

BETOCIB

**LES BETONS
A BASE DE CIMENT BLANC**

Prescriptions techniques

Edition 2000



7, place de la Défense - La Défense 4
92974 PARIS LA DEFENSE CEDEX
Tél. : 01 55 53 01 15 - Fax : 01 55 23 01 16

LES BETONS A BASE DE CIMENT BLANC

Prescriptions Techniques

Édition 2000

Ont participé à cet ouvrage :

ABOUCAYA Jean-Luc	LAFARGE BETONS
AURY Jean-Pierre	CONSULTANT BETON
BARYLO Pascal	GSM
BEQUET Anne Claire	CHRYSO
BLAISE Georges	Lafarge Ciments
BLANQUER Alain	DOERKEN-FRANCE S.A.
BONNET Alain	ATILH
BOURDETTE Béatrice	CIMENTS CALCIA
CORVIOLE Armand	ARENA
DELABRECHE Bernard	PIERI
DELORT Michel	ATILH
DESALEUX Olivier	ARCHITECTE
DUGUET Patrick	ARCHITECTE
EBNER Christel	SIKA
FELIOT Jocelyne	BETOCIB
FOUCARD Hervé	AIVP
GAUDRE Albert	AOCDTF
GINDRE François	EPI
GUERINET Michel	EIFFAGE
HUREZ Marcel	CERIB
KAHANE Daniel	ARCHITECTE
LOQUIN Jacques	ATILH
NICOLI Serge	THOMANN HANRY
PICARDAT Jean-François	MAITRE D'ŒUVRE
PROVOST Christian	CHP
RATTIN André	LEON GROSSE
TESTEVIDE Jean Louis	AOCDTF
TRINH Jacques-Long	CETEN APAVE
TRUDEL Alain	AXIM
VERACHTEN Roberto	GSM
VIDEGRAIN Pierre	SNCF
BOUCHARD Anne	SECRETARIAT DE REDACTION

BETOCIB remercie CIMBETON pour sa contribution aux illustrations, et Béatrice ROCHEFORT pour son attentive collaboration.

Préface

Le béton clair conjugue qualité architecturale, durabilité et résistance. Son emploi ne présente plus de difficultés techniques ni de dépenses trop élevées. Son utilisation se développe et se diversifie ; de nombreuses réalisations, modestes ou prestigieuses, démontrent ses multiples possibilités, ses innovations et ses performances.

Depuis une vingtaine d'années, la Commission technique de BETOCIB, avec l'appui des adhérents experts dans toutes les techniques de production et de mise en œuvre du béton, a pour objectif de donner des recommandations et de faire connaître ses dernières évolutions. Cimentiers, carriers, fournisseurs de produits, préfabricants, entreprises, architectes, plasticiens et ingénieurs ont patiemment échangé leur savoir et leur expérience pour continuer à progresser dans la maîtrise du matériau et du chantier.

Ce *Cahier des prescriptions techniques* – édition 2000 – est dans la continuité des versions précédentes (1973, 1984, 1988, 1994). Il ne reprend pas l'ensemble des réglementations mais vient en complément de celles-ci pour apporter des précisions liées aux spécificités du béton de ciment blanc. En outre, il prend en compte les nouveaux matériaux et technologies ainsi que les remarques des principaux utilisateurs : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, économistes, entreprises.

Nous souhaitons que ce document soit un outil de travail efficace, permettant à chacun d'améliorer sa pratique, et qu'il soit aussi un ouvrage de réflexion, incitant chacun à l'innovation et à la créativité.

Daniel KAHANE,
Architecte
Président de BETOCIB

Sommaire

<i>Ont participé à cet ouvrage :</i>	1
<i>Préface</i>	II
<i>Introduction</i>	9
1. CONSTITUANTS	10
1.1. CIMENT BLANC	10
1.2. GRANULATS ET FILLERS	10
1.2.1. <i>Généralités</i>	10
1.2.2. <i>Caractéristiques des granulats</i>	11
1.2.2.1. Caractéristiques intrinsèques des granulats	11
1.2.2.2. Caractéristiques de fabrication des granulats	13
1.2.2.3. Critères de conformité des granulats	15
1.2.2.4. Critères de prescription des granulats	15
1.2.3. <i>Fillers</i>	16
1.2.3.1. Correction granulaire	16
1.2.3.2. Coloration	16
1.3. ADDITIONS POUR BÉTON HYDRAULIQUE DE CIMENT BLANC	17
1.4. PIGMENTS DE COLORATION	17
1.4.1. <i>Définition</i>	17
1.4.2. <i>Qualités et propriétés des pigments pour bétons apparents</i>	17
1.4.3. <i>Différentes variétés de pigments</i>	17
Pigments de synthèse	18
Pigments naturels	18
1.4.4. <i>Paramètres intervenant dans la coloration</i>	18
1.4.5. <i>Choix et définition des teintes</i>	18
1.4.6. <i>Mise en œuvre des pigments</i>	19
1.5. ADJUVANTS	19
1.5.1. <i>Introduction</i>	19
1.5.2. <i>Différentes familles d'adjuvants</i>	20
1.5.2.1. Modification du comportement du béton frais	20
1.5.2.2. Modification de la prise et du durcissement	20
1.5.2.3. Modification du comportement du béton durci	21
1.5.2.4. Familles d'adjuvants à effets spécifiques	21
1.5.3. <i>Choix des adjuvants pour les bétons colorés</i>	21
1.5.4. <i>Recommandations</i>	21
1.6. EAU DE GÂCHAGE	22
2. ARMATURES	24
2.1. GÉNÉRALITÉS	24
2.2. NATURE	24
2.3. MISE EN PLACE	25
2.3.1. <i>Cales</i>	25
2.3.2. <i>Suspentes</i>	26
2.3.3. <i>Passages d'armatures</i>	26
2.3.4. <i>Dispositions vis-à-vis du bétonnage</i>	26
2.4. PROTECTION	26

3.	COFFRAGES ET MOULES.....	27
3.1.	GÉNÉRALITÉS.....	27
3.2.	POUSSÉE DU BÉTON.....	27
3.3.	MATIÈRE DES PEAUX DE COFFRAGE.....	28
3.3.1.	<i>Acier.....</i>	29
3.3.2.	<i>Bois massif.....</i>	29
3.3.3.	<i>Contreplaqué.....</i>	29
3.4.	ÉTANCHÉITÉ DES COFFRAGES ET DES MOULES.....	29
3.5.	CALEPINAGE – MODÉNATURE.....	30
3.6.	PROPRETÉ DES MOULES ET DES COFFRAGES.....	30
3.7.	PRODUITS DE DÉCOFFRAGE ET DE DÉMOULAGE.....	31
3.7.1.	<i>Huiles et émulsions.....</i>	32
3.7.2.	<i>Effet physico-chimique.....</i>	32
3.7.3.	<i>Cires.....</i>	32
3.7.4.	<i>Produits à double effet (décoffrant et désactivant).....</i>	33
4.	ASPECTS DE SURFACE.....	34
4.1.	ÉTATS DE SURFACE.....	34
4.1.1.	<i>Surfaces brutes.....</i>	34
4.1.2.	<i>Surfaces traitées.....</i>	35
4.1.3.	<i>Surfaces revêtues.....</i>	36
4.2.	COULEUR DES CONSTITUANTS APPARENTS.....	36
4.2.1.	<i>Couleur du liant.....</i>	36
4.2.2.	<i>Couleur des granulats.....</i>	36
4.2.3.	<i>Pigments de coloration.....</i>	36
5.	FORMULATION, FABRICATION ET TRANSPORT.....	37
5.1.	CHOIX DES CONSTITUANTS.....	37
5.1.1.	<i>Ciment blanc.....</i>	37
5.1.2.	<i>Sables.....</i>	37
5.1.3.	<i>Gravillons.....</i>	37
5.1.4.	<i>Additions, fillers, pigments.....</i>	37
5.1.5.	<i>Adjuvants du béton.....</i>	38
5.2.	OBJECTIFS DE LA FORMULATION ET PROCESSUS DE VALIDATION.....	38
5.2.1.	<i>Bétons Prêts à l'Emploi destinés à être coulés en place.....</i>	38
5.2.2.	<i>Bétons préfabriqués.....</i>	38
5.3.	FABRICATION.....	38
5.3.1.	<i>Stockage des constituants.....</i>	38
5.3.2.	<i>Pesage des constituants minéraux.....</i>	39
5.3.3.	<i>Quantité d'eau de gâchage.....</i>	39
5.3.4.	<i>Malaxage.....</i>	39
5.3.5.	<i>Contrôles et essais en cours de réalisation.....</i>	39
5.4.	TRANSPORT DU BÉTON FRAIS ET MISE EN PLACE.....	39
6.	MISE EN ŒUVRE.....	40
6.1.	BÉTON COULÉ EN PLACE.....	40
6.1.1.	<i>Méthode de coulage.....</i>	40
6.1.2.	<i>Bétons sans vibration : autoplaçant et autonivelant.....</i>	40
6.1.3.	<i>Vibration (coulage traditionnel).....</i>	41
6.1.3.1.	<i>Vibrateurs internes.....</i>	41
6.1.3.2.	<i>Vibrateurs externes.....</i>	41
6.1.3.3.	<i>Paramètres de la vibration.....</i>	42
6.1.3.4.	<i>Règles pratiques.....</i>	42
6.1.4.	<i>Contrôle après coulage.....</i>	43
6.2.	BÉTON PRÉFABRIQUÉ.....	43
6.2.1.	<i>Préparation avant fabrication.....</i>	43
6.2.2.	<i>Préparation du béton.....</i>	44
6.2.3.	<i>Transport du béton.....</i>	44
6.2.4.	<i>Mise en place du béton.....</i>	44

7. DURCISSEMENT	45
7.1. MATUROMÉTRIE	45
7.2. TRAITEMENT THERMIQUE.....	45
8. DÉCOFFRAGE – DÉMOULAGE – CURE	50
8.1. GÉNÉRALITÉS	50
8.2. DÉCOFFRAGE DU BÉTON COULÉ EN PLACE.....	50
8.2.1. <i>A quel moment ?</i>	50
8.2.2. <i>Précautions</i>	50
8.2.3. <i>Contrôle visuel, traitement éventuel</i>	51
8.2.4. <i>Nettoyage du coffrage</i>	51
8.2.5. <i>Protection de l'ouvrage coulé</i>	51
8.3. DÉMOULAGE DU BÉTON PRÉFABRIQUÉ.....	51
8.4. CURE.....	52
9. CONDITIONS DE RÉCEPTION	53
9.1. COULÉ EN PLACE.....	53
9.1.1. <i>Tolérances dimensionnelles</i>	53
9.1.2. <i>Tolérances d'aspect</i>	54
9.1.3. <i>Durabilité</i>	55
9.2. PRÉFABRICATION	56
9.2.1. <i>Tolérances dimensionnelles</i>	56
9.2.2. <i>Tolérances d'aspect</i>	57
9.2.3. <i>Durabilité</i>	58
9.2.4. <i>Marquage</i>	59
9.2.5. <i>Réception en usine</i>	59
9.2.6. <i>Réception sur chantier</i>	59
10. JOINTS D'ÉTANCHÉITÉ EN FAÇADE	60
10.1. GÉNÉRALITÉS	60
10.1.1. <i>Définition</i>	60
10.1.2. <i>Sollicitations</i>	60
10.2. PRODUITS DE CALFEUTREMENT ET SYSTÈMES D'ÉTANCHÉITÉ.....	60
10.2.1. <i>Joint s souples</i>	61
10.2.2. <i>Joint s mécaniques</i>	61
10.3. TYPES DE JOINTS	61
10.4. DIMENSIONNEMENT DU JOINT.....	62
10.4.1. <i>Joint s horizontaux</i>	62
10.4.2. <i>Joint s verticaux</i>	62
10.5. MISE EN ŒUVRE.....	62
11. DURABILITÉ DES PAREMENTS EN BÉTON	63
11.1. PROTECTION, ENTRETIEN ET RAVALEMENT.....	63
11.1.1. <i>Cf. Protection et entretien des bétons clairs (Annexe au CPT), BETOCIB</i>	63
11.1.2. <i>Gommage</i>	63
11.2. RÉPARATION.....	63
11.2.1. <i>Observation et diagnostic</i>	63
11.2.2. <i>Traitement des dégradations courantes</i>	64
11.2.2.1. <i>Fissures</i>	64
11.2.2.2. <i>Béton soumis aux cycles gel/dégel</i>	65
11.2.2.3. <i>Nids de cailloux</i>	65
11.2.2.4. <i>Bullage</i>	66
11.2.2.5. <i>Efflorescences</i>	66
11.2.2.6. <i>Salissures et taches</i>	66
11.2.2.7. <i>Alcali-réaction</i>	66
11.2.2.8. <i>Corrosion des aciers sous l'action de la carbonatation ou des chlorures</i>	67

12.	DOCUMENTS ET TEXTES DE RÉFÉRENCE.....	68
13.	DESCRIPTIF TYPE.....	70
13.1.	ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS	70
13.1.1.	<i>Textes de référence.....</i>	70
13.1.2.	<i>Étendue de la prestation.....</i>	71
13.1.3.	<i>Choix du préfabricant.....</i>	71
13.1.4.	<i>Conception des éléments.....</i>	71
13.1.5.	<i>Parements.....</i>	71
13.1.6.	<i>Tolérances dimensionnelles.....</i>	72
13.1.7.	<i>Choix des constituants du béton.....</i>	73
13.1.8.	<i>Armatures et inserts.....</i>	74
13.1.9.	<i>Assemblages et joints d'étanchéité.....</i>	75
13.1.10.	<i>Réalisation des éléments.....</i>	75
13.1.11.	<i>Marquage.....</i>	76
13.1.12.	<i>Stockage des éléments.....</i>	77
13.1.13.	<i>Transport et livraison.....</i>	77
13.1.14.	<i>Réception à l'arrivée sur chantier.....</i>	77
13.1.15.	<i>Manutention et stockage sur chantier.....</i>	77
13.1.16.	<i>Mise en place des éléments.....</i>	77
13.1.17.	<i>Protection après pose.....</i>	78
13.1.18.	<i>Reprises, ragréages et rebouchages.....</i>	78
13.1.19.	<i>Antigraffiti et autres produits de protection.....</i>	78
13.2.	BÉTONS COULÉS EN PLACE	78
13.2.1.	<i>Généralités.....</i>	78
13.2.2.	<i>Textes de référence.....</i>	78
13.2.3.	<i>Étendue de la prestation.....</i>	79
13.2.4.	<i>Définitions.....</i>	79
13.2.5.	<i>Composition du béton.....</i>	82
13.2.6.	<i>Échantillons et prototypes.....</i>	83
13.2.7.	<i>Mise en œuvre.....</i>	83
13.2.8.	<i>Contrôle.....</i>	84
13.2.9.	<i>Protections des bétons.....</i>	84
13.2.10.	<i>Antigraffiti.....</i>	84
14.	INDEX.....	85
15.	BIBLIOGRAPHIE.....	87
16.	LISTE DES ORGANISMES.....	89

Introduction

Vers les années trente, pour la première fois, sous l'impulsion de l'architecte Perret, le ciment superblanc a été utilisé pour sa teinte en élément de structure apparent. En 1955 fut obtenue l'assimilation du ciment blanc aux autres liants hydrauliques ainsi que sa normalisation sous la dénomination « Ciment Superblanc ». Depuis il est officiellement classé comme un Portland classique.

Le ciment blanc est employé pour réaliser les types de béton suivants :

- Béton blanc
Le béton est considéré comme blanc lorsque l'ensemble de ses composants sont blancs.
- Béton clair à base de ciment blanc
Il est constitué de ciment blanc et de granulats de teinte claire, sans ajout de pigments de coloration.
- Béton coloré
Sa teinte dépend de celle des sables, granulats et pigments de coloration utilisés.

La teinte du béton découle de celle des éléments fins (ciment, sables, pigments de coloration) lorsqu'il est brut, et principalement de ses gravillons lorsqu'il est traité.

Par ailleurs, d'autres ciments que les ciments blancs permettent de réaliser des bétons de teinte claire, non traités dans ce document.

1. Constituants

1.1. Ciment blanc

Le ciment blanc doit être conforme aux spécifications de la norme NFP 15-301. *Liants hydrauliques - Ciments courants - Composition, spécifications et critères de conformité*, qui définit principalement les différents types de ciment, les constituants, les classes de résistance et les valeurs limites garanties (elle sera prochainement remplacée par la norme européenne NF EN 197-1).

La blancheur de ces ciments est due à la réduction maximale des minéraux colorants (oxydes métalliques, etc.) dans les matières premières utilisées et à un processus de fabrication spécifique. La blancheur n'est pas une caractéristique garantie par la norme des ciments mais néanmoins le producteur s'engage en général à garantir un niveau de blancheur à ses clients.

Les nouvelles désignations des normes européennes et françaises sont identiques pour les ciments blancs à celles des autres ciments :

- CEM I pour les ciments Portland
- CEM II pour les ciments Portland composés
- Classes de résistance : 32,5 – 42,5 – 52,5

1.2. Granulats et fillers

1.2.1. Généralités

Le granulats est un ensemble de grains minéraux appelés fillers, sablons, sables, graves et gravillons suivant leurs dimensions comprises entre 0 mm et 125 mm.

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

Familles de granulats		
Familles	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	0/D	$D < 2 \text{ mm}$ avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm
Sablons	0/D	$D \leq 1 \text{ mm}$ avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm
Sables	0/D	$1 \text{ mm} < D \leq 6,3 \text{ mm}$
Graves	0/D	$D > 6,3 \text{ mm}$
Gravillons	d/D	$d \geq 1 \text{ mm}$ et $D \leq 125 \text{ mm}$
Ballasts	d/D	$d \geq 25 \text{ mm}$ et $D \leq 50 \text{ mm}$

Plus de 70% en poids du béton est constitué de granulats. Ce sont des composants majeurs de l'ouvrage puisqu'ils conditionnent sa résistance mécanique et son aspect visuel, qui peut être primordial pour l'esthétisme de l'ouvrage.

Les performances mécaniques, esthétiques et de durabilité recherchées sont déterminantes dans le choix des granulats.

Tous les granulats courants (masse volumique réelle $> 2 \text{ t/m}^3$) doivent satisfaire à la norme XP P 18-540. *Granulats – Définitions, conformité, spécifications.*

Les granulats légers naturels (masse volumique réelle $< 2 \text{ t/m}^3$) ou artificiels ne seront employés qu'après essai préalable et avec l'assistance technique du fournisseur.

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 18-540 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 en général à la qualité de la roche exploitée : résistance mécanique, masse volumique réelle, absorption d'eau, dureté, résistance au polissage, etc.

a) Résistance mécanique

La résistance mécanique du béton est bien entendu fortement liée à la résistance mécanique 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 élevé, moins le gravillon est résistant. Pour confectionner du béton, le coefficient LA doit être inférieur à 40.

b) 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. On en tient compte dans la formulation. Le coefficient Ab doit être inférieur à 6 % pour les granulats destinés aux bétons hydrauliques, qu'il s'agisse d'un sable ou d'un gravillon ; et inférieur ou égal à 5 % pour les bétons vibrés ; cette valeur doit être notablement réduite pour les bétons autoplaçants.

c) Sensibilité au gel

Les gravillons utilisés dans la confection des ouvrages en bétons hydrauliques ne doivent pas être gélifs pour des raisons évidentes de pérennité.

Le gravillon est considéré comme non gélif si au moins l'une des trois valeurs suivantes est respectée :

- coefficient d'absorption d'eau du gravillon..... $Ab \leq 1 \%$
- coefficient Los Angeles..... $LA \leq 25$
- sensibilité au gel..... $G \leq 30$

d) Réactivité aux alcalis

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

Cette réaction est très lente mais elle se produit au cœur du béton aussi bien qu'à sa périphérie, et 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 présence de silice réactive dans les granulats ;
- la teneur élevée en alcalin dans le béton ;
- un environnement humide.

Le ministère de l'Équipement 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, d'« admissible » à « inacceptable » ;
- caractérisation de l'environnement, de « sec » à « marin avec gel » ;
- choix des déterminations à effectuer sur la silice des granulats ou sur le béton : réaction aux alcalins, performances, références locales d'emploi.

Il est précisé que si le niveau de prévention requis est le plus élevé, c'est sur la qualité des granulats que devra porter toute l'attention. Le producteur de granulats doit alors fournir à tout utilisateur une, au moins, des garanties exigées par la circulaire du ministère de l'Équipement vis-à-vis de l'alcali-réaction.

De même, et pour les niveaux de prévention inférieurs, les fournisseurs de ciment ou d'adjuvants peuvent être amenés à donner les résultats statistiques des teneurs de leurs produits en K_2O et Na_2O .

Les granulats sont désignés comme étant non réactifs (NR) 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) : voir la norme XP P 18 - 540. Dans ces deux cas, il est nécessaire d'effectuer une étude de formulation du béton afin de valider le risque d'alcali-réaction.

Une formulation de béton peut être améliorée par des additions minérales à fort pouvoir pouzzolanique (cendres volantes, fumées de silice, pouzzolanes naturelles ou artificielles) ou dont l'hydratation libère peu de chaux (laitiers). Pour juger de l'efficacité des ajouts minéraux sur la réactivité d'un béton, on aura souvent recours à un essai de gonflement accéléré.

e) *Soufre total/Sulfates /Chlorures*

Les granulats peuvent contenir de faibles quantités de sulfates et de sulfures sous réserve que leur teneur en soufre total S n'excède pas 0,4 % en masse. La teneur en sulfates (SO_3) doit être inférieure à 0,2 %. On la détermine si S est supérieure à 0,08 %.

La teneur en chlorures est à communiquer si elle est supérieure à 0,02 %.

f) *Couleur des granulats*

La couleur du granulat doit être spécifiée à la commande. Elle doit être uniforme et régulière (voir 4.2.2.).

Les producteurs de granulats de BETOCIB ont défini une charte selon laquelle ils s'engagent à respecter les règles de l'art en matière de qualité – conformité aux normes –, suivie d'un plan d'assurance qualité.

1.2.2.2. Caractéristiques de fabrication des granulats

Elles résultent des conditions de fabrication : granularité, angularité (indice de concassage), propreté des sables, aplatissement, propreté superficielle des gravillons, etc.

a) Granularité

Il s'agit de la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. Elle est déterminée par une analyse granulométrique qui fait l'objet d'une représentation graphique.

- Comment lire une courbe ? Voir la norme XP P 18-540.

Granularité d'un gravillon d/D pour bétons hydrauliques :

Pas de refus au tamis de $2 \times D$.

1% maximum de refus au tamis de $1,58 D$.

Au tamis de D : la variation maximale sera de 15 % avec au moins 90% de passant et au plus 99 %.

Au tamis de $(d+D)/2$ si $D \geq 2,5 d$: l'étendue de variation maximale sera de 40 % et le passant sera au moins de 20 % et au maximum de 80 %.

Au tamis de d : la variation maximale sera de 15 % avec au moins 1 % de passant et au maximum 20 %.

Au tamis de $0,63 d$: le passant sera au maximum de 5 %.

Granularité d'un sable 0/D pour bétons hydrauliques :

Pas de refus au tamis de $2 \times D$.

1 % maximum de refus au tamis de $1,58 D$.

Au tamis de D le passant sera d'au moins 85 % et au maximum de 99 %.

Les sables sont caractérisés de plus par leur module de finesse (MF). Il est égal au centième de la somme des refus cumulés, exprimé en pourcentage, aux tamis de $0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5$ et 5 mm. Pour les sables courants, il doit être compris entre 1,8 et 3,2 avec une étendue (e) de 0,7. Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin. Pour un sable fin utilisé en correction, le module de finesse doit être inférieur à 1,8 mais son étendue ne doit pas dépasser 0,8.

La teinte du béton brut de décoffrage est directement influencée par les fines des sables. La teneur en fines est définie par le passant à $0,08$ mm de la fraction $0/4$ mm. On distingue quatre catégories de sable classées a, b, c et d. Leur classification s'effectue de la manière suivante :

Catégorie	Passants (%) au tamis de $0,08$ mm
f_A	Ls 12 ; e 3 ou $CV \leq 20$ %
f_B	Ls 15 ; e 5 ou $CV \leq 20$ %
f_C	Ls 18 ; e 6 ou $CV \leq 20$ %
f_D	Pas de spécifications mais FTP renseignée

Li, Ls : Limites extrêmes, inférieure et supérieure, bornant le fuseau de spécifications.

e : Étendue

FTP : Fiche technique produit

CV : Coefficient de variation, exprimé en pourcentage.

Dans certains cas, on peut utiliser un sable avec plus de fines (catégorie f_D). Il convient alors de s'assurer de la régularité de sa répartition dans le béton afin de garantir la régularité de la teinte.

b) Angularité des granulats alluvionnaires et marins

L'angularité est appréciée en fonction du rapport de concassage et de l'indice de concassage. Dans le cas des bétons hydrauliques, on considère l'indice de concassage (IC). C'est le pourcentage d'éléments supérieurs au D du granulat élaboré contenu dans le matériau d'origine soumis au concassage. Il permet d'apprécier la quantité de grains concassés contenus dans un granulat.

Lorsque l'indice de concassage est supérieur à 50 %, il convient de vérifier l'influence des fines de concassage sur la qualité esthétique du béton.

c) Forme des gravillons

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

Le coefficient doit être inférieur à 20.

d) Propreté des sables

La propreté des sables (PS) est mesurée sur la fraction 0/2 mm limitée à 10 % de fines.

Cet essai permet de mesurer la quantité de matières très fines contenues dans le sable mais sans faire la distinction entre les colloïdes nocifs et les fines nécessaires à certains bétons, notamment les bétons apparents. Il exprime un rapport volumétrique conventionnel entre les éléments dits sableurs et les éléments fins (fines de concassage, argiles, impuretés, etc.).

Plus PS est élevée, plus le sable est propre.

Lorsque la valeur de PS n'est pas conforme, il est fortement conseillé, dans le cas de sables concassés ou broyés, de mesurer la capacité des éléments fins du sable à absorber du bleu de méthylène. Le bleu de méthylène est absorbé préférentiellement par les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer. La valeur de bleu (VB) exprime la quantité de bleu de méthylène absorbée par 100 g de fines. Plus la valeur de bleu est élevée, plus le sable est « sale ».

La conformité est obtenue si au moins l'une des valeurs spécifiées de PS ou VB est respectée, à savoir :

Catégorie	PS (%) ¹		ou VB _{0/D} (g) ²
	Sables d'extraction alluvionnaire et marine (IC < 50)	Autres sables	
PS _A	V _{si} 65	V _{si} 60	
PS _B , PS _C et PS _D	V _{si} 60	V _{si} 50	V _{ss} 1

1. Rappel : il s'agit du nouvel essai d'ES piston sur le 0/2 mm limité à 10 % de fines.
2. Selon prEN 933-9, voir le paragraphe 5.5 de la norme XP P 18-540.
Rappel : essai sur le 0/2 mm, résultat exprimé sur le 0/D en grammes de bleu par kilogramme de sable.

e) Propreté des gravillons

Les impuretés peuvent perturber l'hydratation du ciment ou entraîner des défauts d'adhérence granulats/pâte ayant un impact sur la résistance du béton.

Elle est donnée par le pourcentage de passant au tamis de 0,5 mm (tamisage sous eau) et doit être inférieure à 1,5 %. Cette valeur est portée à 3 % pour les gravillons de roches marines et pour les gravillons d'extraction alluvionnaire et massive d'IC ≥ 50 .

f) Impuretés prohibées

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

A noter que le mica en très faible quantité n'est pas nuisible et contribue à l'effet décoratif (cas de sables de lavage de kaolin).

g) Matières organiques

Elles affaiblissent les résistances et provoquent des taches de couleur brune. Pour les limiter, voir XP P 18-540.

1.2.2.3. Critères de conformité des granulats

Comment juger de la conformité d'une fourniture ?

Pour chaque caractéristique, on dispose de bornes (appelées Vsi et/ou Vss) délimitant le champ de conformité. Ces bornes sont définies par la norme ou, dans certains cas, par le fournisseur, et sont précisées dans la fiche technique produit. Nous en avons fixé un certain nombre.

Si l'on dispose de moins de 15 résultats pour la caractéristique à contrôler, le résultat doit être compris entre les bornes.

Si l'on dispose de plus de 15 résultats, chacun des résultats doit être compris entre les valeurs spécifiées (bornes) \pm l'incertitude d'essai (u). Le champ de conformité est alors plus large. Les valeurs de u sont fixées par la norme et dépendent du type d'essai.

1.2.2.4. Critères de prescription des granulats

Les seuils précédemment définis permettent de réaliser la plupart des ouvrages en béton. Pour certaines réalisations et après étude, ils peuvent être modifiés.

Tous les granulats courants (de masse volumique réelle $MVR > 2 \text{ t/m}^3$) devront satisfaire à la norme XP P 18-540.

Les granulats légers ($MVR < 2 \text{ t/m}^3$), naturels ou artificiels, ne seront employés qu'après essais préalables et avec l'assistance technique du fournisseur.

Un certain nombre de granulats sont aujourd'hui certifiés NF. La marque NF GRANULATS délivrée par l'Afnor atteste de la conformité des granulats aux normes en vigueur.

En tout état de cause, les caractéristiques intrinsèques, de fabrication et la provenance des granulats seront définies et soumises à l'accord du maître d'œuvre.

Les sables ont une influence déterminante sur la teinte finale du béton brut et notamment les particules fines. En conséquence, la régularité des sables doit faire l'objet d'un soin particulier.

Des échantillons témoins seront conservés pour suivre et contrôler la régularité des fournitures.

Tous les granulats devront être propres, de préférence lavés.

Pour tous les granulats, le producteur devra s'engager sur les points suivants :

- régularité de la teinte pendant toute la durée des fournitures ;
- régularité granulométrique avec contrôle de laboratoire ;
- propreté constante et éventuellement tolérance de certaines impuretés, dans une limite maximale à définir avec le maître d'œuvre ;
- capacité industrielle d'approvisionnement avec acceptation du programme prévu pour les livraisons.

Dans certains cas, à la demande du maître d'œuvre, des garanties complémentaires à celles de la norme pourront être fournies par le producteur concernant, par exemple, l'absorption, la porosité maximale, la permanence de la blancheur (pour les granulats blancs) ou la variation de la teinte du granulats sous l'eau, pour mieux maîtriser la régularité et la qualité esthétique des bétons de ciment blanc.

1.2.3. Fillers

Les fillers ont deux fonctions :

- la correction granulométrique des sables pour la partie inférieure à 0,08 mm ;
- la coloration éventuelle du béton.

Les fillers utilisés dans les bétons de ciment blanc sont calcaires ou siliceux, avec leurs variantes et doivent impérativement provenir de roche massive ou meuble. Ils sont obtenus par broyage et/ou sélection.

1.2.3.1. Correction granulaire

L'usage de granulats lavés dans la fabrication des bétons induit souvent une carence en éléments fins (< 0,08 mm) dans la continuité de la courbe granulaire. Afin d'éviter cette compensation par un surdosage en ciment, non nécessaire à la résistance du béton ou à sa durabilité, il est conseillé d'utiliser des fillers ou des sablons qui doivent répondre dans ce cas à la norme XP P 18-540.

Les principaux avantages de cette correction sont d'améliorer le béton durci en termes de compacité et de résistance au gel, et le béton frais en termes de rhéologie ou facilité de mise en œuvre.

1.2.3.2. Coloration

Par les éléments ultrafins qu'ils apportent, les fillers et sablons influencent la teinte du béton. C'est pourquoi l'on ne choisit que des éléments clairs à base de silice ou de carbonate de calcium.

D'une façon générale, l'utilisation de fillers régularise sur l'ensemble de l'ouvrage la teinte du béton et améliore la qualité du parement. Cette utilisation n'est soumise à aucune norme et doit faire l'objet d'essais préalables pour les bétons de ciment blanc.

Avantages d'une telle utilisation :

- teinter légèrement le béton aux couleurs du sablon ou du filler ;
- régulariser la couleur de l'ouvrage par l'utilisation d'un sablon ou d'un filler ;
- tracer des contrastes discrets dans les bétons en variant les fillers et les sablons.

1.3. Additions pour béton hydraulique de ciment blanc

Ce sont des matériaux minéraux finement divisés et pouvant être ajoutés au béton pour améliorer certaines de ses propriétés ou lui conférer des propriétés particulières. Les additions peuvent avoir un caractère pouzzolanique, un caractère hydraulique latent ou améliorer la microstructure de la pâte de ciment par réaction avec ses constituants.

Les additions préconisées agissent suivant deux mécanismes :

- l'effet granulaire dû à leur finesse ;
- leur réaction avec le ciment et/ou l'eau de gâchage.

Les additions pour béton hydraulique utilisées dans le béton de ciment blanc sont normalisées (NF P 18-508. *Additions calcaires* et NF P 18-509. *Additions siliceuses*). Leurs conditions d'utilisation et leurs modalités de prise en compte sont définies dans la norme XP P 18-305.- *Béton. Béton prêt à l'emploi*. Avec ces additions, il est conseillé d'utiliser un superplastifiant haut réducteur d'eau afin d'obtenir la maniabilité désirée sans modifier le rapport E/C.

Pour le béton de ciment blanc, des fumées de silice blanches ou des métakaolins peuvent être utilisés sans altérer la teinte des bétons architectoniques. Ceci a pour avantage de contribuer à :

- une augmentation de la résistance et de la durabilité par diminution de la porosité ;
- une diminution des efflorescences ;
- une diminution de la sensibilité aux alcali-réactions.

1.4. Pigments de coloration

1.4.1. Définition

Les pigments sont des éléments fins dont le but est de modifier la teinte des mortiers et des bétons dans lesquels ils sont dispersés.

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

1.4.3. Différentes variétés de pigments

Les colorants organiques répondent rarement aux critères de qualité ci-dessus. Les pigments minéraux appropriés sont presque toujours des oxydes métalliques.

Pigments de synthèse

Ce sont principalement des oxydes de fer, chrome, cobalt ou titane. Choisir des oxydes purs de préférence aux mélanges colorants plus chargés. Rechercher des pigments à fort pouvoir colorant (le pouvoir colorant dépend non seulement de la nature et de la pureté du pigment mais aussi de sa finesse et de son pouvoir de dispersion).

Les pigments sont disponibles soit secs (en poudre, en granulés ou en microbilles), soit en suspension dans l'eau (*slurry*). Les granulés et la suspension facilitent la dispersion et surtout le dosage des pigments.

Pigments naturels

Ce sont des « terres » colorées naturellement par des oxydes ou hydroxydes métalliques (fer notamment). 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, en revanche, sera toujours inférieur à celui des oxydes purs. On s'assurera auprès du producteur de la qualité de ses installations de traitement et de contrôle et on respectera ses indications en matière de mise en œuvre.

1.4.4. Paramètres intervenant dans la coloration

Sont déterminants pour la teinte d'un béton : les sables et les granulats, le ciment et les pigments éventuels ainsi que la mise en œuvre de ce béton et son traitement ultérieur de surface.

L'effet de coloration est affecté par :

- la teneur en pigment jusqu'à un seuil appelé point de saturation. D'une manière générale, on ne dépassera pas 4 % du poids de ciment en extrait sec ;
- le rapport eau/ciment. Plus ce rapport est élevé, plus le béton s'éclaircit. Toute variation, même minime, du rapport E/C, entraîne une variation de teinte du béton ;
- les conditions de durcissement, notamment dans les premiers jours : température, hygrométrie, délai de décoffrage ;
- les sables et les gravillons qui apportent une certaine quantité d'oxydes naturels.

1.4.5. Choix et définition des teintes

Avant de définir la teinte d'un béton, on doit s'assurer qu'elle peut être obtenue avec des pigments fiables mélangés dans des proportions raisonnables.

Les éprouvettes d'étude puis de définition des teintes auront des dimensions suffisantes pour être observées sous divers éclairages, en fonction de la destination de l'ouvrage. Elles seront soumises à l'agrément du maître d'œuvre. Elles seront réalisées dans les mêmes conditions que celles prévues pour l'ouvrage définitif.

Les formules et le poids, les méthodes de mise en œuvre, le traitement de surface et les conditions de conservation seront soigneusement précisés et seront aussi proches que possible de la réalité du chantier. L'appréciation sera faite sur des éprouvettes âgées de plus d'un mois.

1.4.6. Mise en œuvre des pigments

Solides : comme tous les éléments fins, les pigments ont tendance à s'agglomérer, ce qui implique :

- que le dosage pondéral soit impérativement tenu ;
- que le malaxage soit exécuté toujours dans les mêmes conditions : malaxer une minute à sec les pigments et granulats, ajouter le ciment, puis malaxer à nouveau et ajouter l'eau.

Si des sachets délitables sont utilisés, ce qui garantit le dosage pondéral, les ajouter sur les granulats dans le malaxeur. Si les sachets sont mis dans la toupie, elle doit assurer un malaxage à grande vitesse d'une minute par mètre cube (cinq minutes au minimum).

Liquides (phase aqueuse) : le colorant liquide est introduit en même temps que l'eau de gâchage, ou mieux, en mélange.

Très fins, les pigments sont facilement entraînés par les migrations de l'eau de gâchage pendant la mise en place. On doit, de ce fait, composer des bétons à E/C très faible et limiter le temps de vibration. Il faut s'assurer également de la parfaite étanchéité des coffrages et des moules. Les bétons pigmentés font donc presque toujours appel aux plastifiants réducteurs d'eau. Les pigments contribuant à la granulométrie du béton dans la plage des superfines ($< 1 \mu\text{m}$), il en sera tenu compte dans la définition d'un béton coloré. Faire attention aux changements de teinte qui peuvent être apportés par les adjuvants.

1.5. Adjuvants

1.5.1. Introduction

Un adjuvant est un produit qui s'incorpore 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 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 devenus un constituant à part entière du béton.

La majorité des adjuvants répond à des critères particuliers leur permettant d'être classés, au sein des normes, en familles de produits en fonction de leur action sur le béton : pendant la phase plastique (maniabilité) ou pendant la phase durcie.

La norme européenne NF EN 934-2. *Adjuvants pour béton, mortier et coulis. Partie 2 : Adjuvants pour béton. Définition et exigences.* regroupe aujourd'hui les anciennes normes NF P 18-330 à NF P 18-338.

1.5.2. Différentes familles d'adjuvants

1.5.2.1. Modification du comportement du béton frais

Les familles sont :

- Plastifiant/réducteur d'eau (NF EN 934-2 tableau 2)
- Superplastifiant/haut réducteur d'eau (NF EN 934-2 tableau 3.2)

Le but de ces deux familles est double :

- soit de diminuer la quantité d'eau superflue, tout en assurant une maniabilité permettant d'améliorer les conditions de mise en place ;
- soit, pour une quantité d'eau donnée, d'augmenter la fluidité d'un béton tout en réduisant un excès d'eau néfaste à la qualité de celui-ci ;
- soit de faire un compromis entre ces deux fonctions.

Le choix de la famille de produits est fonction des exigences de maniabilité, de résistance et de durabilité requises.

Dans le cas des bétons très fluides tels que les bétons pompés, autonivelants et autoplaçants, et afin d'éviter toute ségrégation, tout ressuage et tassement, il est conseillé d'ajouter :

- agents de cohésion ;
- rétenteur d'eau (NF EN 934-2 tableau 4).

1.5.2.2. Modification de la prise et du durcissement

Ces familles d'adjuvants agissent sur la cinétique d'hydratation du ciment en l'accéléralant ou en la retardant.

- Accéléralateurs de prise sans chlore (NF EN 934-2 tableau 6)
Leur fonction consiste à réduire le temps de prise, temps 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.
- Accéléralateurs de durcissement sans chlore (NF EN 934-2 tableau 7)
Leur fonction consiste à accélérer le développement des résistances mécaniques pour aboutir plus rapidement au niveau de résistance exigé.
- Accéléralateurs de prise et de durcissement chlorés
Les accéléralateurs contenant du chlore sont très efficaces mais leur emploi est à éviter dans le béton armé. En effet, les chlorures favorisent la corrosion de l'acier. Ces produits ne sont pas normalisés et leur emploi est réglementé par le DTU 21.4 (P 18-203). Ils seront interdits d'usage dans le béton armé lorsque sera mise en vigueur la norme européenne EN 206-1.- *Béton. Performances, production et conformité*, adoptée cette année.
- Retardateurs de prise (NF EN 934-2 tableau 8)
Leur fonction consiste à augmenter le temps de prise du ciment pour éviter des « raidissements » (perte de maniabilité) précoces du béton.

Ils sont recommandés pour des bétonnages par temps chaud afin de limiter les effets des fortes températures, qui accélèrent naturellement la prise.

Ces familles d'adjuvants sont généralement couplées dans le béton avec un plastifiant/réducteur d'eau ou un superplastifiant/haut réducteur d'eau.

1.5.2.3. *Modification du comportement du béton durci*

- Hydrofuges de masse (NF EN 934-2 tableau 9)
Leur fonction consiste à rendre le béton plus imperméable et moins sensible aux absorptions capillaires (béton en contact avec de l'eau).
- Entraîneurs d'air (NF EN 934-2 tableau 5)
Leur fonction consiste à introduire un réseau de microbilles d'air calibrées dans le béton. Ces bulles occuperont un volume suffisant pour servir de « vase d'expansion » à l'eau contenue dans le béton en période de gel. (Béton soumis à des températures très basses ou à des cycles gel/dégel réguliers.)

1.5.2.4. *Familles d'adjuvants à effets spécifiques*

Il existe également des adjuvants pour lesquels il n'y a à ce jour aucune norme de caractérisation. Ces produits sont destinés à des bétons particuliers. Par exemple :

- agent de cohésion (pour la fabrication de béton autonivelant ou autoplaçant) ;
- agent de pompage (pompage longue distance, béton coulé sous l'eau) ;
- agent de remplissage (béton sec préfabriqué) ;
- inhibiteur de corrosion.

La norme XP P 18-340, en cours d'étude, couvrira l'ensemble des adjuvants spéciaux pour bétons.

1.5.3. **Choix des adjuvants pour les bétons colorés**

Les adjuvants, bien qu'introduits en faible quantité dans le béton, peuvent modifier sa coloration. Il est essentiel de vérifier que la couleur de l'adjuvant est compatible avec la teinte finale du béton, surtout lorsqu'il s'agit d'un béton blanc ou clair, que l'ajout d'accélérateur ou de retardateur, selon les conditions de température, n'entraîne pas d'altération de la teinte du béton. S'assurer également qu'à long terme les rayons ultraviolets n'altèrent pas la teinte.

1.5.4. **Recommandations**

- Utiliser des adjuvants admis à la marque NF-ADJUVANTS quand c'est possible.
- Réaliser des études en laboratoire, des échantillons et des essais de convenances sur le terrain.
- 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 aussi 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 P 18-303. *Béton. Mise en œuvre. Eau de gâchage pour béton de construction.*

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

Nota : un excès d'eau diminue les résistances et la durabilité du béton.

Caractéristiques des adjuvants normalisés et des rétenteurs d'eau

	Adjuvants normalisés modifiant l'ouvrabilité du béton		Adjuvants normalisés modifiant la résistance du béton au gel/dégel et aux milieux agressifs		Adjuvants normalisés modifiant la prise et le durcissement du ciment			Les rétenteurs d'eau
	Plastifiants réducteurs d'eau	Superplastifiants	Entraîneurs d'air	Hydrofuges de masse	Accélérateurs de prise	Accélérateurs de durcissement	Retardateurs de prise	
Dosages	Généralement < 0,5%.	Généralement 0,5% à 3%.	0,01 à 0,5%	1 à 3%	1 à 3%	0,2% à 3%	0,1 à 1%	Généralement < 0,5%
Introduction	Dans l'eau de gâchage.	Au malaxage			Dans l'eau de gâchage.			
Effets sur la mise en œuvre du béton	Maniabilité constante, réduction d'eau > 5%.	A rapport eau/ciment constant, grande fluidification du béton : gain d'affaissement d'au moins 12 cm.						Diminution du ressuage de 50%.
Effets sur la prise					Accélération très variable suivant les dosages, les ciments et la température.		Retard très variable suivant les dosages, les ciments et la température.	
Résistance à toutes échéances	Supérieures à celles du témoin. Augmentation minimale 10%.	Par rapport au témoin, légère diminution possible. ($\geq 90\%$ des résistances du témoin.)						Par rapport au témoin, légère diminution possible ($\geq 80\%$ des résistances du témoin).
Effets sur les résistances initiales (avant 3 jours)					Augmentées à 1 ou 2 jours.	Augmentées.	Diminuées à 1 ou 2 jours.	
Effets sur les résistances finales (après 28 jours)					Légèrement diminuées (d'autant plus que la prise aura été accélérée).	Inchangées ou légèrement diminuées.	Légèrement augmentées.	
Résistance aux cycles gel/dégel			Bonne amélioration.					
Résistance aux agressions atmosphériques, CO ₂ , atmosphère marine...			Effet variable.	Amélioration de la résistance grâce à la diminution de la perméabilité à l'air.				
Résistance aux agents chimiques agressifs (eaux sélinitieuses, eau sulfatée...)			Amélioration possible.	Amélioration grâce à la diminution de la perméabilité du béton à l'eau.				
Effets secondaires favorables	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de compacité, diminution de la perméabilité. Possibilité d'améliorer la résistance du béton aux agents chimiques agressifs. 	L'emploi de ces adjuvants peut permettre de réaliser des bétons à hautes performances en utilisant de faibles rapports eau/ciment.	Amélioration du parement.				Amélioration de la maniabilité avec possibilité de réduction d'eau.	Amélioration de la rhéologie du béton frais dans le cas d'un manque en éléments fins.
Autres effets	Possibilité d'une légère augmentation de retrait.				Possibilité d'une légère augmentation de retrait.			

2. Armatures

2.1. Généralités

Outre leur rôle courant d'utilisation dans la technique du béton armé (règles BAEL ou BPEL), les armatures doivent répondre aussi à des fonctions plus spécifiques aux bétons apparents de ciment blanc. En effet, leur définition et leur positionnement doivent être étudiés pour satisfaire aux objectifs suivants :

- rigidifier les pièces permettant le déroulement des phases de démoulage et de manutention de bétons jeunes, sans incidence sur les parements réputés finis ;
- limiter les risques de fissuration en parements par une répartition judicieuse des armatures ;
- améliorer les enrobages imposés pour exclure tout risque de spectre et retarder l'oxydation des armatures dans le temps, donc de dégradation du parement ;
- 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.

2.2. Nature

Destinées à renforcer le béton, les armatures se présentent :

a) Sous forme de barres et de fils en ACIER :

- Fers à béton, lisses ou à haute adhérence, en barres droites ou façonnées et assemblées.
 - ⇒ Les ronds lisses doivent être conformes à la norme NF A 35-015. *Armatures pour béton armé. Ronds lisses soudables.*
Nuance Fe E 235.
 - ⇒ NF A 35-016 pour les barres et couronnes soudables à verrous de nuance Fe E 500.
 - ⇒ NF A 35-017 pour les barres et fils de machines non soudables à verrous.
 - ⇒ NF A 35-019-1 pour les barres et couronnes pour les aciers de nuances Fe E 500.
- Treillis soudés, en nappes ou façonnés.
Ils sont conformes aux normes NF A 35-016 (treillis de structure) et NF A 35-024 (treillis antifissuration).
- Câbles et fils utilisés en précontrainte.
Ces matériaux seront stockés à l'abri des intempéries.

D'une façon générale, les transport 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 moules, afin de réduire les manipulations sur les fonds de moule préparés.

b) Sous forme de FIBRES :

- fibres de verre traitées au zirconium ou protégées par un polymère (fibres alcali-résistantes) ;
- fibres de polypropylène, polyester, polyacrylonitrile ;
- fibres métalliques inoxydables.

Utilisées en pleine masse, en renfort d'armature existante ou comme armature unique dans les parois minces, les fibres améliorent la cohésion des bétons, augmentent les résistances, réduisent la fissurabilité, donnent un meilleur comportement ductile à la rupture. Dans certains cas, elles peuvent modifier l'aspect du parement.

A noter que si la cohésion du béton est améliorée, son ouvrabilité en revanche est réduite. Il sera donc fait appel, sans avoir à modifier le rapport E/C, à des adjuvants (plastifiants réducteurs d'eau, entraîneurs d'air...) facilitant la mise en place et améliorant la dispersion des fibres.

Pour les prescriptions de mise en œuvre, il est indispensable de se reporter aux recommandations du fabricant.

2.3. Mise en place

Les ouvrages à base de ciment 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 utilisée.

En fonction de ces critères, les armatures sont incorporées avant coulage ou alors rapportées en une ou plusieurs fois entre les différentes phases de coulage.

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, techniquement dimensionnées, doivent toujours être enrobées après traitement d'un minimum de 30 mm des parements finis. Lorsqu'il existe des modénatures ou des faux joints ne dépassant pas 20 mm, les armatures de base sont conservées et calées ponctuellement à 40 mm ; dans le cas contraire, il y a lieu d'adapter l'armature à cet endroit, pour toujours avoir les 30 mm minimaux.

Ces enrobages sont augmentés pour des applications spécifiques (bouchardage...) et particulières (zone maritime, environnement agressif) de 40 mm à 50 mm, à préciser au cahier des charges.

2.3.1. Cales

Ces armatures doivent être maintenues en place pendant le coulage et la vibration.

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

- cales sur fonds de tables ;
- cales sur retours latéraux ;
- cales 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 parements, il sera préféré une solution d'armatures suspendues, supprimant tout calage. Les suspentes seront étudiées pour maintenir les armatures en position durant les phases de coulage et de vibration et pour garantir les enrobages.

2.3.3. Passages d'armatures

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

Les passages momentanément inutilisés seront obturés lors des coulages concernés.

Dans des cas plus délicats vis-à-vis du parement, des boîtes d'armatures et des coupleurs peuvent être employés. Ces incorporations évitent de dégrader les faces coffrantes, et préservent l'étanchéité.

2.3.4. Dispositions vis-à-vis du bétonnage

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

Prévoir des passages suffisants pour permettre la vibration interne du béton.

2.4. Protection

Les fils de ligature sont de préférence en acier inoxydable ou galvanisés.

En plus des dispositifs de sécurité, les armatures en attente seront protégées après démoulage contre les risques d'oxydation pouvant tacher le parement. Elles seront, à cet effet, gainées avec des tubes plastiques ou barbotinées.

3. Coffrages et moules

3.1. Généralités

Les coffrages et les moules sont des éléments provisoires de construction destinés à contenir le béton frais. Les coffrages-outils sont fabriqués industriellement, dans des versions standard 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 et aux moules sont de résister à la poussée du béton, de livrer des faces conformes aux prescriptions architecturales, de se démonter facilement. La qualité d'un coffrage c'est aussi de pouvoir se dégager facilement de la pièce de béton pour éviter les épaufrures, difficilement réparables. Les moules comportent des dépouilles ou angles ouverts afin de faciliter le démoulage.

Le moule sera constitué 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. Pour des séries ne dépassant pas une trentaine d'unités, des moules en bois peuvent être utilisés. Les moules doivent être parfaitement étanches et de rigidité uniforme pour permettre une répartition homogène de la vibration.

3.2. Poussée du béton

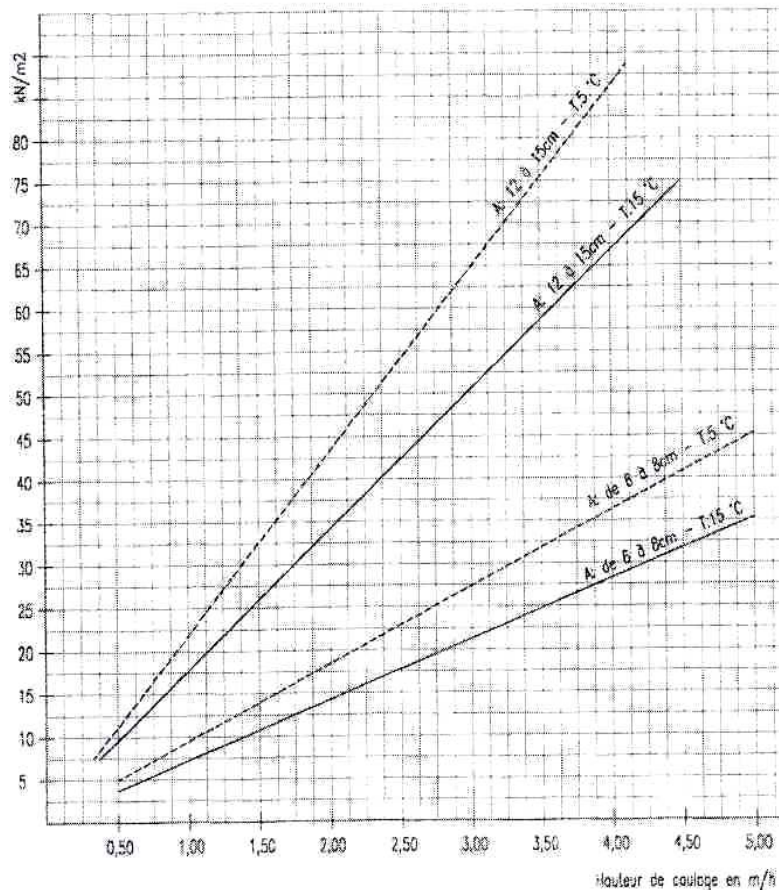
La fonction première d'un coffrage étant de contenir le béton, il est donc nécessaire de connaître les origines des poussées avant de concevoir ou de mettre en place un coffrage. Les banches fabriquées actuellement étant conçues pour résister à des pressions d'au moins 100 kN/m^2 , il faut donc analyser les différents critères de poussée pour ne pas infliger aux coffrages des pressions supérieures à cette valeur (voir schéma ci-après).

Plusieurs paramètres entrent en jeu :

- la 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 ceux concassés ;
- la vitesse de coulage, ou vitesse ascensionnelle, exprimée en mètre par heure (m/h) : plus la hauteur de béton frais augmente dans le temps d'une heure de coulage, plus la pression s'accroît. Ce paramètre varie en fonction du temps de prise, lui-même conditionné par la température extérieure au moment du coulage, de l'adjuvantation par des accélérateurs de prise ou retardateurs de prise, du ciment employé ;
- l'action de la vibration : la vibration amplifie la pression ;
- la hauteur de déversement dans le coffrage : plus celle-ci est haute, plus elle exerce de poussées. En outre, une trop grande hauteur de déversement engendre de la ségrégation et du bullage : par conséquent, pour ces bétons, la hauteur à ne pas dépasser est de 1 m. L'utilisation d'une goulotte ou d'une manchette permet de réguler cette hauteur.

Exemple de schéma des pressions exercées par le béton frais sur les coffrages en fonction de :

- la plasticité du béton (affaissement au cône d'Abrams (A))
- la vitesse ascensionnelle de coulage
- la température extérieure T



3.3. Matière des peaux de coffrage

La qualité des peaux coffrantes est déterminante sur le parement fini du béton. Le choix de la matière est donc à faire selon les critères de qualité du parement, conciliables avec les impératifs de construction. En tout état de cause, 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 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, et pour ce dernier sous sa forme massive ou agglomérée. On les retrouve également dans les moules avec d'autres matières moins courantes telles que : polyester armé, polyuréthane, polystyrène expansé, plâtre et béton, matrice en élastomère.

Pour un même type de pièce, dans le but d'obtenir un aspect final identique, les coffrages et les moules devront être de même nature et de même composition.

3.3.1. Acier

Résistant, facile à travailler et à usiner, l'acier constitue des coffrages et des moules de qualité avec de nombreuses garanties de réemploi. Il faut choisir des tôles de bonne qualité, résistant à la rouille. Les mieux appropriées sont les tôles de premier choix, planées, d'une épaisseur de 4 mm à 5 mm, voire plus selon la rigidité nécessaire.

Les soudures doivent toujours être continues, meulées finement et les trous de fixation des mannequins soigneusement rebouchés au mastic. A cet effet, il est préférable d'utiliser des blocs magnétiques de fixation qui évitent le percement de la tôle.

Les tôles doivent être traitées dès le premier usage pour éviter des taches sur le parement.

3.3.2. Bois massif

Il faut impérativement choisir un bois sans tanin : le chêne et le châtaignier en sont d'emblée exclus. Ce sont les résineux qui se prêtent le mieux à cette utilisation. Le bois est débité en planches posées jointivement ou en lames bouvetées. Dans la première solution, les planches sont posées jointivement avec obligation d'étancher les joints ; dans la seconde solution, les lames s'emboîtent par rainures et languettes.

Le nombre de réemplois des bois massifs est très limité ; il est fonction du comportement des planches qui risquent de se « gondoler » sous 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 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.

Ces produits de protection permettent également de faire disparaître les têtes de vis ou de pointes si on le désire. Le document du CATED *Utilisation des bois sur les chantiers* (1992) fournit des indications sur le choix du bois.

3.3.3. 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 ; elle est plus souvent de 22 mm. Les coffrages courbes réalisés sur place sont le plus souvent en 15 mm.

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

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

3.4. Étanchéité des coffrages et des moules

L'utilisation de bétons de plus en plus fluides par adjuvantation ou par formulation particulière exige des coffrages jointifs étanches ne laissant pas passer la laitance. La bonne étanchéité des coffrages et des moules lors du coulage du béton est une condition indispensable à la bonne qualité des parements pour éviter la ségrégation, les auréoles et les nuançages.

Le serrage correct des coffrages est la mesure qui conditionne la majorité des points à étancher. Le serrage des banches se fait à l'aide d'une clé dynamométrique qui règle la pression de serrage des écrous, suivant les besoins et les prescriptions du fabricant du coffrage.

Les endroits les plus exposés aux fuites, pour les ouvrages coulés en place, se situent aux jonctions des éléments de coffrage (entre deux banches), en pied de coffrage, à l'ajustage des mannequins, aux arrêts verticaux de coulage laissant dépasser des aciers de reprise, aux reprises de bétonnage.

L'étanchéité du pied de coffrage doit procéder de sa structure. Si nécessaire, dans certains cas, un joint de mousse peut être rajouté.

Les autres points sont étanchés à l'aide de joints préformés, fortement comprimés au moment du serrage du coffrage. Ces joints doivent résister aux températures élevées et aux agents destructeurs des huiles de décoffrage.

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.

3.5. Calepinage – Modénature

Il n'est pas toujours facile de dissimuler parfaitement les jonctions de coffrage – notamment aux reprises de bétonnage – par les différences d'affleurement qu'elles présentent. On les fait coïncider autant que possible avec des détails de modénature : joints, faux joints, rainures, arêtes. Si cette disposition n'est pas possible, on s'efforce au moins d'axer ces petits défauts par rapport à la trame générale de l'architecture.

De même, certains accessoires indispensables laissent fatalement des traces en surface du béton : cônes d'écartement dans lesquels passent les tiges de serrage, distanceurs d'armatures, douilles de levage. Les trous laissés par les cônes devront être rebouchés avec un mortier de composition identique à celle du béton. Les distanceurs d'armature en matière plastique sont fortement déconseillés : on doit leur préférer ceux en béton de même nuance que celui de l'élément à couler.

Au moment du calepinage des outils coffrants, tous ces détails doivent être intégrés à l'architecture.

3.6. Propreté des moules et des coffrages

L'entrepreneur doit prendre les dispositions utiles pour éviter les coulures de rouille sur les parements, en provenance des armatures en attente. Au moment de la mise en œuvre du béton, les armatures en place doivent être sans souillure susceptible de nuire à l'adhérence du béton.

Il appartient à l'entrepreneur de veiller à la qualité des armatures à tous les stades de l'exécution de manière à éliminer les souillures d'huile, de graisse, de peinture, de terre, de particules non adhérentes de rouille, de béton ou de mortier.

En fin de positionnement des armatures, le passage d'un jet d'air comprimé est préconisé pour supprimer poussière, rouille ou fils de ligature en fond de moule. Pour préserver la propreté du moule, on essaiera si possible de préparer les armatures en dehors de celui-ci, en travaillant à partir de gabarits de montage.

3.7. Produits de décoffrage et de démoulage

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 ;
- contribuer à l'obtention d'un parement homogène dans sa teinte, 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 moules ou 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 de surface et antigraffiti, par exemple) ;
- être compatibles avec les conditions de coulage et donc ne pas être éliminés ni entraînés par le frottement dû à la mise en place du béton.

Les produits de décoffrage et de démoulage se présentent sous la 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 ou du moule 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 : c'est pourquoi les huiles sont en général privilégiées car elles sont fluides et donc pulvérisables.

Les produits à utiliser doivent être sélectionnés en fonction de leur aptitude à être compatibles 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, etc.

Les produits de décoffrage et de démoulage doivent être appliqués de manière régulière et aussi parcimonieuse que possible. La pulvérisation doit se faire à une pression minimale de 2 bars, avec une buse de sortie permettant une répartition homogène de gouttelettes très fines. Si les huiles sont plus visqueuses en raison d'une baisse de température, la pression doit être augmentée afin de maintenir une bonne maîtrise de ces paramètres.

Avec une telle mise en œuvre, il se forme un film protecteur fin et continu qui ne risque pas de former d'accumulations ponctuelles.

Sur chantier, les coffrages étant généralement positionnés à la verticale, les excès s'écoulent naturellement vers le bas. En préfabrication, il y a lieu d'être plus vigilant aux accumulations de produits, à cause de l'horizontalité des moules.

Lors de l'utilisation sur des surfaces horizontales, on veille particulièrement à éviter les excès de décoffrant en passant, par exemple, une raclette ou un chiffon pour les éliminer. Si les produits sont mis en excès, les matières actives qu'ils contiennent entraînent des risques de taches, de bullages et de farinage parfois importants, car ils agissent chimiquement par contact avec le ciment et se mêlent alors à la couche de surface pour y créer des désordres visibles.

3.7.1. Huiles et émulsions

Les huiles et émulsions à conseiller sont :

- Huiles de synthèse
Ce sont des produits purs et stables qui donnent de bons résultats. Ces huiles, pouvant avoir un aspect incolore et n'être que très légèrement additivées, sont en général moins sensibles à une application en excès.
- Huiles végétales
La tendance va dans le sens d'une utilisation de plus en plus grande de ces produits pour les bons résultats constatés : sécurité des utilisateurs et protection de l'environnement. Néanmoins, les précautions suivantes 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 figeage du produit.
- Émulsions
Utilisées sur des coffrages absorbants, elles réduisent le bullage et présentent un intérêt pour l'utilisateur grâce à leur absence d'odeur. Précautions : elles peuvent parfois créer un léger encrassement des moules qu'il faut bien nettoyer avant de procéder à une nouvelle application.

Nous déconseillons :

- Huiles minérales recyclées
D'une façon générale, ces huiles sont déconseillées du fait de leur toxicité et des résultats aléatoires qu'on peut en attendre : risques de poudrage des surfaces, bullage, altération des peaux coffrantes.
- Huiles avec tensio-actif
Nécessité de précautions d'emploi dû à leur miscibilité à l'eau du béton : risque de poussierage et de bullage.

3.7.2. Effet physico-chimique

Pour formuler leurs huiles finies, les industriels utilisent un certain nombre de produits actifs mis en faible dose dans des huiles de base. 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 puisse résister 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 des huiles doivent provoquer à l'interface moule/béton une action chimique contrôlée qui aboutit à éliminer les forces d'adhérence entre le béton et la paroi coffrante.

3.7.3. Cires

Les cires sont en pâte ou sous forme d'un liquide pulvérisable.

Les cires plutôt que les huiles sont utilisées pour créer un film protecteur plus « sec ». Une fois la cire appliquée, il peut être prescrit de bien la « lustrer » avec un chiffon. Sur des moules d'aspect poli, le béton présente alors une surface glacée et sans bulles.

L'emploi des cires en pâte est également intéressant en chantier lorsque les coffrages restent longtemps soumis aux intempéries avant le coulage du béton (cas des ouvrages d'art).

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

Elles sont déconseillées pour les coffrages à relief peu accusé pour lesquels on leur préfère les cires liquides pulvérisables.

3.7.4. Produits à double effet (décoffrant et désactivant)

Ces produits retardent la prise de la surface du béton qui se trouve en contact avec le moule. Dès le démoulage, la prise se développe rapidement ; procéder sans délai au traitement : lavage, brossage, etc.

Après démoulage, ils doivent permettre l'élimination facile et régulière de la peau du béton et avoir les caractéristiques suivantes :

- adhérer fortement aux moules ou coffrages pour permettre la mise en place du béton en plan incliné ou vertical, sous réserve d'adapter la dimension des éléments à couler à la durée de réaction du produit ;
- être autolissables, c'est-à-dire, après application, former un film d'égale épaisseur permettant un aspect de surface uniforme et régulier ;
- permettre le traitement thermique ;
- ne pas craindre les intempéries ;
- ne pas avoir d'actions nocives sur le béton ni sur les moules, coffrages et armatures.

Les produits agissent plus ou moins profondément sur le béton de parement.

Il ne faut surtout pas employer d'huile de décoffrage avec les désactivants, la propriété décoffrante étant déjà incluse dans ces produits.

4. Aspects de surface

De nombreux aspects de surface peuvent être obtenus soit directement par les empreintes du moule, soit par traitement de finition après coulage et démoulage.

L'aspect de surface est défini selon deux paramètres :

- la texture de la peau du béton, obtenue soit directement par les empreintes du moule, soit par traitement de finition après coulage et démoulage ;
- la teinte, qui dépend de la couleur des différents constituants du béton (granulats, ciments, pigments de coloration...).

Commentaires :

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

La teinte des bétons traités (surfaces lavées, désactivées, sablées, bouchardées, polies) est liée particulièrement à la couleur des sables et des gravillons.

4.1. États de surface

Les surfaces sont classées en trois catégories selon les dénominations suivantes :

- brutes ;
- traitées ;
- revêtues.

4.1.1. Surfaces brutes

Elles peuvent être lisses ou à reliefs et être obtenues par démoulage immédiat ou différé. On distingue les surfaces brutes contre moule (durcies sur une paroi de moule) et les surfaces brutes hors ou dessus de moule, c'est-à-dire travaillées à l'état frais (par talochage, lissage ou impression).

Catégorie de surface	Type d'aspect	Obtention et description de l'aspect
Brute contre moule	Brut, durci moule	Surfaces lisses ou à reliefs. Similaire à la paroi du moule.
	Brut, démoulage immédiat	Aspect de surface correspondant au glissement ou au décollement du moule sur le béton frais.
Brute dessus de moule (ou hors moule)	Dressé	Règle tirée sur le béton frais.
	Taloché	Passage d'une taloche sur le béton frais.
	Feutré	Passage d'une brosse souple ou d'une plaque de polystyrène expansé.
	Lissé	Passage d'une truelle ou d'une lisseuse sur le béton frais.
	Strié	Passage d'un balai, d'une brosse à poils durs ou d'un râteau créant des stries sur la surface.
	Avec empreintes	Passage d'une boucharde à rouleau ou d'un instrument similaire sur le béton frais.

4.1.2. Surfaces traitées

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

Surfaces traitées à l'état frais

Type d'aspect	Obtention et description de l'aspect
Brossé, strié	Brossage ou décapage faisant apparaître partiellement les granulats.
Lavé	Lavage au jet d'eau faisant apparaître partiellement les granulats.

Surfaces traitées à l'état durci

Type d'aspect	Obtention et description de l'aspect
Désactivé	Mise en place d'un désactivant sur le moule ou à la surface du béton frais. La surface est ensuite décapée au jet d'eau ou brossée pour faire apparaître les granulats.
Acidé	Attaque plus ou moins profonde de la surface à l'acide, puis rinçage à l'eau pour faire apparaître les grains fins ou les gros granulats. Réservé à la préfabrication.
Gommé	Projection par un flux d'air de particules extrêmement fines pour procéder à une homogénéisation de l'aspect ou à un nettoyage de la surface.
Sablé (basse ou haute pression)	Projection par jet d'air à plus ou moins forte pression de particules abrasives faisant plus ou moins apparaître les granulats. Réservé à la préfabrication.
Bouchardé	Attaque de la surface à l'aide d'une boucharde faisant éclater la surface du béton pour offrir un aspect rugueux plus ou moins prononcé. Ce traitement fait ressortir la structure interne des gros granulats.
Poncé	Parement attaqué superficiellement à la meule abrasive, dégageant partiellement les sables. Réservé à la préfabrication.
Grésé	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.
Poli (mat ou brillant)	Obtention par polissage d'une surface unie, sans rayure apparente. Selon les granulats employés et le traitement final, la surface peut être mate (trois passes de polissage) ou brillante (cinq passes de polissage). Elle peut être traitée ou non avec un bouche-pores. Réservé à la préfabrication.
Flammé ou brûlé	La surface est éclatée par l'action de la chaleur d'une flamme sur quelques millimètres pour faire ressortir les granulats.
Éclaté	Parement cassé par fendage faisant apparaître l'ensemble des constituants avec cassure des gros granulats.

4.1.3. Surfaces revêtues

Le revêtement peut être constitué d'éléments minces scellés dans le béton (briques ou pierres) déposés en fond de moule avant coulage ou éventuellement collés sur chantier.

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.

Après séchage, la surface du béton peut également 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. *Travaux de peinture des bâtiments (NF P 74-201)*.

4.2. Couleur des constituants apparents

4.2.1. Couleur du liant

Le fabricant de ciment blanc fournit une information sur la colorimétrie du produit complétée le plus souvent d'une garantie de régularité de teinte. Cette garantie est exprimée par une valeur de luminance dans l'échelle des gris, assortie d'une tolérance qui est généralement de ± 1 point.

4.2.2. Couleur des granulats

Exemples de teintes de quelques granulats en fonction de leur nature minéralogique

Nature du granulat	Teintes
<i>silex</i>	<i>beige ou bistre</i>
<i>diorites</i>	<i>bleu ou rose</i>
<i>granites</i>	<i>jaune, rose, gris, vert</i>
<i>calcaires durs et marbres</i>	<i>noir, bleu, rose, beige, blanc, vert</i>
<i>basaltes</i>	<i>noir ou bleu-noir</i>
<i>grès</i>	<i>rouge, gris-bleu</i>
<i>quartzites</i>	<i>rose, gris, blanc</i>

4.2.3. Pigments de coloration

Éventuellement le béton peut être coloré à l'aide de pigments de coloration dans une proportion de 1 % à 6 % du poids du ciment.

Ils sont associés de préférence avec des sables et des granulats de même couleur.

Commentaires :

Les pigments de coloration permettent d'obtenir une palette étendue de teintes : jaune, ocre, rouge, brun, marron, noir, vert, bleu...

Les pigments d'origine minérale sont fortement conseillés en raison de leur très grande stabilité dans le temps.

Leur addition ne doit pas modifier l'aptitude à la mise en place, la prise et le durcissement du béton.

5. Formulation, fabrication et transport

5.1. Choix des constituants

Les constituants, leurs caractéristiques et leur influence sur le béton ainsi que les précautions d'emploi ont été décrits dans le chapitre 1.- *Constituants*. Ce chapitre a pour objet de rappeler l'influence du choix de ces constituants sur la formulation du béton.

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 la forme à réaliser et des traitements de surface envisagés. Pour limiter les aléas, nous reprenons dans ce chapitre les différents paramètres concourant à la qualité du projet.

5.1.1. Ciment blanc

Les contraintes de résistances liées à l'ouvrage doivent orienter le choix du ciment selon les critères définis au chapitre 1.- *Constituants*. Les caractéristiques du ciment blanc à prendre en compte sont :

- sa classe : 32,5 ; 42,5 ou 52,5 ;
- R : résistances initiales élevées, si l'on souhaite un décoffrage rapide ;
- PM : prise mer, si la construction est exposée à des ambiances agressives ;
- CP₂ : faible teneur en sulfure.

Plus le ciment est fin, plus sa blancheur est élevée et plus il permet de faire ressortir les teintes amenées par les fines des sables, les fillers, les additions ou les pigments.

5.1.2. Sables

Les sables, par leurs fines, peuvent avoir une influence sur la teinte finale des bétons bruts de décoffrage. De plus, pour avoir une teinte homogène du béton pendant toute la durée du chantier, il est impératif :

- soit de vérifier la régularité de la quantité de fines des sables ;
- soit de commander un lot de sable fabriqué spécialement pour l'ensemble du chantier.

5.1.3. Gravillons

Les gravillons ont peu d'influence sur la teinte finale des bétons bruts de décoffrage. En revanche, leur taille et leur forme sont déterminantes sur l'aspect de surface des bétons traités (polis, désactivés...). Si une grande homogénéité d'aspect de surface est souhaitée, il importe de s'assurer de la régularité de la teinte et de la granulométrie ainsi que de la propreté des granulats ou de commander un lot spécifique pour l'ensemble du chantier.

Pour les bétons bruts de décoffrage, les gros gravillons sont déconseillés car ils peuvent créer un effet de pommelage à la surface des bétons.

5.1.4. Additions, fillers, pigments

Les additions, les fillers et les pigments ont une influence importante sur la teinte finale des bétons. Le dosage doit être constant car son non-respect peut engendrer des désordres tant sur l'aspect que sur le matériau.

5.1.5. Adjuvants du béton

Il convient de vérifier d'une part que la couleur de l'adjuvant ne modifie pas la teinte du béton frais et, d'autre part, son impact sur la régularité de la rhéologie du béton qui peut influencer la teinte finale.

5.2. Objectifs de la formulation et processus de validation

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

1. Échantillons préliminaires pour valider la teinte et l'aspect de surface auprès de l'architecte.
2. Épreuves d'étude permettant de vérifier l'obtention des caractéristiques demandées.
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.

Principaux essais de convenance types

Fabrication	Essais de rhéologie et de résistance sur une gâchée
Transport, manutention jusqu'au site	Essai de rhéologie
Mise en place	Coulage du prototype représentatif en taille
Décoffrage et traitements éventuels	Vérification de la conformité du parement aux prescriptions du marché

5.2.1. Bétons Prêts à l'Emploi destinés à être coulés en place

Les règles de formulation indiquées dans la norme XP P 18-305.- *Béton. Béton prêt à l'emploi* s'appliquent bien sûr aux bétons prêts à l'emploi à base de ciment blanc, en particulier sur la détermination du dosage en liant, sur la teneur en eau et sur les résistances minimales, selon la destination du béton dans l'ouvrage et selon la classe d'environnement. Cf. *Guide d'utilisation de la Norme P 18-305. Béton prêt à l'emploi* édité par le SNBPE (1996).

5.2.2. Bétons préfabriqués

Les critères indiqués dans le cahier des charges *Éléments architecturaux en béton fabriqués en usine (FIB)* s'appliquent bien sûr aux bétons préfabriqués à base de ciment blanc. La certification Qualif-IB garantit le respect de ce cahier des charges, la maîtrise des processus de fabrication et la conformité esthétique par rapport à des éléments de référence (échantillons, prototypes). Il est conseillé de sélectionner un préfabricant titulaire de cette qualification.

5.3. Fabrication

5.3.1. Stockage des constituants

Ciment et fines

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

Granulats

Le stockage en plein air nécessite des précautions, d'une part pour assurer un écoulement des eaux de pluie et, d'autre part, pour 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. L'utilisation de silos pour le stockage de ces granulats apporte une sécurité sur la régularité de leur teneur en eau.

5.3.2. Pesage des constituants minéraux

Une teinte régulière du béton suppose, outre un suivi rigoureux des constituants, un dosage pondéral dont la précision est conforme aux règles en vigueur. Le dosage volumétrique est déconseillé car il est très variable.

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 pour le maintien d'une teinte régulière et l'obtention de performances mécaniques et de durabilité. Il est indispensable de tenir compte de l'humidité des granulats et spécialement de celle des sables.

5.3.4. Malaxage

L'emploi de malaxeur est indispensable pour la fabrication des bétons. Le temps de malaxage doit être augmenté et porté à une durée de 1 min 30 s par exemple sans dépasser 2 min 30 s pour les bétons de ciment blanc, et être constant d'une gâchée à l'autre. Les matériels utilisés pour le béton de ciment blanc doivent être parfaitement propres avant la fabrication.

5.3.5. Contrôles et essais en cours de réalisation

Des contrôles concernant la rhéologie du béton (wattmètre, cône d'Abrams ou étalement...) et des performances mécaniques à 7 et 28 jours doivent être réalisés au niveau de la fabrication et de la réception du béton selon les prescriptions du marché.

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 constante et régulière entre le malaxeur et l'ouvrage afin d'obtenir un résultat couvert dans son ensemble par un système qualité.

6. Mise en œuvre

6.1. Béton coulé en place

6.1.1. Méthode de coulage

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 (les accumulations locales risquent d'entraîner des ségrégations).

Pour des coffrages hauts et profonds, il peut être nécessaire d'utiliser des manchons ou des tubes qui permettent de déverser le béton en fond de coffrage et qui sont progressivement remontés au fur et à mesure du bétonnage.

Une vitesse de bétonnage constante est indispensable pour assurer un parement homogène : cela sous-entend, pour un ouvrage donné, un coulage en continu.

Ce qu'il faut éviter :

- un enrobage trop faible des armatures ;
- un bétonnage par fortes pluies ;
- un ruissellement du béton sur les parois du coffrage ;
- le phénomène de cascade sur les armatures ;
- des couches de bétonnage supérieures à 0,60 m.

Bétonnage par temps chaud et par temps froid

Les précautions d'emploi pour les bétons classiques décrites dans la lettre d'information du SYNAD (Syndicat national des adjuvants pour bétons et mortiers) sont importantes à appliquer pour ces bétons.

Pour des productions de longue durée, une réflexion doit être menée pour trouver un compromis entre les conditions d'emploi par temps chaud et par temps froid des adjuvants et des liants.

- Temps chaud :
 - retardateur
 - faible chaleur d'hydratation
- Temps froid :
 - prise et durcissement rapides
 - accélérateur

6.1.2. Bétons sans vibration : autoplaçant et autonivelant

Ils sont parfaitement adaptés à la mise en œuvre d'un béton de parement répondant aux prescriptions de ce document.

La mise en place s'effectue soit à la pompe en fond de coffrage, soit avec un tube plongeur, de préférence en un seul point, sans vibration.

Chaque fois que cela sera possible, le choix de ce type de béton est la solution optimale pour garantir une mise en œuvre sans les contraintes liées à la vibration.

Des recommandations provisoires ont été rédigées par l'AFGC (Association française du génie civile) auxquelles on pourra se reporter dans l'attente du projet national BAP.

6.1.3. Vibration (coulage traditionnel)

La vibration est un moyen efficace de mise en place du béton qui permet, en même temps, de limiter sa teneur en eau et d'augmenter ses caractéristiques par diminution de la porosité, et de limiter le bullage.

Cependant, des défauts de vibration peuvent poser des problèmes vis-à-vis des parements. La vibration doit être adaptée à la composition du béton et aux caractéristiques de l'ouvrage.

La vibration doit s'appliquer 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.

6.1.3.1. *Vibrateurs internes*

Simple et efficace, couramment utilisés sur chantier, ils sont appelés aiguilles vibrantes et sont constitués par un tube métallique dans lequel la rotation d'une masselotte excentrée produit la vibration.

Différentes formes d'énergie sont utilisées, qui conduisent à des conceptions différentes : pneumatique, électrique, thermique.

Le diamètre des aiguilles usuelles varie de 25 à 100 mm. Leur fréquence est comprise entre 10 000 vib/min et 20 000 vib/min. Indépendamment du fait qu'une aiguille doit être choisie en fonction de sa masse qui la rend plus ou moins manœuvrable et d'un diamètre compatible avec l'espacement des armatures entre lesquelles elle doit pouvoir facilement se positionner, les principaux critères de choix restent le volume du béton à vibrer et sa granulométrie.

Les aiguilles de 25 mm à 70 mm sont plutôt utilisées pour des volumes de béton n'excédant pas 10 m³ et dont la granulométrie est inférieure à 25 mm. Les aiguilles de plus de 70 mm sont utilisées pour des volumes de 10 m³ à 30 m³ de béton de forte granulométrie.

6.1.3.2. *Vibrateurs externes*

Les tables vibrantes sont réservés à la préfabrication.

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

Vibreurs de coffrages (qui peuvent être associés à des vibreurs internes)

De même que les aiguilles, les vibreurs de coffrage utilisent le principe de la vibration produite par la rotation d'une masselotte excentrée. Fixés sur les coffrages, les vibreurs imposent que ceux-ci soient suffisamment lourds et rigides pour ne pas se déformer et pour transmettre la vibration de façon homogène.

La fréquence de vibration des vibreurs électriques est le plus souvent de 3 000 vib/min à 6 000 vib/min. Les vibreurs pneumatiques atteignent des fréquences plus élevées : entre 10 000 vib/min et 15 000 vib/min. La profondeur de béton intéressée par la vibration ne dépassant généralement pas 20 cm à 25 cm, ce type de vibreurs est réservé à des pièces d'épaisseur moyenne : murs, voiles, poteaux, poutres.

Vibreurs de surface

Les vibreurs de surface permettent de transmettre 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 cm à 20 cm au maximum).

6.1.3.3. Paramètres de la vibration

Force centrifuge

La force centrifuge transmise au béton par le vibreur est proportionnelle à la masse du balourd en rotation, à son excentricité et au carré de sa vitesse. Elle caractérise l'efficacité d'un appareil et doit être la plus élevée possible, tout en restant compatible avec la taille du vibreur et la tenue mécanique du moule et du coffrage.

Fréquence

La fréquence optimale varie suivant la dimension des granulats. Une fréquence basse (environ 10 000 vib/min) favorise la vibration des gros granulats ; une fréquence élevée (environ 20 000 vib/min) celle des éléments plus fins.

Amplitude

C'est un paramètre qui détermine en particulier le déplacement des constituants du béton durant une demi-vibration, mais sa mesure est délicate. On peut cependant dire qu'une trop forte amplitude favorise la ségrégation, surtout avec un béton très plastique. On a donc intérêt à la limiter et à privilégier l'augmentation de la fréquence.

Durée

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 peut entraîner une ségrégation de ses constituants. Les effets de la vibration en fonction du temps se caractérisent par une action rapide qui diminue très vite, une fois obtenus l'arrangement des grains et l'expulsion de l'air. A titre indicatif, les temps nécessaires à la vibration d'un volume de béton (en pervibration : temps où l'aiguille est laissée au même emplacement) sont de l'ordre de :

- 5 secondes pour les bétons très plastiques ;
- 20 secondes pour les bétons plastiques ;
- 1 minute pour les bétons fermes.

6.1.3.4. Règles pratiques

Les règles de bonne pratique concernent essentiellement le temps de vibration et les emplacements des vibreurs.

Le temps de vibration lié à la nature du béton (granulométrie, consistance), au volume à vibrer, à la densité de ferrailage, varie également en fonction du type de vibreurs et de leur puissance.

Certains indices permettent d'apprécier le moment requis pour arrêter la vibration :

- le béton cesse de se tasser ;
- le dégagement de bulles d'air s'arrête ;
- la laitance apparaît 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 40 cm à 50 cm d'épaisseur et, en tout état de cause, d'épaisseur inférieure à la longueur de l'aiguille vibrante utilisée ;
- 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 cm à 50 cm (soit environ 7 fois son diamètre) pour les aiguilles courantes de 50 mm à 75 mm de diamètre ;
- ne pas utiliser l'aiguille vibrante en bétonnage de faible épaisseur (voir BAP).

Vibration externe

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

L'expérience, des essais préalables ainsi que l'assistance des fabricants de vibrateurs sont le plus souvent nécessaires pour obtenir les meilleurs résultats.

6.1.4. Contrôle après coulage

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

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

il n'est pas inutile, pour des ouvrages destinés à rester apparents, 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 manque ni excès (les 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 peuvent être 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).

6.2.2. Préparation du béton

La composition du béton doit être définie en fonction des différents paramètres techniques (environnement, résistance, durabilité) et en fonction de la finition envisagée (nature du ciment, choix des granulats selon leurs caractéristiques et leur teinte).

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. (Voir le *Cahier des charges des éléments architecturaux fabriqués en usine*, FIB.)

Les différents constituants sont dosés avec une bonne précision et mélangés dans un malaxeur permettant d'obtenir un mélange homogène et constant d'une gâchée à l'autre.

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

6.2.3. Transport du béton

S'assurer que les bennes sont parfaitement propres avant remplissage.

Éviter les causes possibles de ségrégation pendant le remplissage et le transport (hauteur de chute excessive, trépidations, chocs de benne).

Respecter un délai de transport le plus réduit possible et constant.

6.2.4. Mise en place du béton

Le béton est déversé et étalé par couches régulières de 20 cm à 30 cm d'épaisseur avant vibration.

La hauteur de chute doit être inférieure à 1 m.

7. Durcissement

Le moyen le plus couramment utilisé pour contrôler le durcissement du béton sur chantier est l'éprouvette dite « d'information ». Mais ce moyen présente deux inconvénients :

- le mode de conservation sur le chantier (normalement 20 °C et humidité constante) ;
- la représentativité des résultats des caractéristiques mécaniques ainsi obtenus par rapport aux résistances du béton dans l'ouvrage soumis à l'influence des conditions météorologiques et à l'effet de masse du béton.

Pour tenir compte de ces aléas, il convient de prendre des coefficients de sécurité sur les temps de décoffrage afin de s'assurer d'une résistance à la compression suffisante.

7.1. Maturométrie

L'utilisation de la maturométrie permet de contrôler le durcissement du béton pour améliorer la productivité du chantier et assurer la sécurité lors des phases de décoffrage.

Le principe consiste à évaluer en temps réel l'évolution thermique et 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, etc. D'autre part, il convient de faire des essais pour vérifier que le paramètre maturité constante pris en compte pour le décoffrage n'a pas d'incidence sur l'aspect des parements.

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

7.2. Traitement thermique

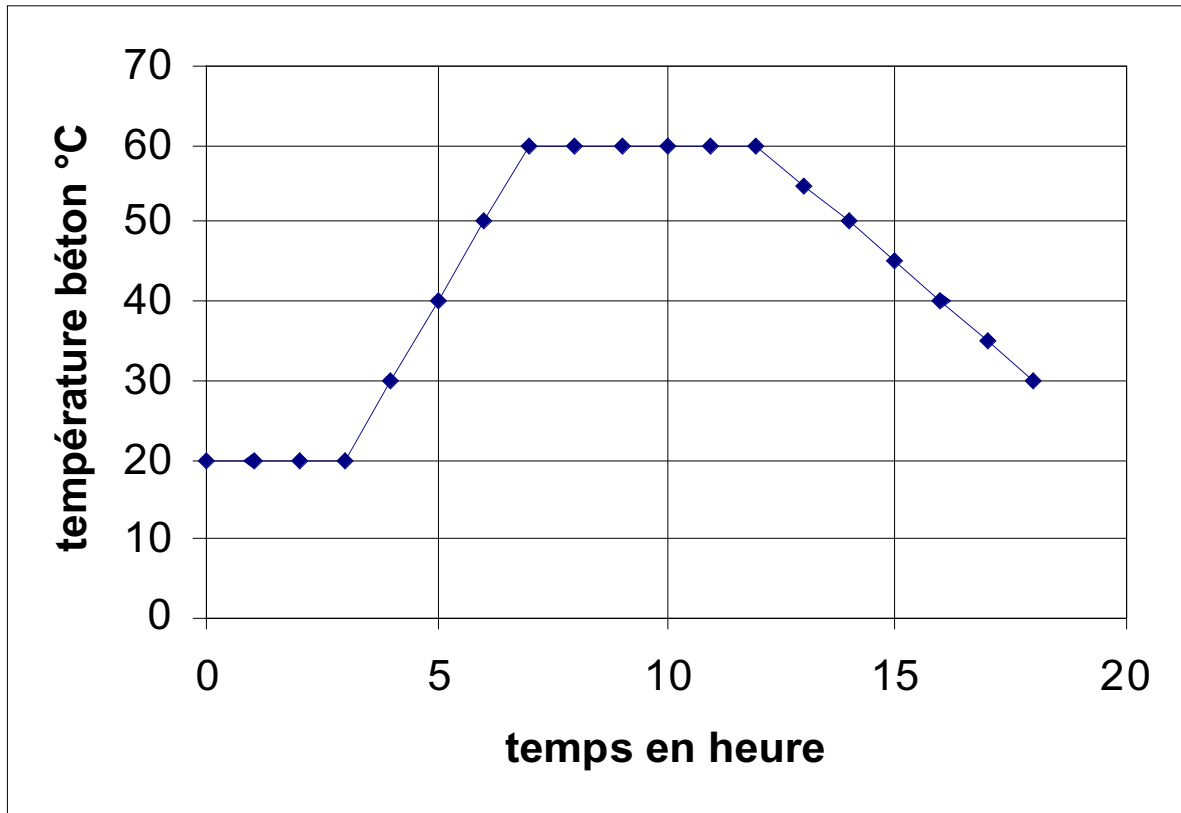
Le traitement thermique a pour objet d'accélérer la réaction d'hydratation du béton. Il permet d'accroître sa résistance au jeune âge. Cette technique est particulièrement utilisée en préfabrication pour permettre de diminuer le cycle de fabrication (démoulage des éléments et mise en précontrainte plus rapides).

En général, le traitement thermique se fait par apport de chaleur, celle-ci étant transmise au béton au moyen de vapeur d'eau ou de moules chauffants.

Un cycle de traitement thermique est composé de quatre phases (voir figure) :

- une phase de prétraitement qui suit la phase de coulage ; ainsi le béton peut commencer sa prise et disposer à la fin de cette phase d'une structure interne suffisamment résistante pour supporter la montée en température ; la période de prétraitement varie de une à quatre heures, selon la nature du ciment utilisé et la vitesse de montée en température ;
- une phase de montée en température au cours de laquelle le béton atteint la température de traitement ; la vitesse de montée en température varie de 10 °C/h à 40 °C/h ; elle est fonction de la massivité de la pièce (prévoir 10 °C/h pour des pièces massives ou d'une hauteur maximale de 40 cm) ;

- un palier de température (entre 60 °C et 80 °C maximum) au cours duquel l'hydratation du béton va se poursuivre. La limite de température (80 °C) évite de désorganiser la structure interne du matériau ;
- une phase de refroidissement qui permet à l'élément de revenir à une température proche de la température ambiante sans risque de désordre. Limiter le gradient thermique entre la surface et le cœur de la pièce à 15 °C environ.



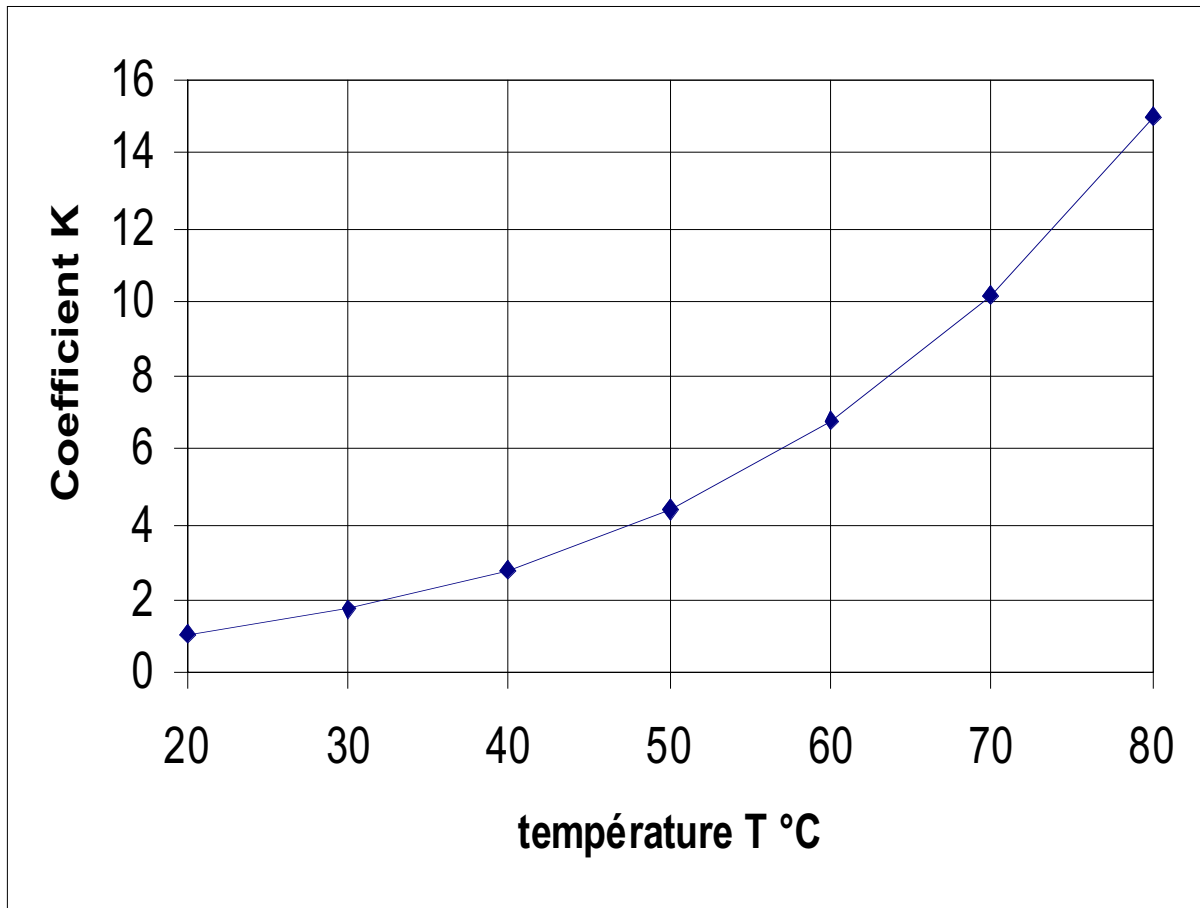
La caractéristique d'un cycle de traitement thermique s'évalue en âge équivalent. Celui-ci est déterminé en décomposant le cycle thermique en plusieurs tranches égales d'heure (t) et en affectant à chaque tranche un coefficient d'équivalence K fonction de la température du matériau (coefficient de maturité basé sur la loi d'Arrhénius).

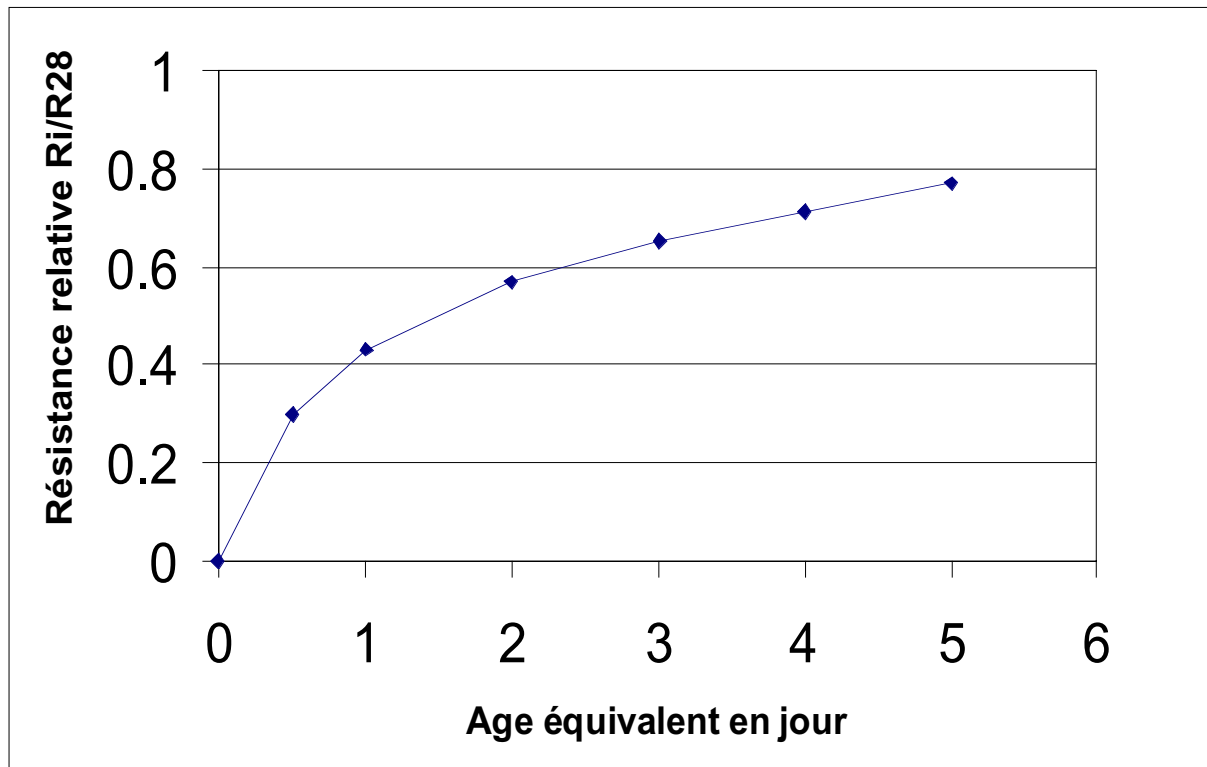
Par exemple, pour un béton soumis à une température T pendant une tranche d'heure t du cycle thermique, l'âge équivalent est : $teq(T) = K.t$. Pour l'ensemble du cycle, on aura donc : $teq = \Sigma (K.t)$ ou $\Sigma (K).t$.

Le coefficient K est fonction de la nature des composants du béton.

La figure suivante donne sa valeur à titre d'exemple pour un CEM I 42,5 au dessus de 20 °C ; en dessous de 20 °C , la valeur de K doit faire l'objet de mesures particulières.

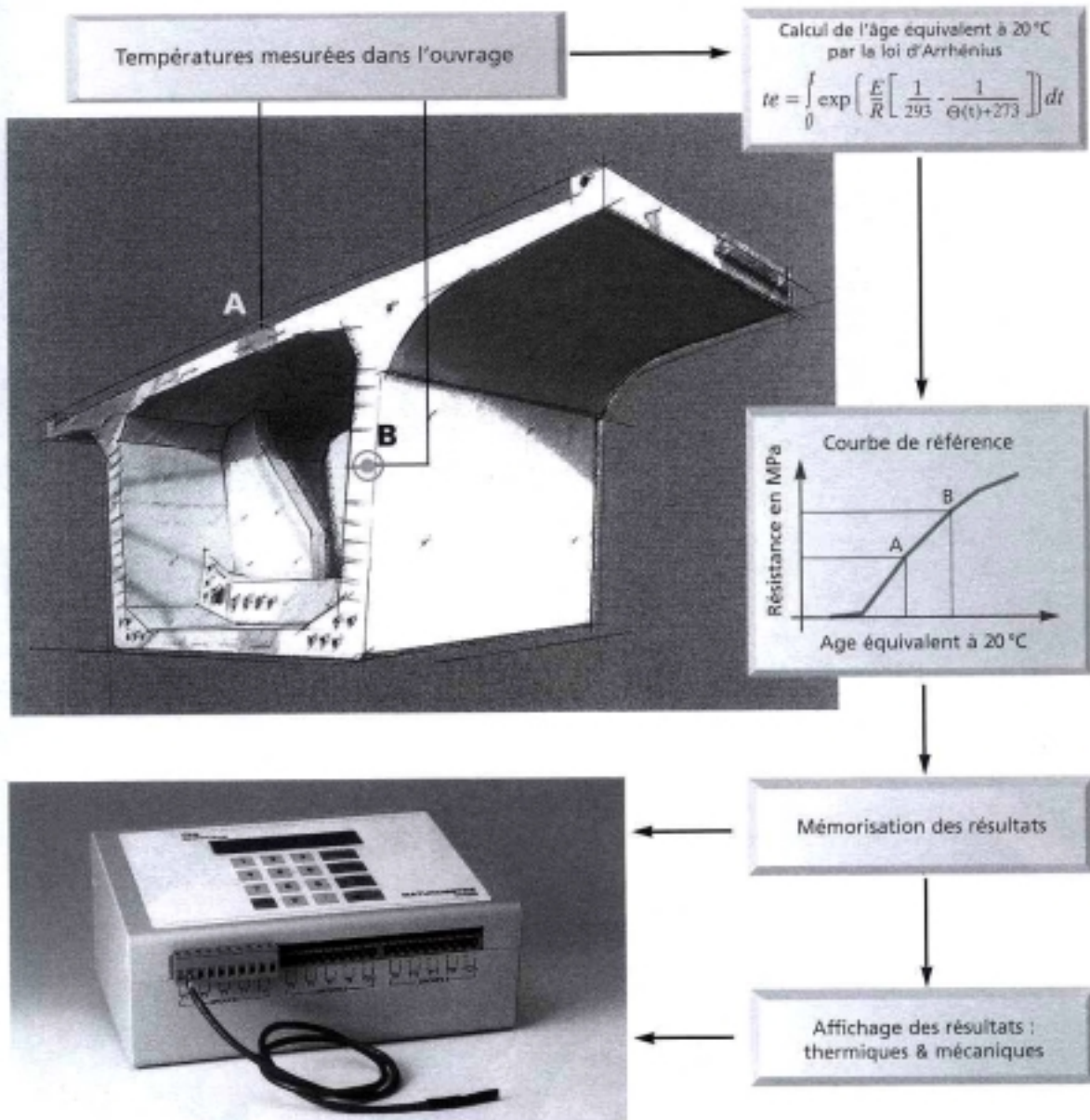
Après détermination de l'âge équivalent, la résistance atteinte par le béton se détermine en utilisant sa courbe de référence définie à 20 °C.



Exemple de courbe*Effet du traitement thermique*

Une baisse de résistance d'environ 10 % est constatée à 28 jours sur un béton traité par rapport au même béton non traité. Cette baisse sera d'autant plus élevée que le cycle de traitement aura été rapide ou à haute température et que le rapport E/C du béton est élevé.

SCHÉMA DE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN MATUROMÈTRE



8. Décoffrage – Démoulage – Cure

8.1. Généralités

Le décoffrage d'une pièce en béton ne peut avoir lieu que lorsque le béton a atteint un durcissement suffisant. Le temps écoulé entre le coulage et le décoffrage varie en fonction de la hauteur de l'ouvrage, de la température extérieure, de la composition du béton.

Lorsqu'un coffrage est employé à répétition 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 d'appliquer, sitôt après démoulage, un produit de cure non tachant sur le parement pour éviter sa dessiccation.

Au fur et à mesure du décoffrage, les éléments de coffrage sont nettoyés puis huilés de manière à les protéger des intempéries et notamment de la rouille pour les coffrages à peau métallique.

8.2. Décoffrage du béton coulé en place

8.2.1. A quel moment ?

Ce critère est très important du fait qu'il peut engendrer des écarts de teintes finales irrémédiables ainsi que des épaufrures, des arrachements du parement.

La méthode empirique consiste à laisser l'ouvrage coffré durant un temps constant tout au long de la mise en œuvre (éviter par exemple les coulages le vendredi). Cependant, cette méthode ne tient pas compte des conditions climatiques.

Aussi existe-t-il des moyens plus « scientifiques » tel que le « maturomètre ». Une fois le point de maturité préétabli atteint, l'opération de décoffrage peut être déclenchée (voir le chapitre *Durcissement*).

Des tests au scléromètre peuvent également être faits pour déterminer le moment du décoffrage.

La méthode au maturomètre est de loin la plus fiable.

8.2.2. Précautions

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

Le retrait du coffrage se fait en plusieurs temps après enlèvement des éléments de serrage :

- décollement de la peau (par légère vibration du coffrage par exemple) ;
- retrait manuel : on s'efforce de retirer le coffrage par un mouvement de retrait perpendiculaire à la surface coffrée tout en maintenant un parallélisme entre coffrage et béton. La valeur de retrait manuel doit être supérieure aux éventuelles modénatures du coffrage.

On évite bien sûr d'utiliser des écarteurs prenant appui sur une partie destinée à rester nue ou au niveau d'une arête fragile.

Pendant le levage des coffrages, on veille à ce que l'outil soit largement éloigné du mur fraîchement décoffré tout au long de cette manœuvre. Dans le cas de murs verticaux, on évite absolument de lever en même temps les deux coffrages en vis-à-vis avec le système classique des compas.

Dans le cas d'un coffrage fixe, l'opération la plus délicate est son décollement. On peut conseiller une mise en pression à l'air comprimé accompagnée d'une légère mise en vibration du coffrage, ces opérations étant réalisées simultanément avec le levage de la pièce.

8.2.3. Contrôle visuel, traitement éventuel

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

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

8.2.4. Nettoyage du coffrage

Avant de répéter les opérations de coffrage, les outils et notamment 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.

8.2.5. Protection de l'ouvrage coulé

Réalisé *in situ*, cet ouvrage est protégé des salissures (film de protection), des chocs (protection des arêtes, des extrémités par des éléments en bois), des taches de rouille (aciers en attente galvanisés). Éviter le fil de fer dans les dispositifs de protection. Être attentif aux protections faites par des matériaux qui, une fois plaqués contre le béton, risquent de le tacher irrémédiablement.

8.3. Démoulage du béton préfabriqué

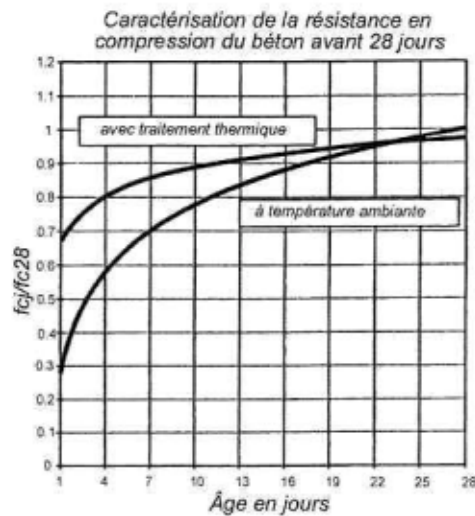
Le démoulage est effectué lorsque le béton a atteint une résistance suffisante (10 MPa environ) pour éviter les risques de dessiccation et d'épaufrures.

La courbe ci-après permet d'apprécier la résistance au jeune âge.

Pour une température ambiante donnée, le délai de démoulage doit rester constant afin de garantir une teinte homogène sur l'ensemble du lot fabriqué. Lorsque la température ambiante varie notablement, se reporter au paragraphe 7.1. *Maturométrie*.

Un appareil de manutention adapté permet le démoulage de l'élément sans accélération ou choc excessif risquant d'engendrer désordres et fissurations.

Caractérisation de la résistance en compression du béton avant 28 jours



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

Le stockage doit être effectué dans des râteliers permettant d'assurer une ventilation entre pièces et évitant la déformation géométrique de l'élément.

Protéger les inserts et armatures en attente permet d'éviter les marques et salissures occasionnées par le matériel de stockage, les traces de rouille par exemple.

8.4. Cure

La cure désigne les conditions ou les traitements appliqués aux bétons pour éviter le départ prématuré (ou excessif) de l'eau qu'ils contiennent :

- la cure permet de maintenir l'eau nécessaire à l'hydratation du ciment, particulièrement dans les zones de surface où la dessiccation peut se produire de façon préférentielle ;
- la cure permet d'éviter certains phénomènes de fissuration, en particulier ceux liés au retrait précoce sur le béton frais (retrait plastique) et sur le béton durci (faïençage) ;
- la cure est nécessaire pour obtenir des performances élevées en peau des bétons ; c'est le cas pour toutes les propriétés liées à la durabilité : résistance au gel/dégel et aux sels de déverglaçage, protection des armatures, résistance à la pénétration des chlorures, résistance à l'abrasion... La cure pour ces bétons là doit faire l'objet d'essais afin de vérifier qu'il n'y a pas d'incidence sur les teintes et aspects de surface.

La durée de cure peut varier de 24 heures à 48 heures selon les conditions climatiques.

La cure est appliquée immédiatement après coulage du béton sur les surfaces non coffrées.

9. Conditions de réception

9.1. Coulé en place

9.1.1. Tolérances dimensionnelles

Sauf prescriptions particulières, les tolérances dimensionnelles sont conformes aux valeurs indiquées ci-dessous (DTU 21, fascicule 65 A du CCTG).

	CLASSE	
	A	B
<i>Planéité</i>		
Face vue :		
. règle de 2 m	≤ 5 mm (*)	≤ 10 mm
. règle de 0,2 m (local)	≤ 2 mm (*)	≤ 4 mm
Face non vue :		
. règle de 2 m	≤ 10 mm	≤ 15 mm

* L'exigence de planéité pour la classe « A » correspond à la désignation P(3) du fascicule de documentation FD P 18-503, soit encore les appellations « parements soignés » du DTU 21 et « parements fins » du fascicule 65 A du CCTG.

Désaffleurement

Les désaffleurs entre panneaux constituant les banches ou entre banches ne doivent pas dépasser :

- pour les parements ordinaires10 mm
- pour les parements courants3 mm avec un linéaire inférieur à 1 m/m²
- pour les parement soignés3 mm avec un linéaire inférieur à 0,5 m/m²

Écarts sur la verticalité ou l'horizontalité

Les écarts sur la verticalité ou l'horizontalité d'un parement (verticalité d'une face de poteau sur une hauteur d'étage, horizontalité de la sous-face d'une dalle sur une trame...) doivent être au plus de 2 cm.

Le défaut d'aplomb admissible d'un élément de hauteur h exprimée en centimètres, voisin de la verticale, est égal à : $\frac{1}{7} \sqrt{hcm}$

Rectitude des arêtes

La tolérance de rectitude sur une arête ou génératrice rectiligne est caractérisée par la flèche admissible sur tout segment de longueur L exprimée en centimètres de cette arête ou génératrice. La tolérance en cause est égale à la plus grande des deux valeurs :

$$\frac{\sqrt{Lcm}}{20} \text{ en élévation ou } \frac{\sqrt{Lcm}}{10} \text{ en plan et de 1 (un) cm.}$$

Pour des arêtes courbes, les tolérances sont fixées par analogie.

Nota : les tolérances fixées ne tiennent pas compte des déformations différées (retrait et fluage) du béton, et ont trait à la correction locale de la géométrie des ouvrages.

9.1.2 Tolérances d'aspect

Les tolérances d'aspect (état de surface, teinte) sont vérifiées conformément au fascicule de documentation FD P18-503.

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

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 :

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) A préciser au marché.

Teinte

Les vérifications de teinte seront faites dans les mêmes conditions d'humidité que celles du béton.

Le principe du nuancier utilisé pour la vérification des teintes est basé sur l'échelle des gris du fascicule de documentation FD P18-503.

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), T (1) et T (2) - critères non considérés dans le présent CPT.

T (3) - écart admissible entre deux zones adjacentes : un degré par rapport à la teinte moyenne.

- écart admissible entre deux zones non contiguës : deux degrés par rapport à la teinte moyenne.

- T (4)
- *écart admissible entre deux zones adjacentes : un degré par rapport à la teinte moyenne.*
 - *écart admissible entre deux zones non contiguës : un degré par rapport à la teinte moyenne.*

Nota : pour les bétons dont la teinte moyenne se situe en dehors des plages couvertes par le document de référence, des échantillons de dénuançage sont nécessaires pour définir les écarts admissibles. Il est également possible d'utiliser l'outil de visualisation directe de la variation des teintes du CERIB.

9.1.3 Durabilité

Les critères de durabilité pour un béton coulé en place sont les suivants :

- enrobage minimal des armatures : 40 mm pour toute surface extérieure ou exposée aux intempéries (voire 50 mm pour les bétons exposés aux environnements marins agressifs), 30 mm pour toutes les autres parties ;
- résistance mécanique : conforme à celle définie dans le CCTP de l'opération ;
- résistance au gel/dégel : lorsque les bétons sont destinés à être mis en œuvre dans un environnement climatique agressif vis-à-vis du gel, un essai de gel/dégel approprié aux conditions d'exposition rencontrées est à effectuer sur des échantillons de béton conformes à la commande :

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

- pour les cas d'environnement agressif (chimique...), la conformité à des essais spécifiques complémentaires peut être prescrite lors de la commande.

9.2 Préfabrication

9.2.1 Tolérances dimensionnelles

Elles sont conformes aux valeurs de la classe de précision mentionnée à la commande et définies dans le *Cahier des charges des éléments architecturaux en béton fabriqué en usine* (FIB), paragraphe 5.2.1.- *Dimensions* (tableau de synthèse rappelé ci-dessous).

	CLASSE	
	A	B
Épaisseur	± 2 mm	± 4 mm
Planéité (flèche)		
Face vue :		
. règle de 2 m	≤ 5 mm (*)	≤ 10 mm
. règle de 0,2 m (local)	≤ 2 mm (*)	≤ 4 mm
Face non vue :		
. règle de 2 m	≤ 10 mm	≤ 15 mm
Planéité (flèche)		
Face vue :		
. règle de 2 m	≤ 5 mm (*)	≤ 10 mm
. règle de 0,2 m (local)	≤ 2 mm (*)	≤ 4 mm
Face non vue :		
. règle de 2 m	≤ 10 mm	≤ 15 mm
Gauchissement		
h = hauteur de l'élément en mm	$\sqrt{h} \times \frac{1}{12} \text{ mm}$	$\sqrt{h} \times \frac{1}{6} \text{ mm}$
Longueur, largeur, autres dimensions		
Pour les dimensions jusqu'à 5 m	± 1 mm/m	± 2 mm/m
Pour la partie au-delà de 5 m et jusqu'à 12 m	0,5 mm/m	± 1 mm/m
Tolérance maximale admise quelle que soit la dimension	± 8 mm	± 16 mm
Orthogonalité		
Limite de la différence entre diagonales		
Pour les dimensions jusqu'à 5 m	1,5 mm/m	3 mm/m
Pour la partie au delà de 5 m et jusqu'à 12 m	0,75 mm/m	1,50 mm/m
Tolérance maximale admise quelque soit la dimension	12 mm	24 mm
Dans le cas de pièces non rectangulaires, par analogie, la commande pourra préciser la mesure de l'écart entre diagonales théoriques et diagonales mesurées comme mode d'appréciation de l'angularité.		
Rectitude des arêtes (des éléments et des ouvertures)	≤ 4 mm	
Angles et arêtes vus	Les arêtes d'abouts doivent être nettes et ne pas présenter de discontinuité excédant 50 mm. Les arêtes des angles doivent être bien formées et ne pas présenter d'écornure supérieure à 10 mm.	
Incorporation inserts	Sauf précision particulière indiquée sur les plans ou dans les conditions spécifiques des fournisseurs de ces inserts contractuels de fabrication, la tolérance relative à la position de ces éléments est de ± 10 mm.	
Baies pour menuiseries rapportées	Sauf précision particulière indiquée sur les plans, la tolérance relative à la position des ouvertures est de ± 5 mm par rapport à la côte théorique.	

* L'exigence de planéité pour la classe « A » correspond à la désignation P(3) du fascicule de documentation FD P 18-503, soit encore les appellations « parements soignés » du DTU 21 et « parements fins » du fascicule 65 A du CCTG.

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 seront fabriqués lors de la commande par l'industriel.

Un procès verbal d'acceptation sera signé entre les différentes parties (voir le *Cahier des charges des éléments architecturaux en béton fabriqués en usine*, FIB).

État de surface, texture

L'état de surface sera comparé à celui des échantillons témoins définis ci-dessus.

Le niveau de qualité de la texture d'épiderme, E (1) à E (4), sera évalué en référence à l'échelle de bullage définie dans le *Cahier des charges des éléments architecturaux en béton fabriqués en usine*, FIB.

Commentaires : rappel des exigences E (1) à E (4)

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) A préciser au marché.

Teinte

Les vérifications de teinte seront faites dans les mêmes conditions d'humidité que celles du béton. Le principe du nuancier utilisé pour la vérification des teintes est basé sur l'échelle des gris du fascicule de documentation FD P18-503.

Le maître d'œuvre définira avec le préfabricant, à l'occasion de la réalisation des échantillons, les écarts de teinte admissibles.

La vérification de la teinte se fera selon la procédure du *Cahier des charges des éléments architecturaux en béton fabriqués en usine*, FIB (paragraphe 8.3.). En particulier la vérification pourra se faire à l'aide de l'outil de visualisation directe de la variation acceptable d'une teinte (outil de visualisation mis au point par le CERIB).

Commentaires :

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), T (1) et T (2) - critères non considérés dans le cahier des charges.

- T (3)*
- *écart admissible entre deux zones adjacentes : un degré par rapport à la teinte moyenne.*
 - *écart admissible entre deux zones non contiguës : deux degrés par rapport à la teinte moyenne.*
- T (4)*
- *écart admissible entre deux zones adjacentes : un degré par rapport à la teinte moyenne.*
 - *écart admissible entre deux zones non contiguës : un degré par rapport à la teinte moyenne.*

Nota : pour les bétons dont la teinte moyenne se situe en dehors des plages couvertes par le document de référence, des échantillons de dénuançage sont nécessaires pour définir les écarts admissibles. Il est également possible d'utiliser l'outil de visualisation directe de la variation des teintes du CERIB.

9.2.3 Durabilité

Les critères de durabilité pour un béton préfabriqué sont les suivants :

- enrobage minimal des armatures : 30 mm pour toute surface extérieure ou exposée aux intempéries (voire 40 mm pour les bétons exposés aux environnements marins agressifs), 20 mm pour toutes les autres parties ;
- résistance mécanique : à 28 jours et sauf spécification supérieure précisée à la commande, le béton constitutif doit présenter une résistance caractéristique minimale de 30 MPa au fractile 0,05 ;
- absorption d'eau par remontée capillaire : Le coefficient d'absorption d'eau par remontée capillaire du béton de granulats courants doit présenter à 28 jours pour les bétons de masse et de parement une valeur au plus égale à 3, aucun résultat individuel n'excédant 3,5 ;
- consistance : sauf utilisation d'adjuvants, la plasticité du béton frais doit être telle que son affaissement au cône d'Abrams mesuré selon la norme NF P18-451 soit inférieur ou égal à 10 cm ;
- 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 d'absorption d'eau par remontée capillaire peut être complété par un essai de gel/dégel le plus approprié aux conditions d'exposition rencontrées :

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
Pour les autres cas d'environnement agressif (chimique...), la conformité à des essais spécifiques complémentaires peut être prescrite lors de la commande.

9.2.4 Marquage

Chaque élément est marqué avec les indications suivantes :

- identification de l'usine productrice ;
- date de fabrication et code de l'équipe responsable du moulage ;
- repérage de la pièce ;
- classes de performance : dimensions, teintes, textures ;
- marque de certification éventuelle.

9.2.5 Réception en usine

Le préfabricant informe le maître d'œuvre de la réalisation de la première pièce et l'invitera à la réceptionner en usine. L'examen visuel doit être fait dans des conditions comparables aux conditions finales d'exposition des pièces (distance, inclinaison...) (voir la procédure de contrôle définie dans le *Cahier des charges des éléments architecturaux en béton fabriqués en usine*, FIB).

9.2.6 Réception sur chantier

Chaque élément doit être livré avec un bon de livraison comportant la déclaration de conformité aux spécifications de la commande. Il reproduit les indications du marquage, complétées par la mention du transporteur et la date de livraison.

Pour les éléments faisant l'objet de la certification Qualif-IB éléments architecturaux 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 et ne nécessite pas de contrôle de réception, dans la mesure où la certification couvre l'ensemble des spécifications de la commande.

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 (sortie d'usine ou chantier).

Les dégradations et les non-conformités doivent être mentionnées sur l'exemplaire du bon de livraison du transporteur.

10 Joints d'étanchéité en façade

10.1 Généralités

Le calfeutrement des joints en façade est une opération importante pour la réussite de l'ouvrage. Les limites de chaque technique sont précises et il est indispensable de se référer aux documents suivants :

- Règles professionnelles du Syndicat national des Joints et Façades (septembre 1989).
A noter : la publication prochaine du DTU 44.1. – *Étanchéité des Joints de façade par mise en œuvre de mastics* se substituera à ces règles.
- 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.

En complément de la fonction technique, la fonction esthétique doit tenir compte des exigences architecturales.

10.1.1 Définition

On appelle joint :

- le volume laissé libre entre deux éléments de construction ;
- le matériau qui sert à remplir ce volume, dit plus spécifiquement matériau de calfeutrement ou de jointoiement.

Les matériaux de jointoiement assemblent donc divers 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. Ils doivent absorber ces mouvements sans subir de dommage afin de continuer à assurer la fonction d'étanchéité.

10.1.2 Sollicitations

Les joints peuvent être soumis à différentes sollicitations :

- traction, élongation
- compression, retrait
- cisaillement, glissement
- érosion en surface
- pression d'eau
- agression chimique

10.2 Produits de calfeutrement et systèmes d'étanchéité

On distingue :

- les joints souples, de dilatation, de raccordement entre éléments (panneaux en béton, murs rideaux, menuiseries...);
- les joints mécaniques de raccordement entre éléments et panneaux en béton.

10.2.1 Joints souples

Les joints souples calfeutrés par un mastic relèvent des Règles professionnelles SNJF. En résumé :

- le mastic doit être homologué (label SNJF) ;
- l'entreprise doit être qualifiée Qualibat et SNJF éventuellement :
 - 34 Calfeutrement et protection des façades
 - 341 Calfeutrement des joints de construction (3411 – 3412 – 3413)
 - 342 Imperméabilisation des façades (3421 – 3422 – 3423)
 - 343 Étanchéité des façades (3431 – 3432 – 3433)
 - 35 Menuiseries métalliques
 - 36 Menuiseries en matériaux de synthèse

Les spécifications des règles professionnelles doivent être respectées.

Types de mastics

Il existe plusieurs chimies de mastics : polyuréthanes, silicone, acrylique, butyl.

En qualité d'organisme certificateur, le SNJF attribue en fonction des performances mécaniques des labels suivant quatre classes :

- élastomère 1^{er} catégorie (par exemple : polyuréthane, silicone...) :
- élastomère 2^e catégorie :
- plastique 1^{er} catégorie (par exemple : acrylique, butyl) :
- plastique 2^e catégorie.

Nota : les élastomères de première catégorie sont recommandés pour la grande déformation qu'ils procurent.

10.2.2 Joints mécaniques

Ils mettent en œuvre des profilés, généralement en PVC, constitués par deux glissières incorporées à la fabrication dans les rives des panneaux, et d'une languette que l'on introduit, lors du montage, dans les glissières de deux panneaux adjacents. Ils sont principalement utilisés pour la réalisation des écrans pare-pluie des joints verticaux. La principale caractéristique de ces joints est qu'ils ne sont pas sollicités par les variations d'ouverture des joints, ce qui les rend particulièrement aptes à être utilisés dans les joints exposés à de grandes variations d'ouverture, comme les joints entre panneaux sandwichs à voile extérieur librement dilatable. Ils sont d'une grande durabilité. Certains systèmes font l'objet d'Avis Techniques.

10.3 Types de joints

Les joints sont classés en deux types :

- les joints à un étage : ce sont des joints dont l'étanchéité à l'air et à l'eau est assurée par un produit de calfeutrement uniquement ;
- les joints à deux étages (joints ouverts, joints ventilés, joints drainés, joints à chambre d'égalisation de pression) : ce sont des joints dont l'étanchéité à l'air et à l'eau est assurée par plusieurs éléments, l'un d'entre eux étant un produit de calfeutrement.

Par exemple, ce type de joint 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 assumant l'étanchéité à l'air.

10.4 Dimensionnement du joint

Les éléments préfabriqués, bien que liés de façon rigide à la structure, présentent des variations dimensionnelles. Celles-ci sont la conséquence des contraintes thermiques que subit le béton : le SNJF considère un écart de température de 80 °C entre hiver (-10 °C) et été (+70 °C). Les variations dimensionnelles sont aggravées par la mise en œuvre en façade d'un parement sombre, captant plus fortement le rayonnement solaire.

Le DTU 22.1 prévoit que les joints doivent avoir une largeur comprise entre 10 mm et 30 mm, une largeur nominale de 15 mm convenant le plus souvent. Les règles professionnelles SNJF proposent un calcul du dimensionnement des joints verticaux.

10.4.1 Joints horizontaux

Dans le cas de joints horizontaux, on aura intérêt à utiliser des profils formant recouvrement. En principe, une différence de niveau permet d'obtenir une étanchéité satisfaisante même en l'absence de complément d'étanchéité si l'exécution est correcte (cf. DTU 22.1).

10.4.2 Joints verticaux

Le calcul de l'ouverture des joints se fait en considérant les paramètres suivants :

1. la longueur des panneaux

Le coefficient de dilatation du béton (10^{-5} m/m/°C) et l'écart maximal de température sur une année, soit 80 °C (Règles professionnelles SNJF) permettent de calculer le mouvement maximal des panneaux : d.

2. le taux de travail du mastic de calfeutrement utilisé :

- 25 % pour les mastics élastomères 1^{re} catégorie (label SNJF) ;
- 12,5 % pour les mastics plastiques 1^{re} catégorie (label SNJF) ;
- permet de dimensionner le joint. Pour un élastomère de première catégorie, la largeur du joint est 4 x d. Elle est de 8 x d pour un mastic plastique de première catégorie.

Seuls les mastics élastomères permettent le calfeutrement des joints à un étage (cette solution est toutefois limitée aux façades protégées ou aux bâtiments industriels).

10.5 Mise en œuvre

L'exécution du jointoiment et des travaux préparatoires doit être confiée à des équipes spécialisées titulaires des qualifications déjà citées. Le mastic utilisé doit être titulaire d'un label SNJF en cours de validité. Une attention toute particulière sera apportée aux points suivants :

- l'adhérence du mastic devra être vérifiée si les supports ne sont pas en béton brut (contacter le cas échéant le fabricant du mastic) ;
- les surfaces de contact (ou interfaces) du joint devront être propres, sèches, exemptes de tout produit (laitance, huile de décoffrage...) susceptible de nuire à l'adhérence du mastic ;
- les dimensions du joint seront contrôlées en tenant compte des mouvements thermiques (cf. *Dimensionnement*) ;
- 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.

11 Durabilité des parements en béton

11.1 Protection, entretien et ravalement

11.1.1 Cf. *Protection et entretien des bétons clairs (Annexe au CPT)*, BETOCIB.

11.1.2 Gommage

C'est un nettoyage à sec, sans eau ni produit chimique, effectué à l'aide de microfines minérales ou végétales choisies en fonction de la nature du support à nettoyer.

11.2 Réparation

Le respect du *Cahier des prescriptions techniques* de BETOCIB conduit à une durabilité optimale du béton architectonique. Mais, après un certain temps, l'observation des ouvrages nous amène à constater que le béton est susceptible de se dégrader sous l'influence de nombreux facteurs, qu'ils soient propres au matériau (compacité, perméabilité, épaisseur d'enrobage des armatures, dosage en ciment, choix des granulats...) ou à son environnement (pollution atmosphérique, sels de déverglaçage, chocs...).

Pour préserver la pérennité de l'ouvrage, à défaut de conserver son aspect initial, la démarche suivante est à envisager :

- observation et diagnostic pour déterminer la cause des désordres ;
- solutions de réparation.

L'observation des règles mentionnées dans le présent CPT permet d'éviter l'apparition et le développement de pathologies.

11.2.1 Observation et diagnostic

Suite à l'observation de dégradations constatées lors de la visite des ouvrages, qu'il convient de planifier, un diagnostic de structure est un préalable indispensable à toute opération de réhabilitation, conformément à 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.* Ce diagnostic a pour but d'identifier la pathologie, d'évaluer son ampleur et d'en déterminer les causes.

Il appartient au maître d'œuvre de déterminer les moyens pour réaliser ce diagnostic : observations visuelles, mesures *in situ*, analyses en laboratoire, simulation de vieillissement, etc.

Pour les réparations à exécuter, ce diagnostic approfondi permet de définir la famille de produits à utiliser, les conditions d'application, l'ampleur de la préparation du support, etc. et les traitements complémentaires à envisager.

Il est recommandé de contacter des laboratoires spécialisés en diagnostic et en réparation.

11.2.2 Traitement des dégradations courantes

11.2.2.1 Fissures

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.

Microfissures : ouverture très fine d'une largeur inférieure à 0,2 mm.

Fissure : ouverture dont la largeur est comprise entre 0,2 mm et 2 mm.

Lézarde ou crevasse : ouverture dont la largeur est supérieure à 2 mm.

Faïençage et fissuration superficielle

Ce phénomène se manifeste par un réseau de fines ouvertures qui n'intéresse que la couche superficielle de laitance du béton brut.

Ce phénomène naturel est inesthétique mais ne nuit pas à la durabilité des éléments.

Actions préventives :

- Pour éviter ces fissures, il faut maintenir humide la surface du béton les premiers jours ou utiliser un produit de cure. Des excès de dosage en ciment ou en filler sont à éviter également.

Actions curatives :

- Appliquer un traitement de gommage ou un léger sablage.
- Appliquer ensuite un minéralisateur ou un hydrofuge de surface.

Fissure passive

Fissure 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 :

- Une armature en treillis soudé est à disposer dans le béton de parement pour éviter ces fissures.

Actions curatives :

- Colmatage des fissures par injection ou calfeutrement.

Fissure active

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

Les fissures d'origine mécanique sont assez rares et résultent en général de fautes dans la conception ou l'exploitation des ouvrages.

Les fissures d'origine thermique 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 et des armatures ainsi que les problèmes liés à la transmission de chaleur tels que l'ensoleillement, les ponts thermiques, etc.

Actions correctives :

- Injection de produit souple, tel que mastic élastomère de première catégorie (possédant le label SNJF), essentiellement polyuréthane et silicone.

11.2.2.2 Béton soumis 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.
- A titre indicatif, la formulation du béton peut suivre les règles suivantes :
 - emploi de gravillons non gélifs suivant XP P 18-540 ;
 - emploi de sable insensible au gel suivant XP P 18-576.- *Granulats. Mesure du coefficient de friabilité des sables* ;
 - ciment de classe 32,5 et plus, dosé en ciment à plus de 330 kg/m³ ;
 - rapport E/C inférieur à 0,55 ;
 - teneur en air entraîné du béton frais : 4 % à 6 % ;
 - facteur d'espacement L barre ≤ 200 μm.

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	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

Actions curatives

- Appliquer, après élimination de la partie friable du béton, un produit normalisé de réparation de surface compatible avec la finition recherchée.

11.2.2.3 Nids de cailloux

La formation de nids de cailloux provient essentiellement de la ségrégabilité du béton (manque de fines, mauvaise consistance, rapport Granulat/Sable inadapté).

Le phénomène est amplifié par d'autres paramètres liés à une mise en œuvre insuffisamment soignée, par exemple lors d'une vibration insuffisante, trop longue ou mal adaptée ou, dans le cas de coulage *in situ*, d'une hauteur de chute trop importante, ou encore dans le cas de fuites de laitance dans des coffrages non étanches.

Actions préventives

- Pour ne pas avoir un béton ségrégré, il convient d'étudier soigneusement la formulation et d'éviter les excès d'eau.
- Utiliser des coffrages étanches pour éviter toute fuite de laitance.

Actions correctives

- Il convient de pratiquer un ragréage dans le cas où les surfaces atteintes sont limitées, mais ce ragréage restera toujours visible. Dans le cas où les nids de cailloux occupent des surfaces importantes, il convient de démolir la partie d'ouvrage concernée.

11.2.2.4 Bullage

Le bullage n'altère pas les résistances mécaniques du béton mais 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 une huile de décoffrage adaptée au moule et au béton.

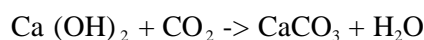
Actions curatives

- Ragréer avec un produit normalisé et compatible avec la finition souhaitée.

11.2.2.5 Efflorescences

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

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 tendra à s'échapper de la masse du béton vers l'extérieur, d'autant plus vite que l'atmosphère sera chaude et sèche. Cette eau chargée en chaux dissoute et en sels divers cheminera vers la surface, l'eau qui la supporte s'évaporerait, l'air l'atteindra et son contact déclenche une réaction lente provoquée par le gaz carbonique de l'air :



Ce carbonate de calcium insoluble se déposera en surface où un voile blanchâtre apparaîtra. **Les efflorescences 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.
- *Actions curatives*
- Saturer d'eau le support et appliquer l'agent de nettoyage (acide phosphorique dilué à 5 % ou 10 %) avec un chiffon en nylon. Rincer abondamment dans la minute suivante.

11.2.2.6 Salissures et taches

Se reporter aux documents suivants :

- *Protection et entretien des bétons clairs* (Annexe au CPT), BETOCIB ;
- document Cimbéton B.62 : *Architecture : construire en béton préfabriqué. Guide pour l'utilisation d'éléments en béton architectonique dans les projets d'architecture* ;
- « Les altérations visibles du béton. Définitions et aide au diagnostic, » *Les Cahiers du Cercle des Partenaires du patrimoine*.

11.2.2.7 Alkali-réaction

Il s'agit d'une réaction chimique entre les alcalins du ciment avec de la silice soluble contenue dans certains granulats (granulats siliceux solubles, granulats dolomitiques). Cette réaction peut former un gel gonflant susceptible de provoquer la fissuration par expansion interne du béton.

Actions préventives

- Il faut, avant de faire le choix des matériaux, se référer aux recommandations (1994) du LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction.
- Utiliser des fumées de silice.

Actions correctives

- Aucune solution à ce jour, hormis une surveillance accrue des désordres.

11.2.2.8 Corrosion des aciers sous l'action de la carbonatation ou des chlorures

Le plus souvent, les dégradations constatées sur des éléments en béton armé sont dues à un phénomène de corrosion des aciers d'armature.

Dans un béton neuf, les aciers ne s'oxydent pas car ils sont passivés naturellement par l'alcalinité due au ciment. En revanche, si le béton comporte des chlorures (sels de déverglaçage, ambiance maritime...) ou s'il a perdu de son alcalinité sous l'effet du gaz carbonique contenu dans l'atmosphère (phénomène de carbonatation), le pouvoir passivant disparaît et les réactions de corrosion peuvent démarrer : il y a petit à petit formation de rouille et comme celle-ci est expansive, le béton finit par fissurer et éclater.

Actions préventives

- Les règles de calcul du béton armé aux états limites BAEL 99 et le DTU 22.1 de juin 1980 concernant les murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions fixent des épaisseurs minimales d'enrobage.
- BETOCIB préconise pour les parements en béton de ciment blanc que cet enrobage soit au minimum égal à deux fois le diamètre des gros granulats et au minimum de 4 cm en ambiance normale et 5 cm en ambiance agressive (maritime...).

Actions correctives

- Éliminer les éclats de béton.
- Éliminer la corrosion à l'aide d'un procédé mécanique (brossage, meulage, sablage).
- Protéger les armatures (coulis de protection contenant des inhibiteurs de corrosion).
- Ragréer la partie endommagée à l'aide d'un mortier de réparation normalisé.
- Effectuer les finitions appropriées.

Pour éviter, après la réparation, le renouvellement des désordres, surtout lorsque ceux-ci sont dus à un agent extérieur (gaz carbonique, sels de déverglaçage, gel/dégel, eaux pures, etc.), il convient de compléter les opérations de réparation :

- par un revêtement de protection pour empêcher la carbonatation ou la pénétration des chlorures, lorsque cela est esthétiquement acceptable, ou par application d'un produit hydrofuge ;
- par l'utilisation d'un inhibiteur de corrosion.

L'inhibiteur de corrosion appliqué à la surface du béton migre à travers celui-ci jusqu'aux armatures et agit en modifiant chimiquement la surface de l'acier afin de s'opposer aux réactions de corrosion.

12 Documents et textes de référence

NF A 35-015	Oct. 1996	Armatures pour béton armé. Ronds lisses soudables.
NF A 35-016	Oct. 1996	Armatures pour béton armé. Barres et couronnes soudables ou en dalles à verrous de nuances Fe E 500. Treillis soudés constitués de ces armatures.
NF A 35-017	Oct. 1996	Armatures pour béton armé. Barres et fils machine non soudables à verrous.
NF A 35-019	Oct. 1998	Armatures pour béton armé. Armatures constituées de fils soudables à empreintes. Partie 1 : Barres et couronnes. Partie 2 : treillis soudés.
NF A 35-024	Février 1998	Aciers pour béton. Treillis soudés constitués de fils de diamètre inférieur à 5 mm.
NF A 35-027	Décembre 1995	Armatures pour béton armé. Armatures industrielles pour le béton.
NF A 35-030	Octobre 1996	Produits sidérurgiques. Barres crénelées à haute adhérence pour poteaux en béton armé, support de lignes aériennes.
NF A 35-035	Décembre 1993	Produits en acier. Fils lisses et torons de précontrainte galvanisés à chaud.
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	Barres et fils machine destinés à l'étirage. Défauts de surface.
NF EN 197-1 (publié prochainement)		Ciments. Partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.
NF EN 934-2	Avril 1998	Adjuvants pour béton, mortier et coulis. Partie 2 : Adjuvants pour béton. Définition et exigences.
NF P 15-301	Juin 1994	Liants hydrauliques. Ciments courants. Composition, spécifications et critères de conformité.
NF P 18-303	Mai 1941	Béton. Mise en œuvre. Eau de gâchage pour béton de construction.
NF P 18-508	Juillet 1995	Additions pour bétons hydrauliques. Additions calcaires. Spécifications et critères de conformité.
NF P 18-509	Décembre 1998	Additions pour bétons hydrauliques. Additions siliceuses. Spécifications et critères de conformité.
NF P 95-101	Nov. 1993	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.

EN 206-1		Béton. Performances, production et conformité.
FD P 18-503	Nov. 1989	Surfaces et parements en béton. Éléments d'identification.
XP P 18-305	Août 1996	Béton. Béton prêt à l'emploi.
XP P 18-340	Décembre 1998	Adjuvants. Adjuvants spéciaux pour bétons. Définitions, spécifications et critères de conformité.
XP P 18-420	Juin 1995	Bétons. Essai d'écaillage des surfaces de béton durci exposées au gel en présence d'une solution saline.
XP P 18-424	Oct. 1994	Bétons. Essais de gel sur béton durci. Gel dans l'eau. Dégel dans l'eau.
XP P 18-425	Oct. 1994	Bétons. Essais de gel sur béton durci. Gel dans l'air. Dégel dans l'eau.
XP P 18-540	Octobre 1997	Granulats. Définitions, conformité, spécifications.
XP P 18-576		Granulats. Mesure du coefficient de friabilité des sables.
XP P 18-597	Déc. 1990	Granulats. Détermination de la propreté des sables : équivalent de sable à 10 % de fines.
DTU 21. (NF P 18-201)	Mai 1993	Exécution des travaux en béton.
DTU 21-4 (P 18-203)	Oct. 1977	L'utilisation du chlorure de calcium et des adjuvants contenant des chlorures dans la confection des coulis, mortiers et bétons.
DTU 22.1 (NF P 10-210)	Mai 1993	Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire.
DTU 23.1 (NF P 18-210)	Mai 1993	Murs en béton banché.
DTU 44.1 (publié prochainement)		Étanchéité des joints de façade par mise en œuvre de mastics.
DTU 55-2 (NF P 65-202)	Mai 1993	Revêtements muraux attachés en pierre mince.
DTU 59-1 (NF P 74-201)	Oct. 1994	Travaux de peinture des bâtiments.
BAEL 99		Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites.
BPEL 99		Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton précontraint suivant la méthode des états limites.
Fascicule n° 65 A du CCTG et additif	janv. 1992	Exécution des ouvrages en béton armé ou en béton précontraint par post-tension.
Fascicule n° 65 B	Janvier 1992	Exécution des ouvrages de génie civil de faible importance en béton armé.

13 Descriptif type

Le présent chapitre s'adresse aux concepteurs, architectes et prescripteurs techniques qui ont à rédiger un descriptif concernant la réalisation d'ouvrages en béton de ciment blanc.

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 plus de son objectif principal qui est de fournir une description précise des ouvrages à réaliser, 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

L'entrepreneur adjudicataire des travaux qui exécute les ouvrages de ciment blanc, ainsi que le préfabricant, devront respecter, tant pour la composition des bétons que pour leur mise en œuvre, les différents textes et réglementations en vigueur ainsi que le *Cahier des charges des éléments architecturaux en béton fabriqués en usine* établi par la FIB (Fédération de l'Industrie du béton) et les présentes prescriptions techniques.

13.1.1 Textes de référence

- NF P 15-301. *Liants hydrauliques. Ciments courants. Composition, spécifications et critères de conformité.*
- NF P 10-210 - DTU 22.1. *Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire.*
- « Prescriptions Techniques Communes aux procédés de mur ou de gros œuvre », *Cahier du CSTB*, n°2159, livraison 279, mai 1987.
- Fascicule 65 A et additif : *Exécution des ouvrages en béton armé ou en béton précontraint par post-tension* (fascicule du CCTG applicable aux marchés publics).
- *Cahier des charges des éléments architecturaux en béton fabriqués en usine*, FIB, 1996.
- *Règlement particulier de la certification Qualif-IB Éléments architecturaux en béton fabriqués en usine*, FIB, 1996.
- *Les bétons à base de ciment blanc. Prescriptions techniques*, BETOCIB, 2000.
- *Recommandations SNJF* (Syndicat National des joints et façades) *pour la réalisation des joints de bâtiment.*

13.1.2 Étendue de la prestation

Tous les bétons de ciment blanc sont à prévoir et à exécuter (y compris toutes sujétions techniques) en fonction de l'aspect final recherché, suivant les caractéristiques du projet du maître d'œuvre, aux emplacements mentionnés sur les plans et dans le présent descriptif.

L'architecte se tient à la disposition des entreprises, au moment de l'étude, pour leur fournir tout renseignement complémentaire sur ses exigences, afin d'éviter tout malentendu au moment de la réalisation.

13.1.3 Choix du préfabricant

Le préfabricant doit être soumis à l'acceptation du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre selon les dispositions suivantes :

- les composants sont fabriqués dans une usine fixe, de préférence titulaire du Qualif-IB éléments architecturaux ;
- la fabrication est couverte par un plan d'assurance de la qualité applicable aux éléments architecturaux en béton ;
- les références antérieures seront indiquées lors de la remise de l'offre.

L'entreprise générale doit préciser lors de la remise de son offre, le nom du ou des fabricants à qui sera confiée la réalisation des composants préfabriqués.

13.1.4 Conception des éléments

Les éléments architecturaux en béton fabriqués en usine doivent être réalisés en respectant la totalité des critères de qualité techniques, dimensionnels et esthétiques souhaités.

En collaboration avec l'industriel fabricant, l'entreprise générale 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 leur étude, plans, adaptations, fabrication, transport.

13.1.5 Parements

Les parements - reliefs, modénatures, textures et teintes - sont définis conformément aux chapitres 3 à 5 de ce *Cahier des prescriptions techniques* de BETOCIB.

Un échantillon témoin est réalisé pour chaque parement. Les échantillons témoins seront datés, identifiés et approuvés par le maître d'œuvre. Ils seront conservés pendant toute la durée de l'opération. L'un sera tenu à l'abri de la lumière pour servir de référence aux nouveaux arrivages.

La formalisation de l'accord sur les échantillons témoins fait l'objet d'un procès-verbal d'acceptation établi et signé par les parties concernées.

Les différents parements utilisés sont définis conformément aux échantillons suivants, déposés chez l'architecte et sur le chantier :

Pour éviter toute ambiguïté, les différents parements de chaque élément type seront précisés sur un plan. Définir également la qualité d'aspect des faces non vues.

Exemple de définition :

Description du parement	Échantillon témoin (référence)*	Observations
<ul style="list-style-type: none"> Face externe des panneaux (façade Nord) : traitement poli 5 passes avec bouchonnage entre chaque passe. (plan n° ...)	<ul style="list-style-type: none"> P125 (nom du fabricant :.....) 	<ul style="list-style-type: none"> Prévoir des bords abattus.

* Des échantillons témoins sont disponibles chez le préfabricant.

Pour s'assurer de la régularité d'aspect, la composition du béton est conforme à la composition nominale de l'échantillon retenu, ainsi que la définition des coffrages et des produits de décoffrage.

Les niveaux de teinte moyenne et de qualité d'aspect (texture et teinte) sont définis pour chaque échantillon, selon les procédures et prescriptions définies dans *le Cahier des charges des éléments architecturaux en béton fabriqués en usine*, FIB.

13.1.6 Tolérances dimensionnelles

Les tolérances dimensionnelles sont définies comme suit, selon les prescriptions du *Cahier des charges des éléments architecturaux en béton fabriqués en usine*, FIB.

Classe de précision retenue :

Choisir la classe A ou B correspondant au degré de précision souhaité :

- classe A : exigences dimensionnelles élevées ;
- classe B : exigences dimensionnelles courantes.

	CLASSE	
	A	B
Épaisseur	± 2 mm	± 4 mm
Planéité (flèche)		
Face vue :		
. règle de 2 m	≤ 5 mm *	≤ 10 mm
. règle de 0,2 m (local)	≤ 2 mm *	≤ 4 mm
Face non vue :		
. règle de 2 m	≤ 10 mm	≤ 15 mm
Gauchissement	$\sqrt{h} \times \frac{1}{12}$ mm	$\sqrt{h} \times \frac{1}{6}$ mm
h = hauteur de l'élément en mm		
Longueur, largeur, autres dimensions		
Pour les dimensions jusqu'à 5 m	± 1 mm/m	± 2 mm/m
Pour la partie au-delà de 5 m et jusqu'à 12 m	± 0,5 mm/m	± 1 mm/m
Tolérance maximale admise quelle que soit la dimension	± 8 mm	± 16 mm

./.

/.

	CLASSE	
	A	B
Épaisseur	± 2 mm	± 4 mm
Orthogonalité		
Limite de la différence entre diagonales		
Pour les dimensions jusqu'à 5 m	1,5 mm/m	3 mm/m
Pour la partie au delà de 5 m et jusqu'à 12 m	0,75 mm/m	1,50 mm/m
Tolérance maximale admise quelle que soit la dimension	12 mm	24 mm
Dans le cas de pièces non rectangulaires, par analogie, la commande pourra préciser la mesure de l'écart entre diagonales théoriques et diagonales mesurées comme mode d'appréciation de l'angularité.		
Rectitude des arêtes (des éléments et des ouvertures)	≤ 4 mm	
Angles et arêtes vus	Les arêtes d'abouts doivent être nettes et ne pas présenter de discontinuité excédant 50 mm. Les arêtes des angles doivent être bien formées et ne pas présenter d'écornure supérieure à 10 mm.	
Incorporation inserts	Sauf précision particulière indiquée sur les plans ou dans les conditions spécifiques des fournisseurs de ces inserts contractuels de fabrication, la tolérance relative à la position de ces éléments est de ± 10 mm.	
Baies pour menuiseries rapportées	Sauf précision particulière indiquée sur les plans, la tolérance relative à la position des ouvertures est de ± 5 mm par rapport à la côte théorique.	

* L'exigence de planéité pour la classe « A » correspond à la désignation P(3) du fascicule de documentation FD P 18-503, soit encore les appellations « parements soignés » du DTU 21 et « parements fins » du fascicule 65 A du CCTG.

13.1.7 Choix des constituants du béton

Le choix des constituants est une opération délicate qui dépend de nombreux facteurs tels qu'environnement et finitions envisagées.

Ciment

Le ciment doit être conforme aux prescriptions de la norme EN 197-1 qui définit les différents types de ciment et leurs constituants, les classes de résistance, les spécifications physiques et chimiques et les valeurs limites garanties.

Granulats

Pour les bétons devant rester bruts, les granulats employés sont fonction de la composition du béton demandé. Pour les bétons traités, les granulats doivent être (choisir le type) : roulés, concassés, semi-concassés.

Les granulats sont de même provenance pour l'ensemble du chantier afin de conserver une régularité de teinte et de granulométrie pour les bétons à granulats apparents.

Ils sont stockés dans des cases alimentant directement la centrale pour garantir une hygrométrie contrôlée.

En règle générale, pour les bétons bruts de décoffrage, la dimension maximale des granulats ne doit pas dépasser 25 mm. Pour les bétons à traiter, la granulométrie est fonction de l'aspect de surface recherché, de la densité des armatures incluses, de l'enrobage préconisé, de l'épaisseur de l'ouvrage et des résistances imposées.

Tous les granulats courants doivent satisfaire à la norme XP P 18-540. *Granulats. Définitions, conformité, spécifications.*

Qualité et propreté : pour les bétons de parements apparents, la norme XP P 18-597 s'applique.

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 0,4 % en masse. Ne sont pas admises les impuretés de nature organique ou argileuse.

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.

L'équivalent de sable a une valeur minimale de 75 pour les bétons de ciment blanc.

Fines

Des fines sont utilisées si le sable retenu manque d'éléments fins. Elles sont siliceuses ou calcaires et proviennent impérativement de matériaux durs.

Eau de gâchage

L'eau de gâchage doit répondre aux spécifications de la norme NF P 18-303. De plus, il est important de s'assurer de l'absence de particules ferrugineuses en suspension.

Adjuvants

L'utilisation d'adjuvants est admise dans les conditions suivantes : adjuvants admis à la marque NF - Adjuvants ou conformes au DTU 21-4 (réalisation d'essais de convenance).

Ils ne doivent pas avoir d'influence directe ou indirecte sur la teinte du béton, être compatibles entre eux et avec les traitements envisagés.

13.1.8 Armatures et inserts

Si les éléments sont porteurs ou autoporteurs, le bureau d'études de l'entreprise de gros œuvre fournit au préfabricant les plans d'armatures.

Les armatures principales seront façonnées suivant la fiche d'homologation des aciers à haute adhérence.

Les aciers de levage et les aciers en attente seront de classe Fe E 235.

Les aciers incorporés dans les bétons des éléments devront être parfaitement propres et exempts de toute trace de rouille pouvant par la suite tacher les panneaux.

Toutes les armatures seront de préférence soudées électriquement.

Toutes les incorporations nécessaires aux entreprises, en dehors de celles prévues dans le présent marché, sont mises en place au moment de la fabrication des pièces. Ces incorporations - fourniture et pose - sont à la charge des entreprises concernées.

Les écarteurs doivent être choisis de manière à ne pas laisser de traces apparentes sur les parements. Le système sera soumis à l'accord du client.

Les différentes douilles et inserts entrant en contact avec le béton ou les armatures des éléments doivent être de nature compatible sur le plan physico-chimique.

Enrobages minimaux

En parement : 30 mm au minimum.

Autres parties non exposées : 20 mm.

L'enrobage doit être défini selon les conditions d'emploi visées : conditions environnementales, tenue au feu.

Pour les éléments exposés aux embruns marins ou aux brouillards salins, un enrobage complémentaire de 10 mm est à prévoir.

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

13.1.9 Assemblages et joints d'étanchéité

Le choix des assemblages est conforme aux prescriptions de la norme P 10-210 (DTU 22.1).

Les joints d'étanchéité sont conformes aux prescriptions de la norme P 10-210 (DTU 22.1). Les produits d'étanchéité utilisés doivent avoir le label SNJF.

13.1.10 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 demandée.

Le fabricant doit, à l'appui de son offre, fournir les éléments suivants :

- étude des moules et matrices suivant l'expression architecturale des façades ;
- étude du nombre de moules et d'outillages pour répondre aux exigences du planning d'exécution ;
- étude de la composition des bétons.

Plan d'assurance qualité

Les éléments peuvent bénéficier de la procédure de certification Qualif-IB Éléments Architecturaux. A défaut, la fabrication doit être réalisée selon un plan d'assurance qualité spécifique mis en place dans l'unité de production.

Le préfabricant doit prévoir une visite de son unité de production pour permettre au maître d'ouvrage et au maître d'œuvre d'apprécier les conditions générales de fabrication (notamment les opérations de coulage et de finition) et d'assurance de la qualité.

Études

L'entreprise de gros œuvre doit fournir tous les plans et études nécessaires à la fabrication ainsi que les dispositions de mise en œuvre :

- plan de calepinage avec repérage des éléments ;
- carnet de détails,
- plans de coffrage et de ferrailage de chaque type d'élément ;
- consigne de manutention et de stockage et procédures de mise en œuvre.

Le plan de calepinage et la nomenclature 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 parfaitement décrite à l'aide de dessins annexés au CCTP.

Moules

Avant définition des moules, les joints entre éléments préfabriqués sont déterminés en accord avec le maître d'œuvre.

Les moules sont étanches, indéformables et de même type pour tous les éléments semblables. Ils sont maintenus propres pendant leur utilisation.

Certaines pièces dont les séries ne dépassent pas une vingtaine d'unités peuvent être coulées dans des moules en bois. Au-delà, le fabricant utilise des moules métalliques.

Bétonnage

La mise en place du béton doit être conforme aux prescriptions du DTU 21 et aux recommandations professionnelles.

Les bétonnages font l'objet des vérifications préalables ci-après :

- vérification de la conformité du type de béton avec l'ouvrage ;
- vérification de la plasticité du béton ;
- vérification de stabilité, rigidité et étanchéité des moules ;
- vérification de conformité des armatures et de leur calage (voir paragraphe précédent).

La mise en place du béton observe les recommandations suivantes :

- 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 ;
- respect des cycles de décoffrage prévus.

Réception du prototype

Un élément prototype est soumis à l'agrément de l'architecte avant la mise en fabrication de série.

Cet élément 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...), en conformité avec le *Cahier des charges des éléments architecturaux en béton fabriqués en usine*.

Conformité des éléments

Les éléments réalisés doivent être conformes aux spécifications du présent descriptif.

13.1.11 Marquage

Chaque élément est marqué avec les indications suivantes :

- identification de l'usine productrice ;
- date de fabrication et code de l'équipe responsable du moulage ;
- repérage de la pièce ;
- classes de performance : dimensions, teintes, textures ;
- marque de certification éventuelle.

13.1.12 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 pièces et à leur conservation en état de propreté impeccable.

Il s'assure que le stockage garantit la sécurité des personnes et permet une préreception en usine.

13.1.13 Transport et livraison

Toutes les précautions sont prises par le fabricant pour assurer pendant le transport une protection maximale.

Les précautions sont comparables à celles prises sur l'aire de stockage.

Une protection complémentaire contre les salissures : • est exigée • n'est pas exigée

13.1.14 Réception à l'arrivée sur chantier

Chaque élément doit être livré avec un bon de livraison comportant la déclaration de conformité aux spécifications de la commande. Il reproduit les indications du marquage, complétées par la mention du transporteur et la date de livraison.

Pour les éléments faisant l'objet de la certification Qualif-IB éléments architecturaux 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 et ne nécessite pas de contrôle de réception, dans la mesure où la certification couvre l'ensemble des spécifications de la commande.

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 sur chantier.

Les dégradations doivent être mentionnées sur l'exemplaire du bon de livraison du transporteur.

13.1.15 Manutention et stockage sur chantier

Les opérations de manutention, de stockage et de mise en œuvre doivent se faire dans le respect des règles de sécurité applicables et selon les consignes de manutention et de stockage relatives aux éléments livrés.

13.1.16 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 armatures en attente, les éléments métalliques de levage seront protégés contre la rouille.

Des protections antisalissures sont à utiliser par l'entreprise pour protéger les parements et éviter tout risque de dégradation.

Un nettoyage devra être envisagé si nécessaire. L'usage du nettoyeur haute pression est interdit.

13.1.17 Protection après pose

L'entreprise protégera des chocs et des salissures les éléments dans leur intégralité par un dispositif ventilé. Ces protections ne doivent pas perturber le vieillissement des bétons ni altérer leur aspect.

13.1.18 Reprises, ragréages et rebouchages

Malgré les précautions prises, des réparations peuvent être nécessaires. Le fabricant définira et transmettra une méthodologie de réparation appropriée.

Il procédera 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.

13.1.19 Antigriffiti et autres produits de protection

Les produits de protection de surface ne doivent pas nuire à l'aspect esthétique des parements. Ils seront stables aux ultraviolets et adaptés à la composition, à la texture des bétons. Des tests d'efficacité et de nettoyage seront soumis au maître d'œuvre. Les modes d'utilisation et d'entretien seront fournis.

Le maître d'œuvre spécifie les produits retenus pour l'opération.

Les hydrofuges de surface sont appliqués systématiquement sur toutes les parties visibles qui seront préalablement nettoyées et séchées. Ils sont appliqués par pulvérisation (éventuellement au rouleau selon la texture du produit), de préférence avant la mise en place des éléments (au minimum 28 jours après la fabrication).

13.2 Bétons coulés en place

13.2.1 Généralités

L'entrepreneur adjudicataire des travaux ainsi que ses sous-traitants qui exécuteront les ouvrages à base de ciment blanc devront respecter, tant pour la composition des bétons que pour leur mise en œuvre, les différents textes, réglementations en vigueur et les prescriptions techniques BETOCIB.

Le ciment blanc sera conforme à la norme NF P 15-301. *Liants hydrauliques. Ciments courants. Composition, spécifications et critères de conformité.*

13.2.2 Textes de référence

NF A35-016 Octobre 1996	Armatures pour béton armé. Barres et couronnes soudables à verrous de nuance Fe E 300. Treillis soudés constitués de ces armatures.
NF P 15-301 Juin 1994	Liants hydrauliques. Ciments courants. Composition, spécifications et critères de conformité.
NF P 18-201 Mai 1993	Travaux de bâtiment. Exécution des travaux en béton. Cahier des clauses techniques (réf. DTU 21).
XP P 18-305 Août 1996	Béton. Béton prêt à l'emploi.
XP P 18-540 Octobre 1997	Granulats. Définitions, conformité, spécifications.

DTU 23.1 (NF P 18-210) Mai 1993 Murs en béton banché.

Fascicule 65 A et additif janvier 1992 Exécution des ouvrages en béton armé ou en béton précontraint par post-tension (fascicule du CCTG applicable aux marchés publics).

Fascicule 65 B Janvier 1992 Exécution des ouvrages de génie civil de faible importance en béton armé.

13.2.3 Étendue de la prestation

Tous les bétons à base de ciment blanc sont à prévoir et à exécuter (y compris toutes sujétions techniques) en fonction de l'aspect final recherché, suivant les caractéristiques du projet du maître d'œuvre aux emplacements mentionnés :

- dans le présent descriptif suivant énumération ci-après ;
- sur les plans.

13.2.4 Définitions

Teintes et textures

Remarque : la teinte peut être décrite de différentes manières : références de matériaux, de peintures ou mieux, d'échantillons existants...

Elles sont le résultat :

- d'une composition particulière du béton et des granulats ;
- d'un ajout de colorant ;
- d'un traitement de surface ;

Les granulats seront de provenance unique et de teinte homogène ;

Un mélange de granulats sera effectué mais l'aspect restera homogène.

Les variations de teintes : des échantillons de dénuançage définiront les tolérances de ces variations de teintes et de textures.

Parements

Pour tous les bétons, l'entreprise assure leur protection contre toutes souillures jusqu'à réception de l'ouvrage. Le ragréage ultérieur des parements est à éviter.

La composition et la mise en œuvre du béton apparent doivent être effectuées de manière à obtenir un parement :

- | | | |
|---------------------|--|------------|
| • Brut : | • Traité après démoulage : | |
| • Lisse : | • Texturé (voir coffrages ou matrices) : | |
| • Gommé : | • Sablé : | |
| • Bouchardé : | • Éclaté : | |
| • Brossé (à plat) : | • Lavé (à plat) : | • Autres : |

Si un revêtement partiel est appliqué, le support sera adapté à la mise en œuvre de ce produit (carrelage, lasure...).

Le parement défini concerne :

- | | |
|--|--|
| • L'ensemble des faces de l'élément : | • Les faces uniquement vues : |
| • La face avant et tous les retours : | • La face avant : |
| • La face avant et les retours horizontaux : | • La face avant et les retours verticaux : |
| • Autres : | |

Si un même élément présente différents types de parements les décrire et les positionner précisément.

Il est recommandé de définir l'aspect, la planéité, le dévers, la qualité de faces non vues suivant les caractéristiques fonctionnelles, d'aspect, de mise en œuvre de l'élément.

Granulats

Pour les bétons devant rester bruts, les granulats employés sont fonction de la composition du béton demandé.

Pour les bétons traités, les granulats doivent être :

- Roulés :
- Concassés :
- Semi-concassés :

La granulométrie sera compatible avec l'aspect recherché.

Les granulats participent à la teinte finale du parement défini.

Sauf recherche d'effets spéciaux, les granulats sont de même provenance avec régularité de teinte et de dimensionnement.

Les granulats ou leurs mélanges peuvent être définis précisément ou décrits par l'aspect recherché.

Il est rappelé que les fines (< 80 microns), les fillers et les éléments fins du sable donnent la teinte de fond du béton sur laquelle se détachent, ou non, les granulats plus gros.

Adjuvants

Les adjuvants ne doivent pas avoir d'influence sur la teinte du béton.

Description des éléments

Il est recommandé de décrire et de nommer précisément chaque élément afin d'en définir toutes leurs 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, reprises de bétonnage, trous de banches, réservations, inserts, calepinages, aciers ou platines en attente à capuchonner, définitions des arases supérieures, gouttes d'eau...).

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.

En ce qui concerne les coffrages, leur réalisation et leur nature seront préalablement soumises au maître d'œuvre.

Les coffrages y compris les joints éventuels seront parfaitement étanches, indéformables et rigides, de même type pour les éléments semblables. Ils seront maintenus propres pendant leur utilisation. Les coffrages bois pourront être bruts ou rendus non absorbants.

Afin de permettre une bonne qualité de démoulage et d'éviter les épaufrures, des dépouilles seront prévues dans les coffrages avec le concepteur.

En complément des prescriptions techniques, la disposition des joints entre les différents coffrages ainsi qu'entre les éléments constituant un même coffrage devra être étudiée et répartie en accord avec le maître d'œuvre.

Joints

Les joints ou les éventuelles reprises de bétonnages, de levées, seront :

- Marqués par un joint creux,
- Interdits,
- Atténués par un calicot,
- Autres.

Les coffrages pour bétons traités sont à l'appréciation de l'entreprise dans le cadre des définitions précitées.

Joints creux

- Profondeur : ...mm.
- Largeur : ...mm.

Ils comportent une dépouille afin de permettre un démoulage sans épaufrures.

Ces joints reprennent les calepinages définis. Ils doivent clairement apparaître sur les plans de l'entreprise soumis au maître d'œuvre.

Trous de banches

Ils s'intègrent aux calepinages définis. Ils doivent apparaître clairement sur les plans de l'entreprise soumis au maître d'œuvre.

Ils sont adaptés à un démoulage sans épaufrures. Les trous sont rebouchés au même nu, en retrait, ou non rebouchés.

Angles

Les angles des éléments ont :

- des bords chanfreinés ;
- des angles vifs ;
- des formes particulières (à préciser) ;
- l'adjonction d'un insert de ... (définir la matière).

Leurs dimensions, leurs aspects sont définis en liaison avec le concepteur et apparaissent clairement sur les plans de l'entreprise soumis au maître d'œuvre.

Tolérances

Les tolérances dimensionnelles ainsi que les tolérances d'aspect sont conformes aux réglementations en vigueur, aux prescriptions techniques BETOCIB et aux échantillons et prototypes de référence.

13.2.5 Composition du béton

La composition du béton de référence indiquée, à titre d'exemple, dans le présent descriptif, comporte :

- ciment blanc : dosage minimum 350 kg/m^3 ;
- les proportions relatives des différents granulats utilisés sont définies à la suite des épreuves d'études. Elles ne peuvent être modifiées que dans le but d'obtenir l'aspect demandé tout en vérifiant que soient conservées les caractéristiques mécaniques imposées ;

- l'adjonction (éventuelle) de composants spécifiques complémentaires :
 - adjuvants : dosage en kg/m^3 (ou % du poids de ciment),
 - additions : dosage en kg/m^3 (ou % du poids de ciment),
 - fillers : dosage en kg/m^3 (ou % du poids de ciment),
 - colorants : dosage en kg/m^3 (ou % du poids de ciment).

Toutes les précautions sont prises pour éviter la formation d'efflorescences (choix du ciment).

Le béton doit présenter les caractéristiques mécaniques minimales définies par le marché. Celles-ci tiennent compte des contraintes de démoulage.

13.2.6 Échantillons et prototypes

Des échantillons prévus pour chacun des éléments d'ouvrages. Ils peuvent être de plusieurs types :

- Blocs de béton de différentes compositions, ou teintes. Format A4 conseillé.
- Panneaux avec différents aspects de traitement de surface. Format A4 conseillé.
- Éléments partiels de visualisation. Dimensions : .. .
- Prototype complet. Dimensions : ...

Des échantillons témoins définissant le dénuancement et les tolérances d'aspect sont effectués. La teinte, l'aspect du béton, et que le choix des coffrages et des produits de décoffrage ainsi que les modalités des réparations sont définis sur les échantillons retenus, préalablement à l'exécution. Ils sont maintenus sous abri pour servir de référence.

Le premier élément réalisé, ou prototype, est soigneusement identifié et fait l'objet d'une réception consignée dans un procès-verbal. S'il fait partie de l'ouvrage, il est soigneusement protégé pour éviter les salissures et dégradations accidentelles.

- Désignation du ou des prototypes :
- Nombre et nature :

13.2.7 Mise en œuvre

La mise en œuvre permet d'obtenir un béton homogène, sans ségrégation, adapté au traitement de surface recherché.

La vibration du béton est définie et adaptée en fonction des éléments à réaliser.

Les armatures sont positionnées suffisamment en retrait de la surface du béton fini afin de bien protéger les aciers : 4 cm (recommandation BETOCIB).

Il est utilisé des distanciers (nature à préciser par l'entreprise).

Toutes les précautions sont prises pour éviter les taches de rouille, les épaufures des arêtes saillantes.

Les armatures ou autres éléments métalliques en attente sont protégés contre la rouille (gainage plastique ou barbotine).

Une protection anti-salissure : • est prévue • n'est pas prévue.

Le calepinage des joints, et leurs caractéristiques, sont déterminés en accord avec le maître d'œuvre avant définition des coffrages et des levées. Ce calepinage respecte les joints de structure de l'ouvrage.

Les reprises de bétonnage sont interdites où la hauteur minimale des levées de béton est de :

- 1 hauteur d'étage ; • ... mètres ; • Autre : ...

Il est procédé au nettoyage des salissures (voir le chapitre *Durabilité des parements en béton*).

L'usage de nettoyeur à eau haute pression est interdit.

13.2.8 Contrôle

Il est procédé à des contrôles périodiques entrant dans le cadre du plan d'assurance qualité de l'entreprise soumis au maître d'œuvre.

13.2.9 Protections des bétons

L'entreprise protège des chocs, des salissures, au fur et à mesure de l'avancement du chantier, les parties décoffrées dans leur intégralité. Ces protections ne doivent pas perturber le vieillissement des bétons ni altérer leur aspect.

13.2.10 Antigraffiti

Si des antigraffiti sont prévus, ils ne doivent pas nuire à l'aspect esthétique des parements. Ils sont stables aux ultraviolets. Ils doivent être adaptés à la composition, à la texture des bétons. Échantillons, tests d'efficacité et expériences de nettoyage de différents graffitis sont à soumettre au maître d'œuvre. Les modes d'utilisation et d'entretien sont fournis.

- L'efficacité est limitée à un nettoyage : ...
- L'efficacité est limitée à plusieurs nettoyages : ...
- Nombre minimal de nettoyages : ...
- Durée d'efficacité du produit (dans les limites du nombre de nettoyages) : ...

14. Index

A

Absorption d'eau · 12, 33, 68
 Absorptions capillaires · 22
 Accélérateurs de durcissement · 21, 24
 Accélérateurs de prise · 21, 24, 31
 Acier · 21, 27, 29, 31, 32, 33, 51, 79
 Additions · 13, 18, 41, 43
 Additions pour béton hydraulique · 18
 Adjuvant · 13, 18, 20, 21, 22, 24, 28, 44, 47, 68, 89, 95, 97
 Affaissement au cône d'Abrams · 32, 68 (*cf.* cône d'Abrams)
 Aiguille vibrante. *cf.* Vibration
 Alkali-granulats · 12, 13
 Alkali-réaction · 13, 18, 78, 79
 Alcalis · 12
 Analyse granulométrique · 14
 Antigriffiti · 35, 93, 98
 Antisalissures · 92
 Armatures · 27, 28, 29, 34, 37, 47, 48, 50, 51, 61, 65, 68, 75, 76, 79, 88, 89, 91, 92, 93, 97
 Aspect · 11, 28, 29, 31, 32, 36, 37, 39, 40, 43, 44, 48, 50, 53, 60, 61, 64, 67, 75, 86, 87, 88, 91, 93, 94, 95, 96, 97, 98
 Autonivelant · 21, 22, 47
 Autoplaçant · 12, 21, 22, 47, 78

B

Bleu de méthylène · 15
 Bois · 31, 32, 33, 35, 60, 91, 95
 Bouchardé · 39, 40, 94
 Brossé · 40, 94
 Brut · 9, 14, 16, 34, 39, 43, 73, 76, 88, 94, 95

C

Calepinage · 34, 90, 97
 Cales · 28, 29, 51
 Carbonatation · 79
 Chlorures · 13, 21, 61, 79
 Ciment blanc · 9, 11, 17, 18, 27, 41, 43, 44, 45, 79, 85, 86, 89, 93, 94, 96
 Cire · 36, 37, 60
 Coffrages · 20, 27, 29, 31, 32, 33, 34, 36, 47, 48, 59, 60, 77, 87, 94, 95, 96, 97
 Colorant · 11, 18, 19, 20, 94, 97
 Coloration · 9, 17, 18, 19, 22, 39, 41
 Compacité · 17, 24, 75, 78
 Composition du béton · 43, 48, 51, 53, 59, 87, 88, 95, 96
 Cône d'Abrams · 45 (*cf.* Affaissement)
 Conformité · 11, 12, 13, 15, 16, 21, 44, 65, 68, 69, 88, 91, 92, 93
 Consistance · 31, 49, 68, 77
 Corrosion · 21, 22, 79
 Coulage · 28, 29, 59

D

Décapage · 40
 Décapée · 40
 Décoffrage · 14, 19, 34, 35, 37, 43, 44, 53, 59, 73, 78, 87, 88, 91, 97
 Démoulage · 27, 29, 32, 35, 36, 37, 39, 51, 53, 59, 94, 95, 96, 97
 Désactivants · 37
 Désactivé · 39, 40, 43, 90
 Dessiccation · 59, 60, 61
 Dosage · 17, 18, 19, 20, 24, 43, 44, 45, 75, 76, 96, 97
 Durabilité · 11, 17, 18, 20, 21, 23, 45, 51, 61, 65, 68, 75, 76, 98
 Durcissement · 19, 21, 24, 41, 47, 53, 59, 78

E

E/C · 18, 19, 20, 56, 77
 Eau de gâchage · 18, 20, 23, 24, 32, 45, 78, 89
 Éclaté · 40, 94
 Efflorescences · 18, 78, 97
 Émulsions · 35
 Encrassement · 36
 Enrobage · 27, 28, 29, 47, 48, 51, 65, 68, 75, 79, 88, 90
 Entraîneurs d'air · 22, 24, 28, 77
 Entretien · 75, 78, 93, 98
 Épaufrures · 31, 59, 60, 93, 95, 96, 97
 Étanchéité · 20, 29, 33, 34, 45, 50, 60, 71, 72, 73, 90, 91

F

Faïençage · 61, 76
 Faux joints · 28, 34
 Fillers · 11, 17, 39, 43, 95, 97
 Fines · 14, 15, 16, 43, 44, 77, 89, 95
 Fissuration · 12, 27, 60, 61, 76, 78
 Flammé · 40
 Fumées de silice · 13, 18, 79

G

Gel · 65, 68, 78, 89
 Gel/dégel · 22, 24, 61, 65, 68, 79
 Gommage · 75, 76
 Gommé · 40, 94
 Goulotte · 31
 Granulats · 9, 11, 12, 18, 19, 20, 31, 39, 40, 41, 43, 45, 49, 51, 68, 75, 77, 78, 79, 88, 89, 94, 95, 96
 Granulométrie · 20, 28, 43, 48, 49, 88, 95
 Gravillons · 9, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 39, 43, 77, 90
 Grésé · 40

H

Huiles · 34, 35, 36
 Hydratation · 13, 16, 21, 23, 47, 53, 54, 59, 61, 78

Hydrofuge de masse · 22, 24, 78
Hydrofuge de surface · 76

I

Imperméabilisation · 72

J

Joints · 33, 34, 50, 71, 72, 73, 76, 85, 90, 91, 92, 95, 96, 97

L

Lavage · 16, 37, 40
Lavé · 39, 40, 90, 94
Liants · 9, 11

M

Malaxage · 15, 20, 24, 45, 51, 77
Maniabilité · 18, 20, 21, 24
Manutention · 27, 28, 44, 45, 60, 90, 92
Microfines · 75
Microfissures · 76
Modénature · 28, 31, 34, 59, 86
Module de finesse · 14
Moules · 20, 28, 31, 33, 53, 90, 91

N

Nettoyage · 35, 40, 51, 60, 75, 78, 92, 93, 98

O

Ouvrabilité · 24, 28
Oxydation · 27, 29, 35, 36

P

Parements · 27, 28, 29, 33, 34, 48, 50, 53, 63, 66, 75, 79, 86, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 98
Pigments · 9, 18, 19, 20, 39, 41, 43
Plasticité · 32, 68, 91
Plastifiant · 20, 21, 22, 24, 28
Polissage · 12, 40
Polyester · 28, 31, 32
Poncé · 40
Porosité · 17, 18, 48
Prévention · 13, 79
Prise · 21, 22, 24, 31, 36, 37, 41, 43, 47, 53, 78
Propreté des sables · 14, 15
Protection · 29, 33, 35, 36, 37, 41, 51, 60, 61, 72, 75, 78, 79, 92, 93, 94, 97, 98

R

Ravalement · 75
Réducteurs d'eau · 20, 24, 28
Réparation · 75, 77, 79, 93, 97
Résistance à la compression · 53
Résistance mécanique · 11, 12, 18, 21, 65, 68, 78
Retardateurs de prise · 21, 24, 31
Rétenteur d'eau · 21, 24
Retrait · 24, 33, 59, 61, 63, 71
Rhéologie · 17, 24, 44, 45

S

Sablage · 76, 79
Sable · 9, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 39, 40, 41, 43, 45, 77, 89, 95
Sablé · 40, 94
Salissures · 60, 61, 78, 92, 93, 97, 98
Sels de déverglaçage · 61, 65, 68, 75, 77, 79
Serrage · 34, 59, 91
Soufre · 13, 89
Stockage · 44, 45, 61, 78, 90, 92
Sulfates · 13
Superfines · 20
Superplastifiant · 18, 21, 22, 24

T

Teinte · 9, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 29, 35, 39, 41, 43, 44, 45, 51, 59, 60, 61, 64, 65, 67, 68, 69, 78, 86, 87, 88, 89, 91, 94, 95, 97
Traité · 9, 39, 40, 43, 56, 88, 94, 95, 96
Traitement · 19, 28, 37, 39, 40, 41, 43, 44, 53, 56, 60, 61, 75, 76, 87, 89, 94, 97
Traitement thermique · 37, 53, 54, 56
Transport · 27, 43, 44, 45, 51, 86, 92

V

Vibration · 20, 28, 29, 31, 32, 36, 44, 47, 48, 49, 50, 51, 59, 60, 77, 97
Vieillessement · 75, 93, 98

15. Bibliographie

Adjuvants et traitements, M. Venuat, édité par l'auteur, 1984.

Aménagement urbain et produits de voirie en béton, Cimbéton, Paris, 1997.

Bétons : matière d'architecture, Syndicat national des fabricants de ciments et de chaux, éd. Régirex-France, coll. Technique et architecture, Paris, 1991.

Bétons apparents, Cimbéton, Paris, 1996.

Bétons et mortiers, Cimbéton, Paris, 1995.

Cahier des charges pour les éléments architecturaux préfabriqués en usine, FIB, Montrouge, 1996.

Conception des bâtiments d'industrie, de commerce et de stockage, Cimbéton, Paris, 1995.

Construire avec les bétons, sous la direction de Cimbéton, éditions du Moniteur, juin 2000.

Construire en béton, R. Walther, Presses polytechniques et universitaires romandes, Genève, 1993.

Construire en bétons clairs, Bétocib, éd. Eyrolles, Paris, 1996.

Défauts d'aspect des parements en béton - Guide technique, LCPC, Paris, 1991.

Guide de construction parasismique des habitations individuelles, ministère de l'Urbanisme et du Logement, éd. Sedima, Paris, 1982.

Guide pratique pour l'emploi des ciments, Atilh, éd. Eyrolles, Paris, 1998.

L'Immeuble collectif à ossature béton : l'apogée et la chute, J.-J. Treuttel, J.-C. Garcias, J. Treuttel, recherche pour le Bureau de la recherche architecturale, ministère de l'Équipement, Paris, mars 1993.

L'Industrie du béton manufacturé, J. Dardare : « Aptitude à l'emploi du béton de fibres de polypropylène », éd. Cérib, Epernon.

La Durabilité des bétons, sous la direction de J. Baron et J.-P. Ollivier, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1992.

« La Fabrication du béton des produits de construction préfabriqués dans les usines de l'industrie du béton », in *Mémento de la production et Mémento de la qualité*, éd. Cérib, Epernon.

La Fabrication du ciment, Ciments français, éd. Eyrolles, Paris, 1993.

La Pratique des ciments, mortiers et bétons, Tome 1 : Caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers, M. Venuat, 2^e édition, éd. Le Moniteur, Paris, 1989.

Le béton à Paris, B. Marrey, F. Hammoutène, éditions du Pavillon de l'Arsenal, Picard éditeur, 1999.

Le Béton armé : origine, invention, esthétique, C. Simonnet, thèse de doctorat, École des hautes études en sciences sociales, Paris, 1994.

Le Ciment, les bétons et leurs applications, 34 fiches techniques, Cimbéton, Paris.

Les Bétons : bases et données pour leur formulation, sous la direction de J. Baron et J.-P. Ollivier, éd. Eyrolles, Paris, 1996.

- Les Bétons à hautes performances ; du matériau à l'ouvrage*, Y. Malier, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1990.
- Les Bétons de fibres métalliques*, P. Rolli, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1998.
- Les Coffrages*, P. Carrel, mémento CATED, Paris, 1992.
- Les hydrofuges. Comment choisir un hydrofuge ?*, A. Bouineau et D. Garnier, éd. Icomos, Paris, 1996.
- Les Surfaces du béton*, M. Trüb, éd. Eyrolles, Paris, 1976.
- Les Traitements de surface des produits en béton*, J. Bresson et C. Rebitzer, monographie n°11, Cerib, Epernon, 1994.
- Nouveau Guide du béton et de ses composants*, G. Dreux et J. Festa, éd. Eyrolles, coll. UTI-ITBTP, Paris, 1998.
- Ouvrages en béton armé*, F. Letertre et H. Renaud, éd. Foucher, Paris, 1992.
- Panorama des techniques du bâtiment*, CSTB, Paris, 1997.
- Précis de bâtiment - Conception, mise en œuvre, normalisation*, AFNOR, éd. Nathan, Paris, 1991.
- Projection des mortiers, bétons et plâtres*, C. Resse et M. Venuat, Paris, 1981.
- Projet et construction des ponts*, J.-A. Calgaro et M. Virlogeux, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1988.
- Résistance des matériaux par la pratique*, J. Roux, Tomes 1, 2 et 3, éd. Eyrolles, Paris, 1998.

16. Liste des organismes

ORGANISMES PROFESSIONNELS DE LA CONSTRUCTION

CAPEB - Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment
46, avenue d'Ivry - BP 353 - Paris Cedex 13
Tél. : 01 44 24 59 59 - Fax : 01 44 24 59 60

CNOA - Conseil national de l'ordre des architectes
9, rue Borromée - 75015 Paris
Tél. : 01 56 58 67 00 - Fax : 01 56 58 67 01
Site Web : www.architectes.org

FIB - Fédération de l'industrie du béton
23, rue de la Vanne - 92126 Montrouge Cedex
Tél. : 01 49 65 09 09 - Fax : 01 49 65 08 61
E-mail : fib@wanadoo.fr

FFB - Fédération française du bâtiment
9, rue La Pérouse - 75016 Paris
Tél. : 01 40 69 51 00 - Fax : 01 45 53 58 77
Site Web : www.ffbatiment.fr

FFNMC - Fédération française du négoce des matériaux de construction
215 bis, boulevard Saint-Germain - 75007 Paris
Tél. : 01 45 48 28 44 - Fax : 01 45 48 42 89
E-mail : ffnmc@club-site web.fr

FNTF - Fédération nationale des travaux publics
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : 01 44 13 31 44 - Fax : 01 45 61 04 47
Sites Web : www.fntf.fr - www.metier-tp.com

Entreprises Générales de France BTP (ex SNBATI)
9, rue La Pérouse - 75784 Paris Cedex 16
Tél. : 01 40 69 52 78 - Fax : 01 47 20 76 50
E-mail : syndicat@btpeg.com

SNBPE - Syndicat national du béton prêt à l'emploi
3, rue Alfred-Roll - 75849 Paris Cedex 17
Tél. : 01 44 01 47 01 - Fax : 01 44 01 47 47
Site Web : www.snbpe.org - E-mail : snbpe@unicem.fr

SNJF - Syndicat national des joints et façades
6-14, rue La Pérouse - 75784 Paris Cedex 16
Tél. : 01 56 62 10 03 - Fax : 01 56 62 10 01
E-mail : dtsb@compuserve.fr

SPECBEA - Syndicat des entrepreneurs de chaussées en béton et d'équipements annexes
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : 01 44 13 32 90 - Fax : 01 42 25 89 99
Site Web : www.usirf.asso.fr - E-mail : usirf@usirf.asso.fr

STRRES - 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.métier-tp.com

SYNAD - Syndicat national des adjuvants pour bétons et mortiers
3, rue Alfred-Roll - 75849 Paris Cedex 17
Tél. : 01 44 01 47 48 - 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 - 75116 Paris
Tél. : 01 40 69 51 59 - Fax : 01 47 20 06 62
E-mail : umgo@wanadoo.fr

UNICEM - Union nationale des industries des carrières et matériaux de construction
3, rue Alfred-Roll - 75849 Paris Cedex 17
Tél. : 01 44 01 47 01 - Fax : 01 40 54 03 28
Site Web : www.unicem.fr - E-mail : unicem@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.unicem.fr - E-mail : unpg@unicem.fr

UNSFA - Union nationale des syndicats français d'architectes
26, boulevard Raspail - 75007 Paris
Tél. : 01 45 44 58 45 - Fax : 01 45 44 93 68
Site Web : www.archilink.com - E-mail : unsfa@wanadoo.fr

USIRF - Union des syndicats de l'industrie routière française
10, rue de Washington - 75008 Paris
Tél. : 01 44 13 32 90 - Fax : 01 42 25 89 99
Site Web : www.usirf.asso.fr - E-mail : usirf@usirf.asso.fr

ORGANISMES DE NORMALISATION, DE RECHERCHE, D'ETUDE ET DE FORMATION

AFNOR - Association française de normalisation
Tour Europe Cedex 7 - 92049 Paris-La-Défense
Tél. : 01 42 91 55 55 - Fax : 01 42 91 56 56
Site Web : www.afnor.fr

AGENCE QUALITE CONSTRUCTION
9, boulevard Malesherbes - 75008 Paris
Tél. : 01 44 74 98 00 - Fax : 01 47 42 81 71
Site Web : www.qualiteconstruction.com - E-mail : aqc@qualiteconstruction.com

ATILH - Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques
7, place de La Défense - 92974 Paris
Tél. : 01.55.23.01.30 - Fax. :01.49.67.10.46
Site Web : ciment.atilh@wanadoo.fr

CEBTP - Centre d'études du bâtiment et des travaux publics
Domaine de Saint-Paul - BP 37 - 78470 Saint-Rémy-lès-Chevreuse
Tél. : 01 30 85 24 00 - Fax : 01 30 85 24 30
Site Web : www.cebtp.fr - E-mail : cebtpstremy@easynet.fr

CERIB - Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton
BP 59 - 28231 Épernon Cedex
Tél. : 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
Tél. : 04 72 74 58 00 - Fax : 04 72 74 59 00
Site Web : www.certu.fr - E-mail : certu@wanadoo.fr

CETU - Centre d'études des tunnels
25, avenue François-Mitterrand - Case n° 1 - 69974 Bron Cedex
Tél. : 04 72 14 34 00 - Fax : 04 72 14 34 30
Site Web : www.equipement.gouv.fr/cetu - E-mail : cetu@cetu.equipement.gouv.fr

COFRAC - Comité français d'accréditation
37, rue de Lyon - 75012 Paris
Tél. : 01 44 68 82 20 - Fax : 01 44 68 82 21
Site Web : www.cofrac.fr - E-mail : cofrac@club-site web.fr

CSTB - Centre scientifique et technique du bâtiment
4, avenue du Recteur-Poincaré - 75782 Paris Cedex 16
Tél. : 01 40 50 28 28 - Fax : 01 45 25 61 51
Site Web : www.cstb.fr

EFB - École française du béton (c/o Cimbéton)
7, place de La Défense - La Défense 4 - 92974 Paris-La-Défense Cedex
Tél. : 01 55 23 01 07 - Fax : 01 55 23 01 10

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

Qualitel - Association Qualitel
136, boulevard Saint-Germain - 75006 Paris
Tél. : 01 42 34 53 29 - Fax : 01 40 46 93 76

SETRA - Service d'études techniques des routes et autoroutes
46, avenue Aristide-Briand - BP 100 - 92223 Bagneux Cedex
Tél. : 01 46 11 31 31 - Fax : 01 46 11 31 69
Site Web : www.setra.fr

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