserts

Classe retenue : (à préciser)

Classe	Ecart autorisé
A	± 10 mm
B	± 15 mm
<i>Pour des inserts conçus pour correspondre aux tolérances des voiles, des valeurs différentes de positionnement peuvent être données dans la documentation technique.</i>	

13.1.8.2 Tolérances relatives aux longueurs, hauteurs, épaisseurs et dimensions diagonales :

Classe retenue : (à préciser)

Classe	Ecart autorisé				
	Dimensions de base				
	0 – 0,5 m	0,5 – 3 m	> 3 m – 6 m	> 6 m – 10 m	> 10 m
A	± 3 mm *	± 5 mm *	± 6 mm	± 8 mm	± 10 mm
B	± 8 mm	± 14 mm	± 16 mm	± 18 mm	± 20 mm

* ± 2 mm dans le cas des plaques de parement de petites dimensions

13.1.8.3 Tolérances relatives à la planéité des surfaces :

Classe retenue : (à préciser)

Classe	Calibres avec distances entre les points de mesure sous :	
	Règle de 0,20 m	Règle de 3 m
A	2 mm	5 mm
B	4 mm	10 mm

13.1.9 Définition de la classe d'exposition

La classe d'exposition figure dans le programme de travaux commandé par le maître d'ouvrage.

Cette classe d'exposition est déterminée à partir des spécifications de la norme **NF EN 206-1** : Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité et celles du fascicule de documentation **FD P 18-011** : Bétons – Classification des environnements agressifs.

13.1.10 Choix des constituants du béton

Le choix des constituants dépend de facteurs tels que la classe d'environnement et les finitions envisagées.

13.1.10.1 Ciment

Le ciment doit être conforme à la norme **NF EN 197-1** : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants. Amendement A1 (décembre 2004 – NF EN 197-1/A1) qui définit les différents types de ciment et leurs constituants, les classes de résistance et les exigences mécaniques et physiques définies en termes de valeurs caractéristiques.

13.1.10.2 Granulats

Tous les granulats courants doivent satisfaire aux normes :

- **NF EN 12620** : Granulats pour béton ;
- **XP P 18-545** : Granulats – Eléments de définition, conformité et codification.

Les granulats doivent être de même provenance pour l'ensemble du chantier afin de conserver une régularité de teinte et de granulométrie.

La granulométrie est fonction de :

- ✓ l'aspect de surface ;
- ✓ la densité des armatures ;
- ✓ l'enrobage ;
- ✓ l'épaisseur de l'ouvrage.

Les granulats proviendront de roches stables, inaltérables à l'air, à l'eau et au gel.

Les granulats ne doivent pas contenir d'impuretés telles que : charbon, pyrite, scories, gypse, mica (NB : le mica en faible quantité n'est pas nuisible).

La teneur totale en soufre ne peut excéder 1 % en masse pour les granulats (hors laitiers de haut-fourneau). Ne sont pas admises les impuretés de nature organique ou argileuse.

Remarque

Dans le cas d'utilisation de granulats spéciaux (tels que granulats de verre, métalliques, ...) ou de parements spécifiques (incrustations de matériau de nature différente, ...) le maître d'œuvre décrira dans son CCTP, avec le bureau de contrôle, le protocole d'étude des bétons. En phase d'exécution celui-ci sera validé par l'ensemble des parties : maîtrises d'œuvre, d'ouvrage et entreprise.

13.1.10.3 Sables

Les sables seront de même provenance afin de conserver une régularité de forme et couleur. Ils auront une quantité suffisante et constante d'éléments fins et moyens.

13.1.10.4 Additions

Les additions calcaires ou siliceuses sont les plus couramment utilisées. D'autres additions sont possibles telles les cendres volantes, etc. Ces additions sont normalisées.

13.1.10.5 Pigments

Pour les bétons colorés, les pigments sont autorisés. Ils doivent être conformes à la norme **NF EN 12878** : *Pigments de coloration des matériaux de construction à base de ciment et/ou de chaux – Spécifications et méthodes d'essai.*

13.1.10.6 Eau de gâchage

L'eau de gâchage doit répondre aux spécifications de la norme **NF EN 1008** : *Eau de gâchage pour bétons. Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton.*

Il est important de s'assurer qu'elle n'influence pas la teinte du béton.

13.1.10.7 Adjuvants

Les adjuvants doivent être conformes à la norme **NF EN 934-2** : *Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis – Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage.*

Ils ne doivent pas avoir d'influence directe ou indirecte sur la teinte du béton, être compatibles entre eux et avec les traitements envisagés.

13.1.11 Armatures et inserts

Avant toute réalisation, l'entreprise de gros œuvre fait valider les plans d'armatures des éléments porteurs ou auto-porteurs par le bureau d'études de structures puis par le bureau de contrôle, et les fournit ensuite au préfabricant.

Les armatures principales sont façonnées suivant la fiche d'homologation des aciers à haute adhérence.

Pour éviter les risques de coulure de rouille, les aciers en attente sont protégés (barbotine ou produit de protection spécifique).

Les aciers incorporés dans les bétons doivent être parfaitement propres et exempts de toute trace de rouille pouvant par la suite tacher les éléments.

Toutes les armatures sont de préférence soudées électriquement.

Les réservations importantes nécessaires aux entreprises des corps d'état secondaires (menuiseries, serrurerie, plomberie, électricité...), en dehors de celles prévues dans le présent marché, sont mises en place au moment de la fabrication des pièces. Ces réservations sont à la charge des entreprises concernées.

Les écarteurs sont choisis de manière à ne pas laisser de traces trop visibles sur les parements. Le système est soumis à l'accord du client.

Les armatures et inserts entrant en contact avec le béton doivent être de nature physico-chimique compatible.

Enrobages minimaux

En règle générale, les enrobages minimaux préconisés par l'**Eurocode 2 (NF EN 1992-1-1)** : *Calculs des structures en béton* sont fonction :

- ✓ des classes d'exposition de l'ouvrage ou de chaque partie d'ouvrage ;
- ✓ des classes structurales de l'ouvrage liées à sa durée de vie ;
- ✓ de la performance mécanique du béton ;
- ✓ du type et du positionnement des armatures ;
- ✓ des contraintes particulières et tolérances d'exécution.

Pour les parements structurés, lavés, désactivés ou bouchardés, l'enrobage nominal est mesuré au niveau de la partie la plus en creux.

Dans tous les cas, il convient de ne pas charger une pièce trop près de ses parements, le béton d'enrobage étant particulièrement vulnérable (risques d'épaufrures et de fissures).

13.1.12 Assemblages et joints d'étanchéité

Les joints d'étanchéité et les assemblages doivent répondre aux textes suivants :

- **Eurocode 2 (NF EN 1992-1-1)** : *Calculs des structures en béton*
- **DTU 44.1 (NF P 85-210-1)** : *Travaux de bâtiment – Étanchéité des joints de façade par mise en œuvre de mastics.*
- **DTU 22.1 (NF P 10-210-1)** : *Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire.*
- **Directives UEATc communes pour l'agrément des procédés de construction pour grands panneaux lourds préfabriqués.**
- **Prescriptions techniques communes** aux procédés de mur ou de gros œuvre du groupe spécialisé n° 1.

Les produits de joints d'étanchéité utilisés doivent avoir le label SNJF.

13.1.13 Réalisation des éléments

Le préfabricant doit disposer d'une usine fixe ainsi que d'une installation et d'une main-d'œuvre qualifiée répondant aux exigences de la prescription.

À l'appui de son offre, le fabricant doit fournir les études suivantes :

- composition des bétons ;
- coffrages et matrices suivant l'expression architecturale des façades ;
- nombre de coffrages et d'outillages pour répondre aux exigences du planning d'exécution.

13.1.13.1 Plan d'assurance qualité

La fabrication des éléments est réalisée selon un plan d'assurance qualité spécifique mis en place dans l'unité de production.

Le préfabricant doit permettre une visite de son unité de production afin que le maître d'ouvrage, l'architecte et le bureau d'études de structures apprécient les capacités et les conditions de fabrication (notamment les opérations de coulage et de finition).

13.1.13.2 Études

L'architecte définit le plan de calepinage. Celui-ci fait l'objet d'une validation par l'entreprise et le fabricant en fonction des impératifs techniques.

Le préfabricant effectue l'étude d'exécution du coffrage et du ferrailage des éléments qui repose sur :

- les carnets de détails (menuiserie, électricité, etc.), fournis par l'entreprise ;
- les consignes de manutention et de stockage et les procédures de mise en œuvre, fournies également par l'entreprise.

Le plan de calepinage établi par l'architecte et, éventuellement, la nomenclature des éléments, sont annexés au CCTP pour décrire et nommer précisément chaque pièce afin d'en définir toutes les particularités et d'éviter toute ambiguïté.

La forme des éléments est illustrée à l'aide de dessins annexés au CCTP.

13.1.13.3 Coffrages

Avant définition des coffrages, les joints entre éléments préfabriqués sont déterminés en accord avec le maître d'œuvre.

Les coffrages sont étanches et indéformables. Ils sont maintenus propres pendant leur utilisation.

Certaines pièces dont les séries ne dépassent pas une vingtaine d'unités peuvent être coulées dans des coffrages en bois, par exemple. Au-delà, le fabricant utilise généralement des coffrages métalliques.

13.1.13.4 Mise en œuvre du béton

La mise en œuvre du béton doit être conforme aux prescriptions des normes :

- **DTU 22.1 (NF P10-210/MEM)** : *Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire – Partie 1 : Cahier des charges.*
- **DTU 21 (NF P18-201)** : *Travaux de bâtiment – Exécution des ouvrages en béton – Cahier des clauses techniques ;*

La mise en œuvre du béton est précédée des vérifications portant sur :

- ✓ l'ouvrabilité ;
- ✓ la stabilité, la rigidité et l'étanchéité des coffrages ;
- ✓ la conformité des armatures et leur calage.
- La mise en œuvre du béton respecte les recommandations suivantes :
 - ✓ pour les bétons nécessitant une vibration :
 - ✓ serrage uniforme du béton mis en place avec les outils adaptés (table vibrante, vibreurs, aiguilles...),
 - ✓ diamètre des aiguilles définies en fonction de l'espacement des armatures et de l'épaisseur de l'élément ;
- pour tous les bétons (vibrés et autoplaçants) :
 - ✓ respect des cycles de décoffrage.

13.1.13.5 Réception de l'échantillon témoin ou du prototype

Un échantillon témoin est soumis à l'agrément de l'architecte avant la mise en fabrication des éléments.

Cet échantillon témoin doit répondre à toutes les exigences prescrites. Dans le cas contraire, il est refait autant de fois que nécessaire pour obtenir l'aspect et le degré de finition requis dans le présent descriptif.

L'examen visuel doit être fait dans des conditions comparables aux conditions finales d'exposition des pièces (distance, inclinaison, humidité...).

Un prototype peut être réalisé après acceptation de l'échantillon témoin et des plans d'éléments bons pour exécution.

13.1.13.6 Conformité des éléments

Les éléments réalisés doivent être conformes aux spécifications du présent descriptif.

13.1.14 Marquage

Sur chaque élément figure une étiquette donnant les indications suivantes :

- identification de l'usine productrice ;
- date de fabrication ;
- repérage de la pièce.

13.1.15 Stockage des éléments

Le fabricant dispose d'une aire de stockage suffisante et soigneusement entretenue.

Il prend toutes les précautions nécessaires à la bonne ventilation entre les pièces et à leur conservation en état de propreté.

Il s'assure que le stockage garantit la sécurité des personnes et permet une préreception en usine.

13.1.16 Transport et livraison

Toutes les précautions sont prises par le fabricant pour assurer la protection maximale des éléments pendant le transport.

Une protection complémentaire contre les salissures peut être exigée par l'architecte.

13.1.17 Réception à l'arrivée sur chantier avant déchargement

Un bon de livraison est établi par camion, comportant le repérage, le nombre et le poids des pièces, complétés par la mention du transporteur et la date de livraison.

La réception des éléments sur le chantier, avant déchargement, par l'entreprise ou le maître d'œuvre comprend leur identification, leur conformité aux spécifications de la commande, la vérification de non-dégradation ou dommages.

Les dégradations doivent être mentionnées sur l'exemplaire du bon de livraison du transporteur.

13.1.18 Manutention et stockage sur chantier

La manutention et le stockage des éléments livrés se font dans le respect des règles de sécurité et avec toutes les précautions qui s'imposent.

Les manutentions après livraison sur le chantier sont limitées au minimum jusqu'à la pose définitive, afin d'éviter toutes dégradations. Les protections et supports provisoires de stockages éviteront toutes coulures, spectres et taches.

13.1.19 Mise en place des éléments

La mise en place, l'étalement des éléments ainsi que la réalisation des assemblages et joints doivent être effectués conformément aux spécifications mentionnées dans la procédure de mise en œuvre établie par type d'élément.

Les tolérances de pose sont indiquées dans le **DTU 22.1 (NF P10-210/MEM) : Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire – Mémento pour la conception des ouvrages + Erratum + Additif 1**.

Les armatures en attente, les éléments métalliques de levage sont protégés contre la rouille.

13.1.20 Protection après pose

L'entreprise doit protéger les éléments soit contre les chocs, soit contre les salissures et particulièrement aux angles des panneaux. Ces protections respirantes ne doivent pas perturber le vieillissement des bétons ni altérer leur aspect. Contre les chocs, on pourra utiliser un film plastique rigide ou équivalent recouvert d'un bardage bois dans les zones les plus sensibles.

Des protections antisalissures, type géotextile ou film plastique souple, sont à utiliser par l'entreprise pour protéger les parements. Il est conseillé de prévoir un nettoyage général en fin de chantier par un lavage à l'eau à haute pression (maxi 60 bars).

13.1.21 Reprises, ragréages et rebouchages

Malgré les précautions prises, des réparations peuvent être nécessaires. Le fabricant définit et transmet une méthodologie de réparation appropriée.

Il procède à des essais de réparation d'épaufrures sur un échantillon témoin qui devra être accepté par le maître d'œuvre et le bureau de contrôle.

L'usine aura une équipe spécialisée pour effectuer toute intervention sur le site en cas de réparation.

13.1.22 Antigraffiti et autres produits de protection

Les produits de protection de surface doivent être conformes à la norme **NF EN 1504-2 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton - Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 2 : systèmes de protection de surface pour le béton** et ne pas nuire à l'aspect esthétique des parements. Ils comprennent les antigraffiti, les hydrofuges de surface, les lasures. Ils sont stables aux ultraviolets et adaptés à la composition et la texture des bétons. Des tests d'efficacité et de nettoyage sont soumis au maître d'œuvre. Les modes d'utilisation et d'entretien sont fournis au maître d'ouvrage et aux utilisateurs.

Le maître d'œuvre spécifie les produits retenus pour l'opération.

Les hydrofuges de surface et les antigraffiti sont appliqués :

- sur des surfaces préalablement nettoyées et séchées ;

- par pulvérisation ou, éventuellement, au rouleau, selon la texture du produit.
- Leur application se fait généralement en fin de chantier par l'entreprise, après nettoyage.

13.2 Bétons coulés en place

13.2.1 Textes de référence

Tant pour la composition des bétons que pour leur mise en œuvre, l'entreprise doit respecter les textes de référence :

- **NF EN 206-1** : Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité.
- **NF EN 1504-2** : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton - Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 2 : systèmes de protection de surface pour le béton.
- **FD P 18-503** : Surfaces et parements de béton – Éléments d'identification
- **DTU 21 (NF P18-201)** : Travaux de bâtiment – Exécution des travaux en béton – Cahier des clauses techniques.
- **DTU 23.1 (NF P18-210/GUI)** : Murs en béton banché – Guide pour le choix des types de murs de façade en fonction du site.
- **Fascicule 65** : Exécution des ouvrages en béton armé ou en béton précontraint par post-tension (fascicule du CCTG applicable aux marchés publics).
- **NF EN 10080** : Aciers pour l'armature du béton – Aciers soudables pour béton armé – Généralités.
- **NF A 35-015** : Aciers pour béton armé – Aciers soudables lisses de classe technique B235X – Barres et couronnes.
- **NF A 35-016 1** : Aciers pour béton armé – Aciers soudables à verrous – Partie 1 : barres et couronnes.
- **NF A 35-016 2** : Aciers pour béton armé – Aciers soudables à verrous – Partie 2 : treillis soudés.
- **NF A 35-017** : Aciers pour béton armé – Barres et couronnes non soudables à verrous.
- **NF A 35-019-1** : Aciers pour béton armé – Aciers soudables à empreintes – Partie 1 : barres et couronnes.
- **NF A 35-019-2** : Aciers pour béton armé – Aciers soudables à empreintes – Partie 2 : treillis soudés.
- **NF A 35-024** : Aciers pour béton armé – Treillis soudés de surface constitués de fils de diamètre inférieur à 5 mm.

13.2.2 Étendue des prestations de l'entreprise

L'ensemble des bétons apparents doit être formulé et mis en œuvre conformément :

- à l'aspect final recherché ;
- aux caractéristiques du projet des architectes et des bureaux d'études techniques ;
- aux emplacements mentionnés sur les plans ;
- au présent descriptif.

Un dialogue doit être instauré entre l'architecte et l'entreprise au moment des études d'exécution afin de satisfaire aux exigences du projet.

Un élément témoin est réalisé par l'entreprise pour être présenté à l'architecte.

Remarque

La maîtrise d'œuvre traduit le souhait de la maîtrise d'ouvrage en ce qui concerne les classes d'exposition de l'ensemble des bétons afin de garantir leur durabilité.

13.2.3 Critères de choix de l'entreprise générale

Lors de sa remise d'offre, l'entreprise générale doit préciser dans son mémoire technique :

- ses options de méthodologie de réalisation des éléments architecturaux ;
- sa certification ISO ou sa certification professionnelle ;
- son PAQ ;
- ses références de réalisations.

13.2.4 Conception des éléments

Les éléments architecturaux en béton coulé en place doivent être réalisés en respectant la totalité des critères de qualité techniques, dimensionnels et esthétiques souhaités. On veillera à prendre les précautions nécessaires pour les bétonnages par temps chaud et par temps froid.

L'entreprise générale ou de gros œuvre du présent lot met en place une procédure de maîtrise de la qualité concernant l'ensemble des tâches nécessaires à la réalisation des éléments architectoniques avec leur étude, plans, adaptations, choix des coffrages, mise en œuvre et les soumettra au bureau d'études de structures, architecte et bureau de contrôle.

13.2.5 Description des éléments

Il est recommandé de décrire et de nommer précisément chaque élément afin d'en définir toutes les particularités et d'éviter toute ambiguïté.

Des dessins et une nomenclature peuvent être indispensables et annexés au cahier des clauses particulières. Les plans de l'entreprise soumis au maître d'œuvre mettront en évidence les caractéristiques des parements résultant de la mise en œuvre (textures, teintes, joints, traitement des reprises de bétonnage, trous de banches, réservations, inserts, calepinages, aciers ou platines en attente à capuchonner, définitions des arases supérieures, gouttes d'eau, traitement des angles, joues latérales, tranches).

13.2.6 Parements

Les parements - reliefs, modénatures, textures et teintes - sont définis préalablement.

Voir Chapitre 4 *Aspects de surface, page 37*

Un échantillon est proposé pour chaque parement afin de valider la texture et la teinte, selon le fascicule de documentation **FD P 18-503** : *Surfaces et parements de béton – Éléments d'identification*. Une fois le choix retenu par l'architecte, un élément témoin est réalisé dans les conditions de chantier du moment (ces conditions sont à préciser sur un procès-verbal : conditions climatiques, hygrométriques, coffrage...).

Les échantillons et l'élément témoins sont datés, identifiés et approuvés par le maître d'œuvre. Ils sont conservés pendant toute la durée de l'opération. Il est nécessaire de prévoir des essais avec les produits de protection prévus.

Voir Chapitre 10 *Protection et entretien des bétons, page 77*

L'accord sur les échantillons et les éléments témoins est noté dans un compte rendu de réunion de chantier.

Pour éviter toute ambiguïté, les différents parements de chaque élément type sont précisés sur un plan de calepinage de façade. La qualité d'aspect des faces non vues n'est pas définie.

13.2.7 Choix des constituants du béton

Le choix des constituants dépend de nombreux facteurs tels que l'environnement et les finitions envisagées.

Le béton doit être conforme à la norme **NF EN 206-1** : *Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité*.

13.2.7.1 Ciment

Le ciment doit être conforme à la norme **NF EN 197-1** : *Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants. Amendement A1 (décembre 2004 – NF EN 197-1/A1)* qui définit les différents types de ciment et leurs constituants, les classes de résistance et les exigences mécaniques et physiques définies en termes de valeurs caractéristiques.

13.2.7.2 Granulats

Tous les granulats courants doivent satisfaire aux normes :

- **NF EN 12620** : *Granulats pour béton* ;
- **XP P 18-545** : *Granulats – Éléments de définition, conformité et codification*.

Les granulats doivent être de même provenance pour l'ensemble du chantier afin de conserver une régularité de teinte et de granulométrie.

La granulométrie est fonction de :

- l'aspect de surface ;
- la densité des armatures ;
- l'enrobage ;
- l'épaisseur de l'ouvrage.

Les granulats proviendront de roches stables, inaltérables à l'air, à l'eau et au gel.

Les granulats ne doivent pas contenir d'impuretés telles que : charbon, pyrite, scories, gypse, mica (NB : le mica en faible quantité n'est pas nuisible).

La teneur totale en soufre ne peut excéder 1 % en masse pour les granulats (hors laitiers de haut-fourneau). Ne sont pas admises les impuretés de nature organique ou argileuse.

Dans le cas d'utilisation de granulats spéciaux (tels que granulats de verre, métalliques, ...) ou de parements spécifiques (incrustations de matériau de nature différente...) le maître d'œuvre décrira dans son CCTP, avec le bureau de contrôle, le protocole d'étude des bétons. En phase d'exécution celui-ci sera validé par l'ensemble des parties : maîtrises d'œuvre, d'ouvrage et entreprise.

13.2.7.3 Sables

Les sables seront de même provenance pour la durée totale du chantier afin de conserver une régularité de granulométrie, forme et couleur. Ils auront une quantité suffisante et constante d'éléments fins et moyens.

13.2.7.4 Additions

Les additions calcaires ou siliceuses sont les plus couramment utilisées.

D'autres additions sont possibles telles les cendres volantes, fillers, fumées de silice.

Ces additions sont normalisées :

- **NF P 18-501** : Additions pour béton hydraulique – Fillers ;
- **NF P 18-506** : Additions pour béton hydraulique – Laitier vitrifié moulu de haut-fourneau ;
- **NF P 18-508** : Additions pour béton hydraulique – Additions calcaires – spécifications et critères de conformité ;
- **NF P 18-509** : Additions pour béton hydraulique – Additions siliceuses – spécifications et critères de conformité ;
- **NF EN 450-1+A1** : Cendres volantes pour béton – Partie 1 : Définitions, spécifications et critères de conformité ;
- **NF EN 13263-1** : Fumée de silice pour béton – Partie 1 : Définitions, exigences et critères de conformité.

13.2.7.5 Pigments

Pour les bétons colorés, les pigments sont autorisés. Ils doivent être conformes à la norme **NF EN 12878** : Pigments de coloration des matériaux de construction à base de ciment et/ou de chaux – Spécifications et méthodes d'essai.

13.2.7.6 Eau de gâchage

L'eau de gâchage doit répondre aux spécifications de la norme **NF EN 1008** : Eau de gâchage pour bétons. Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton.

Il est important de s'assurer qu'elle n'influence pas la teinte du béton.

13.2.7.7 Adjuvants

Les adjuvants doivent être conformes à la norme **NF EN 934-2** : Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis – Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage.

Ils ne doivent pas avoir d'influence directe ou indirecte sur la teinte du béton, être compatibles entre eux et avec les traitements envisagés.

13.2.8 Armatures et inserts

Les armatures principales sont façonnées suivant leur fiche d'homologation des aciers à haute adhérence.

Pour éviter les spectres de l'armature, protéger la peau coffrante au moyen de panneaux de bois (contreplaqué fin) qui seront retirés avant le coulage du béton.

Pour éviter les risques de coulure de rouille, les aciers en attente sont protégés (barbotine, produit de protection spécifique).

Les aciers incorporés dans les bétons des éléments doivent être parfaitement propres.

Toutes les armatures sont de préférence soudées électriquement.

Les réservations importantes nécessaires aux entreprises des corps d'état secondaires (menuiseries, serrurerie, plomberie, électricité...), en dehors de celles prévues dans le présent marché, sont mises en place au moment de la préparation des coffrages.

Les écarteurs sont choisis de manière à ne pas laisser de traces trop visibles sur les parements. Le système est soumis à l'accord du maître d'œuvre.

Les armatures et inserts entrant en contact avec le béton doivent être de nature physico-chimique compatible.

13.2.8.1 Enrobages

Les armatures, techniquement dimensionnées, doivent toujours être enrobées d'un minimum de 30 mm après traitement des parements finis. Pour des applications spécifiques (bouchardage...) et des environnements particuliers (zone maritime, environnement agressif, incendie), ces enrobages sont modulés en application de l'**Eurocode 2 (NF EN 1992-1-1) : Calculs des structures en béton**.

Pour les parements structurés, lavés, désactivés ou bouchardés, l'enrobage nominal est mesuré au niveau de la partie la plus en creux (Enrobage nominal = enrobage minimum majoré des tolérances d'exécution).

13.2.9 Coffrages

La conception des coffrages jouant un rôle déterminant, l'entrepreneur prendra toutes précautions pour que le produit fini corresponde effectivement à l'aspect demandé.

Voir Chapitre 3 Coffrages, page 31

La réalisation et la nature des coffrages spécifiques sont préalablement soumises par l'entreprise à l'architecte.

Les coffrages sont étanches, indéformables et rigides. Ils sont maintenus propres pendant leur utilisation. Les coffrages bois peuvent être bruts ou rendus non absorbants.

Afin de permettre une bonne qualité de démoulage et d'éviter les épaufrures, des dépouilles sont prévues pour les réservations.

La disposition des joints entre les différents phasages de bétonnage ainsi qu'entre les éléments constituant l'outil coffrant doit être étudiée. L'entreprise soumet à l'architecte un plan de calepinage précis des panneaux, joints effectifs, faux calepinages, inserts, etc.

13.2.9.1 Joints

La forme du joint (marquée ou estompée) doit être spécifiée par l'architecte.

Pour les joints marqués, il faut préciser en millimètres la profondeur et la largeur. Ils comportent une dépouille afin de permettre un décoffrage sans épaufrure.

Ces joints reprendront les calepinages définis. Ils devront clairement apparaître sur les plans de l'entreprise, avec les profils des joints, traitements de surfaces, etc.

13.2.9.2 Trous de banches

Ils s'intègrent aux calepinages définis. Ils doivent apparaître clairement sur les plans de l'architecte remis à l'entreprise. Ils sont adaptés à un démoulage sans épaufrure. Les trous sont rebouchés en accord avec l'architecte.

13.2.9.3 Angles

Leurs dimensions et aspects sont définis par l'architecte et apparaissent clairement sur les plans qu'il fournit à l'entreprise.

13.2.9.4 Tolérances de réalisation

Les tolérances dimensionnelles et d'aspect sont conformes :

- aux réglementations en vigueur (**DTU 23.1 (NF P18-210/GUI) : Murs en béton banché – Guide pour le choix des types de murs de façade en fonction du site, FD P 18-503 : Surfaces et parements de béton – Éléments d'identification**),
- aux échantillons et prototypes de référence.

13.2.10 Mise en œuvre

On veillera à prendre les précautions nécessaires pour les bétonnages par temps chaud et par temps froid.

La plasticité du béton est adaptée à la complexité de forme et de bétonnage de l'ouvrage.

La hauteur de chute du béton ne doit pas dépasser 1 mètre.

La hauteur des couches de béton ne doit pas dépasser 50 cm.

La vibration du béton sera définie et adaptée en fonction de sa plasticité et de sa composition.

Pour un même béton, la teinte des parements peut varier en fonction des saisons.

Remarque

L'utilisation d'un béton autoplaçant (BAP) est recommandée dans certains cas.

13.2.11 Contrôles

Conformément à la **NF EN 206-1 : Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité**, l'entreprise procède à des contrôles périodiques du béton avant coulage, dans le cadre de son plan qualité accepté par le maître d'œuvre.

13.2.12 Protections des bétons

Au fur et à mesure de l'avancement du chantier, l'entreprise protégera des chocs et des salissures les parties décoffrées dans leur intégralité. Ces protections ne devront pas perturber le vieillissement des bétons ni altérer leur aspect.

■ Produits de protection

Les produits de protection de surface doivent être conformes à la norme **NF EN 1504-2 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton - Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 2 : systèmes de protection de surface pour le béton** et ne pas nuire à l'aspect esthétique des parements. Ils comprennent les antigraffiti, les hydrofuges de surface, les lasures.

Une surface non traitée est parfois irrécupérable.

Si des produits de protection sont prévus, ils ne doivent pas nuire à l'aspect esthétique des parements. Ils doivent être adaptés à la composition et à la texture des bétons. Le produit doit bénéficier d'une garantie d'efficacité.

Des échantillons, des tests d'efficacité et des essais de nettoyage sont à soumettre au maître d'œuvre et au maître d'ouvrage. Ils sont réalisés sur des bétons ayant au minimum 28 jours.

Les modes d'utilisation et d'entretien seront fournis.

L'efficacité sera limitée à (à préciser) :

- un nettoyage
- plusieurs nettoyages

Nombre minimal de nettoyages : (à préciser)

Durée d'efficacité du produit (dans les limites du nombre de nettoyages) : (à préciser)

Remarque

La teinte des parties traitées et non traitées ou traitées avec plusieurs produits réagit différemment.

14.1 Constituants

- **NF EN 197-1 (février 2001) :**
Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants. Amendement A1 (décembre 2004 – NF EN 197-1/A1).
- **NF P 15-318 (septembre 2006) :**
Liants hydrauliques – Ciments à teneur en sulfures limitée pour béton précontraint.
- **NF P 15-317 (septembre 2006) :**
Liants hydrauliques – Ciments pour travaux à la mer.
- **NF P 15-319 (septembre 2006) :**
Liants hydrauliques – Ciments pour travaux en eaux à hautes teneurs en sulfates
- **NF EN 459-1 (octobre 2002) :**
Chaux de construction – Définitions, spécifications et critères de conformité.
- **XP P 18-340 (décembre 1998) :**
Adjuvants – Adjuvants spéciaux pour bétons – Définitions, spécifications et critères de conformité.
- **FD P 18-542 (février 2004) :**
Granulats naturels courants pour bétons hydrauliques – Critères de qualification des granulats vis-à-vis de l'alcali-réaction.
- **NF EN 932-3 (décembre 1996) :**
Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 3 : Procédure et terminologie pour la description pétrographique simplifiée.
- **NF EN 934-2 et 934-2/A2 (septembre 2002) :**
Adjuvants pour béton, mortier et coulis – Partie 2 : Adjuvants pour béton – Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage.
- **NF EN 934-6 septembre 2002 :**
Adjuvants pour béton, mortier et coulis - Partie 6 : échantillonnage, contrôle et évaluation de la conformité.
- **NF EN 1008 (juillet 2003) :**
Eau de gâchage pour bétons. Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton.
- **NF EN 1097-2 (octobre 1998) :**
Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 2 : Méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation.
- **NF EN 1367-1 (août 2007) :**
Essais de détermination des propriétés thermiques et de l'altérabilité des granulats- Partie 1 : Détermination de la résistance au gel-dégel.
- **NF EN 13055-1 (décembre 2002) :**
Granulats légers – Partie 1 : granulats légers pour béton et mortier.
- **NF EN 13139 (janvier 2003) :**
Granulats pour mortier.

- **NF EN 12878 (septembre 2005) :**
Pigments de coloration des matériaux de construction à base de ciment et/ou de chaux – Spécifications et méthodes d'essai.
- **NF EN 12620 (août 2003) :**
Granulats pour béton.
- **XP P 18-545 (février 2004) :**
Granulats – Éléments de définition, conformité et codification.
- **XP P 18-576 (décembre 1990) :**
Granulats. Mesure du coefficient de friabilité des sables.
- **NF EN 933-8 (août 1999) :**
Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 8 : Évaluation des fines. Équivalent de sable.
- **NF P 18-501 (mars 1992) :**
Additions pour béton hydraulique – Fillers.
- **NF EN 15167-1 (septembre 2006) :**
Laitier granulé de haut-fourneau moulu pour utilisation dans le béton, mortier et coulis - Partie 1 : définitions, exigences et critères de conformité.
- **NF P 18-508 (juillet 1995) :**
Additions pour béton hydraulique – Additions calcaires – spécifications et critères de conformité.
- **NF P 18-509 (décembre 1998) :**
Additions pour béton hydraulique – Additions siliceuses – spécifications et critères de conformité.
- **NF EN 450-1+A1 (décembre 2007) :**
Cendres volantes pour béton – Partie 1 : Définitions, spécifications et critères de conformité.
- **NF EN 13263-1 :**
Fumée de silice pour béton – Partie 1 : Définitions, exigences et critères de conformité.
- **PR NF EN 13670 (mai 2007)**
Exécution des structures en béton.

14.2 Béton

- **NF EN 206-1 (avril 2004) :**
Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité. Deux amendements /A1 (avril 2005) et A2 (octobre 2005).
- **NF EN 13369 (juillet 2006) :**
Règles communes pour les produits préfabriqués en béton.
- **NF EN 14992 (juillet 2007) :**
Produits préfabriqués en béton – Éléments de mur.
- **FD P 18-011 (juin 1992) :**
Bétons – Classification des environnements agressifs (fascicule de documentation).
- **XP P 18-420 (juin 1995) :**
Bétons – Essais d'écaillage des surfaces de béton durci exposées au gel en présence d'une solution saline.
- **NF P 18-424 (mai 2008) :**
Bétons – Essais de gel sur béton durci – Gel dans l'eau – Dégel dans l'eau.
- **NF P 18-425 (mai 2008) :**
Bétons – Essais de gel sur béton durci – Gel dans l'air – Dégel dans l'eau.
- **FD P 18-503 (novembre 1989) :**
Surfaces et parements de béton – Éléments d'identification.
- **XP ENV 13670-1 (novembre 2002) :**
Exécution des ouvrages en béton – Partie 1 : tronc commun et document d'application nationale.
- **CEN TR 15739 (janvier 2009) :**
Produits préfabriqués en béton. Surface et parements en béton. Éléments d'identification.

14.3 Acier

- **NF A 35-015 (novembre 2007) :**
Aciers pour béton armé – Aciers soudables lisses – Barres et couronnes.
- **NF A 35-016-1 (novembre 2007) :**
Aciers pour béton armé – Aciers soudables à verrous – Partie 1 : Barres et couronnes.
- **NF A 35-016-2 (novembre 2007) :**
Aciers pour béton armé – Aciers soudables à verrous – Partie 2 : Treillis soudés.
- **NF A 35-017 (décembre 2007) :**
Aciers pour béton armé – Barres et couronnes non soudables à verrous.
- **NF A 35-019-1 (novembre 2007) :**
Aciers pour béton armé – Aciers soudables à empreintes – Partie 1 : Barres et couronnes.
- **NF A 35-019-2 (novembre 2007) :**
Aciers pour béton armé – Aciers soudables à empreintes – Partie 2 : Treillis soudés.
- **NF A 35-024 (décembre 2007) :**
Aciers pour béton armé – Treillis soudés de surface constitués de fils de diamètre inférieur à 5 mm.
- **NF A 35-027 (janvier 2003) :**
Produits en acier pour béton armé – Armatures.
- **NF A 35-030 (mars 2007) :**
Produits sidérurgiques – Barres crénelées à haute adhérence en acier pour poteaux en béton armé, supports de lignes aériennes.
- **NF A 35-035 (février 2001) :**
Produits en acier – Fils lisses et torons de précontrainte à 7 fils revêtus par immersion à chaud de zinc ou d'alliage zinc-aluminium.
- **NF A 35-049 (décembre 1984) :**
Barres et fils machine en acier d'usage général destinés à l'étirage – Nuances et qualités.
- **NF A 35-050 (juin 1986) :**
Produits sidérurgiques – Barres et fils machine destinés à l'étirage – Défauts de surface.
- **NF EN 12696 (juillet 2000) :**
Protection cathodique de l'acier dans le béton.
- **NF EN 10080 (septembre 2005) :**
Aciers pour l'armature du béton - Aciers soudables pour béton armé - Généralités.

14.4 Produits de protection et de réparation

- **XP P 18-840 (septembre 1993) :**

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 EN 1504-3 (février 2006) :**

Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 3 : Réparation structurale et réparation non structurale.

- **NF EN 1504-2 (avril 2005) :**

Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton - Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 2 : systèmes de protection de surface pour le béton.

- **NF EN 1504-10 (avril 2004) :**

Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 10 : Application sur site des produits et systèmes et contrôle de la qualité des travaux.

- **NF P 95-101 (novembre 1993) :**

Ouvrages d'art – Réparation et renforcement des ouvrages d'art en béton et en maçonnerie – Reprise du béton dégradé superficiellement – Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.

- **NF P 95-102 (avril 2002) :**

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 (juin 1993) :**

Ouvrages d'art – Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie – Traitement des fissures et protection du béton – Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés.

- **NF P 95-104 (décembre 1992) :**

Ouvrages d'art – Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie – Spécifications relatives à la technique de la précontrainte additionnelle.

- **NF P 95-106 (août 1993) :**

Ouvrages d'art – Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie – Spécifications relatives aux fondations des ouvrages.

14.5 DTU, Recommandations,...

- **DTU 21 (NF P18-201) (mars 2004) :**
Travaux de bâtiment – Exécution des ouvrages en béton – Cahier des clauses techniques (Indice de classement : P18-201).
- **DTU 22.1 (NF P10-210-1) (juin 1980) :**
Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire – Mémento pour la conception des ouvrages + Erratum (septembre 1980) + Additif 1 (octobre 1984).
- **DTU 23.1 (NF P18-210/GUI) (février 1990) :**
Murs en béton banché – Guide pour le choix des types de murs de façade en fonction du site.
- **DTU 42.1 (NF DTU 42.1 P 1-2) (novembre 2007) :**
Travaux de bâtiment - Réfection de façades en service par revêtements d'imperméabilité à base de polymères - Partie 1-1 : cahier des clauses techniques - Partie 1-2 : critères généraux de choix des matériaux - Partie 2 : cahier des clauses spéciales - Référence commerciale des parties P1-1, P1-2 et P2 du NF DTU 42.1 de novembre 2007 - Indice de classement : P84-404
- **DTU 44.1 (NF P85-210-1) (février 2002) :**
Travaux de bâtiment – Étanchéité des joints de façade par mise en œuvre de mastics – Partie 1 : Cahier des clauses techniques (Indice de classement : P85-210-1).
- **DTU 55.2 (NF P65-202-2) (octobre 2000) :**
Travaux de bâtiment – Marchés privés – Revêtements muraux attachés en pierre mince – Partie 2 : Cahier des clauses spéciales (Indice de classement : P65-202-2).
- **DTU 55.2 (NF P65-202-1) (octobre 2000) :**
Travaux de bâtiment – Revêtements muraux attachés en pierre mince – Partie 1 : Cahier des clauses techniques (indice de classement : P65-202-1).
- **DTU 59.1 (NF P74-201-1) (octobre 1994) :**
Peinture – Travaux de peinture des bâtiments – Partie 1 : Cahier des clauses techniques + Amendement A1 (octobre 2000) (Indice de classement : P74-201-1).
- **DTU 59.1 (NF P74-201-2) (octobre 1994) :**
Peinture – Marchés privés – Travaux de peinture des bâtiments – Partie 2 : Cahier des clauses spéciales + Amendement A1 (octobre 2000) (Indice de classement : P74-201-2).
- **Eurocode 2 (NF EN 1992-1-1) (octobre 2005):**
Calculs des structures en béton.
- **Règles BAEL 91 révisées 99 (DTU P18-702) (mars 1992) :**
Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites (Fascicule 62, titre 1 du CCTG Travaux section 1 : béton armé) + Amendement A1 (CSTB février 2000 ISBN 2 86891 281 8).
- **Règles BPEL 91 (DTU P18-703) (avril 1992) :**
Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton précontraint selon les méthodes des états limites (Fascicule 62, titre 1 du CCTG Travaux section 2 : béton précontraint) + Amendement A1 (Cahiers du CSTB n° 2578 et 3193, février 2000).
- **Fascicule n° 65 (mars 2008) :**
Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou en béton précontraint. Cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux.
- **Livret IN 0034 de la SNCF (ex. Livret 2.21)**
C.P.C. « Exécution des ouvrages en béton armé et en béton précontraint ».
- **Réparation des parements en béton :**
Produits et techniques actuels (note technique 1985) LCPC.

- Guide technique « Choix et application des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton » LCPC/Sétra.
- Choix et application des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton – Guide technique (août 1996) LCPC/Sétra.
- LCPC : Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne (août 2007)
- LCPC : Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction (juin 1994)
- LCPC : Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel (décembre 2003)
- Sétra : Guide pour la rédaction des pièces écrites des marchés – Préventions des désordres dus à l'alcali-réaction (juin 1996).
- Mode opératoire AFREM pour mesurer les concentrations en chlorures.
- Réparation des structures en béton fissuré par injections de liants époxydiques (1979), LCPC.
- Guide technique Résistance du béton dans l'ouvrage. La maturométrie, LCPC (mars 2003).
- Directives UEATc communes pour l'agrément des procédés de construction pour grands panneaux lourds préfabriqués.
- Cahier du CSTB n° 2159 - Prescriptions techniques communes aux procédés de mur ou de gros œuvre du groupe spécialisé n° 1.
- Liste AFNOR Certification : certification des fabrications admises à la marque NF – Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique.
- AFNOR Certification : liste des carrières ayant des produits certifiés (www.marque-nf.com/download/produits/FR/NF041.pdf) liée à la marque granulats NF041.
- AFNOR Certification - Liste des ciments à la marque NF-Liants hydrauliques – (NF 002).
- La surveillance et l'entretien des ouvrages d'art communaux (publié dans Démocratie locale, supplément au n° 18 de mars 1981, Ministère Intérieur/Équipement).
- AFGC/SETRA : Guide des recommandations provisoires permettant la justification des ouvrages en BFUP (béton fibrés à ultra-hautes performances).
- AFGC (association française de génie civil) – recommandations dans le cadre du projet BAP (béton auto plaçant).
- Les sols finis en béton, 2005 - Bétocib.
- Recommandations SNJF — Syndicat national des joints et façades pour la réalisation des joints de bâtiment.

Organismes professionnels

ADEME

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
27 rue Louis Vicat – 75737 Paris Cedex 15
Tél. : 01 47 65 20 00 – Fax : 01 46 45 52 36
Site Web : www.ademe.fr

ADIVET

Association des Toitures Végétales
41, rue Saint Georges – 75009 PARIS
Tél. : 09 64 48 92 35 – Fax : 01 45 26 67 59
Site Web : www.adivet.net
E-mail : contact@adivet.net

AFGC

Association Française de Génie Civil
28 rue des Saint-Pères – 75007 Paris
Tél. : 01 44 58 24 70 – Fax : 01 44 58 24 79
Site Web : www.afgc.asso.fr

GROUPE AFNOR

Groupe Association Française de Normalisation
11 rue Francis de Pressensé – 93571 La Plaine Saint-Denis cedex
Tel. : 01 41 62 80 00 – Fax : 01 49 17 90 00
Site Web : www.afnor.fr
E-mail : norminfo@afnor.org

AOCDTF

Association Ouvrière des Compagnons du Devoir du Tour de France
82 rue de l'Hôtel de Ville – 75180 Paris cedex 04
Tél. : 01 44 78 22 50 – Fax : 01 42 71 10 19
Site Web : www.compagnons-du-devoir.com
E-mail : compagnons@compagnons-du-devoir.com

AQC

Agence Qualité Construction
9 boulevard Malesherbes – 75008 Paris
Tel. : 01.44 51 03 51 – Fax : 01 47 42 81 71
Site Web : www.qualiteconstruction.com
E-mail : aqc@qualiteconstruction.com

Association HQE

Association Haute Qualité Environnementale
4, avenue du Recteur Poincaré – 75016 Paris
Tél. : 01 40 47 02 82 – Fax : 01 40 47 04 88
Site Web : www.assohqe.org

ATILH

Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques
7 place de La Défense – 92974 Paris-la-Défense cedex
Tél. : 01 55 23 01 30 – Fax : 01 49 67 10 46
Site Web : www.infociments.fr
E-mail : atilh@atilh.fr

CAPEB

Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment
2 rue Béranger – 75003 Paris
Tel. : 01 53 60 50 00 – Fax : 01 45 82 49 10
Site Web : www.capeb-paris.com
E-mail : info@capeb-paris.com

CEBTP-SOLEN

Centre d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics
12 avenue Gay Lussac – ZAC La Clef Saint-Pierre – 78990 Élancourt
Tel. : 01.30.85.24.00 – Fax : 01 30 85 24 30
Site Web : www.cebtp.fr
E-mail : info@cebtp.fr

CERIB

Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton
1 rue des Longs Réages – BP 30059 – 28231 Épernon
Tel. : 02.37.18.48.00 – Fax : 02 37 83 67 39
Site Web : www.cerib.com
E-mail : cerib@cerib.com

CERTU

Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions Publiques
9 rue Juliette-Récamier – 69456 Lyon cedex 06
Tel. : 04.72.74.58.00 – Fax : 04 72 74 59 00
Site Web : www.certu.fr
E-mail : servdoc@certu.fr

CIMBÉTON

Centre d'Information sur le Ciment et ses Applications
7 place de La Défense – 92974 Paris-la-Défense cedex
Tél. : 01 55 23 01 00 – Fax : 01 55 23 01 10
Site Web : www.infociments.fr
E-mail : centrinfo@cimbeton.net

CNATP

Chambre Nationale de l'Artisanat, des Travaux Publics, des Paysagistes et des Activités Annexes
2 bis rue Béranger – 75003 Paris
Tél. : 01 53 60 51 70 – Fax : 01 53 60 51 71
Site Web : www.cnatp.org
E-mail : cnatp@cnatp.org

CNOA

Conseil National de l'Ordre des Architectes
Tour Maine Montparnasse – 33 avenue du Maine – BP 154 – 75015 Paris
Tél. : 01 56 58 67 00 – Fax : 01 56 58 67 01
Site Web : www.architectes.org

CSTB

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
84 avenue Jean-Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2
Tel. : 01 64 68 82 82 – Fax : 01 60 05 70 37
Site Web : www.cstb.fr

FFB

Fédération Française du Bâtiment
10 rue du Débarcadère – 75852 Paris cedex 17
Tel. : 01.40.55 10 00 – Fax : 01 45 74 12 47
Site Web : www.parisidf.ffbatiment.fr
E-mail : contact@ffb-paris-idf.fr

FIB

Fédération de l'Industrie du Béton
23 rue de la Vanne – 92120 Montrouge
Tél. : 01.49.65.09.09 – Fax : 01.49.65 08 61
Site Web : www.fib.org
E-mail : fib@fib.org

FNTP

Fédération Nationale des Travaux Publics
3 rue de Berri – 75008 Paris
Tél. : 01.44.13.31.44 – Fax : 01 45 61 04 47
Site Web : www.fnftp.fr
E-mail : infos@fnftp.fr

IUMP

Institut Universitaire des Métiers du Bâtiment et de Formation aux Techniques du Patrimoine
Rue Saint-Martin-ès-Aires – 10000 Troyes
Tél. : 03 25 80 74 09 – Fax. : 03 25 76 13 03
Site Web : www.iump.fr
E-mail : contact@iump.fr

LCPC

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
58 Boulevard Lefebvre – 75732 Paris cedex 15
Tél. : 01.40.43.50.00 – Fax : 01 40 43 54 98
Site Web : www.lcpc.fr

LRMH

Laboratoire de Recherches des Monuments Historiques
29 rue de Paris – 77420 Champs-sur-Marne
Tél. : 01.60.37.77.80 – Fax : 01.60.37.77.99
Site Web : www.lrmh.culture.fr
E-mail : infos@lrmh.fr

QUALITEL

136 boulevard Saint-Germain – 75006 Paris
Tél. : 01 42 34 53 00
Site Web : www.qualitel.org
E-mail : caly@qualitel.org

SETRA

46 avenue Aristide Briand – BP 100 – 92225 Bagneux Cedex
Tél. : 01 46 11 31 31 – Fax : 01 46 11 31 69
Site Web : www.setra.equipement.gouv.fr
E-mail : setra@equipement.gouv.fr

SNPB

Syndicat National du Pompage du Béton
3 rue Alfred Roll – 75849 Paris Cedex 17
Tél. : 01 44 01 47 01 – Fax : 01 44 01 47 47
Site Web : www.snpb.org – E-mail : snpb@snpb.org

SNBPE

Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi
3 rue Alfred Roll – 75849 Paris Cedex 17
Tel. : 01.44.01.47.01
Site Web : www.snbpe.org
E-mail : snbpe@snbpe.org

SFJF

Syndicat Français des Joints & Façades
6-14, rue de la Pérouse – 75784 Paris Cedex 16
Tél. : 01 56 62 10 03 – Fax : 01 56 62 10 01
E-mail : info@sfjf.ffbatiment.fr

STRESS

Syndicat National des Entrepreneurs spécialistes de Travaux de Réparation et de Renforcement de Structures
3 rue de Berri – 75008 Paris
Tél. : 01 44 13 31 44 – Fax : 01 45 61 04 47
Sites Web : www.fntp.fr – www.metier-tp.com

SYNAD

Syndicat National des Adjuvants pour Bétons et Mortiers
3 rue Alfred Roll – 75849 Paris Cedex 17
Tel. : 01.44.01.47.01 – Fax : 01 44 01 47 47
Site Web : www.synad.fr
E-mail : synad@unicem.fr

UMGO

Union de la Maçonnerie et du Gros œuvre
7 rue La Pérouse – 75784 Paris cedex 16
Tél. : 01.40.69.51.59 – Fax : 01 47 20 06 62
Site Web : www.umgo.ffbatiment.fr
E-mail : contact@umgo.ffbatiment.fr

UNESI

Union National des Entrepreneurs de Sols Industriels
7 rue La Pérouse – 75784 Paris cedex 16
Tél. : 01 40 69 51 54 – Fax : 01 47 20 06 62
Site Web : www.unesi.ffbatiment.fr
E-mail : unesi@unesi.ffbatiment.fr

UNICEM Ile-de-France

3 rue Alfred Roll – 75017 Paris

Tél. : 01 44 01 47 23 – Fax : 01 44 47 18

Site Web : www.unicem.fr

E-mail : iledefrance@unicem.fr

UNPG

Union Nationale des Producteurs de Granulats

3 rue Alfred Roll – 75849 Paris cedex 17

Tél. : 01 44 01 47 01 – Fax : 01 46 22 59 74

Site Web : www.unpg.fr

E-mail : unpg@unicem.fr

UNSF

Union Nationale des Syndicats Français d'Architectes

10 rue Bertin Poirée – 75001 Paris

Tél. : 01.45.44.58.45 – Fax : 01 45 44 93 68

Site Web : www.unsfa.com

E-mail : contact@unsfa.com