

Qualité du béton

Exigences normatives

par **Jean-Marie GEOFFRAY**

Chargé de mission

Centre d'études techniques de l'Équipement (CETE de Lyon)

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Clermont-Ferrand

1. Qualité d'usage et spécifications	C 2 275v2 - 2
2. Qualité du béton	3
2.1 Responsabilités	3
2.1.1 Responsabilités du prescripteur	4
2.1.2 Responsabilités du producteur de béton	4
2.1.3 Responsabilités de l'utilisateur du béton	5
2.2 Spécifications du type de béton	5
2.2.1 Classes d'exposition	5
2.2.2 Classes de résistance mécanique du béton	6
2.2.3 Classes de consistance des bétons frais	6
2.2.4 Esthétiques des parements	7
2.3 Plan de contrôle	10
3. Étude des bétons	11
3.1 Bien appréhender le cahier des charges	11
3.2 Prendre en compte les capacités des outils prévus pour la fabrication ...	13
3.3 Débit horaire de production et durée pratique d'utilisation	15
3.4 Moyens de transport du béton	16
3.5 Robustesse du béton	16
3.6 Rapport d'études et références	16
3.6.1 Cas du rapport d'étude	16
3.6.2 Cas du dossier de référence	17
Pour en savoir plus	Doc. C 2 276

La nouvelle norme européenne NF EN 206-1 définit les tâches du prescripteur, du producteur et de l'utilisateur d'un béton ; chacun, ayant son rôle parfaitement encadré, cherche à développer les outils lui permettant d'assurer la satisfaction des exigences essentielles imposées par la Communauté européenne et ses exigences propres. Ainsi le prescripteur (maître d'œuvre) sera responsable de la spécification du béton à utiliser, le producteur (bétonnier) sera responsable de la conformité et du contrôle de production du béton, alors que l'utilisateur (entreprise de mise en œuvre) sera responsable de la mise en place du matériau dans la structure. Chaque intervenant est responsable de la transmission de ses exigences au maillon suivant de la chaîne, et la compilation finale de ces exigences aboutit à la spécification. Par ailleurs, cette nouvelle norme relative au « béton » spécifie les exigences générales applicables aux constituants du béton, aux caractéristiques rhéologiques du béton frais, aux caractéristiques mécaniques et de durabilité du béton durci, en passant par la formulation du mélange et sa convenance aux conditions de mise en œuvre, d'une part, et en définissant les conditions d'évaluation de la conformité, d'autre part. Le présent texte a pour objet de clarifier toutes ces exigences en fonction des conditions pratiques du chantier.

Notations et symboles	
Symbole	Désignation
A, A'	quantité d'adjuvant
Ab _g	teneur en eau absorbée
C	quantité de ciment
C	cheminement
C _{min}	valeur minimale garantie de la résistance à la compression pour le ciment à 28 jours
C _E	résistance à la compression à 28 jours du ciment utilisé
D _{max}	diamètre maximal des granulats
E _{eff}	quantité d'eau efficace
E _T	quantité d'eau totale
f _{ck}	résistance caractéristique spécifique
f _{CE}	résistance à la compression à 28 jours d'âge
f _{tk}	résistance à la traction par fendage
G, G'	quantité de gravillon
I	intervalle d'écoulement
k ₁ , k ₂	facteurs correctifs
K ₁ , K ₂	coefficients
M	masse de béton
R _{cm}	résistance mécanique moyenne d'au moins 3 éprouvettes
R _{ci}	résistance mécanique de l'éprouvette la plus faible
R _c	résistance mécanique caractéristique
S	estimateur
xt	extrait sec
X	consistance du béton
W	teneur en eau totale
λ	facteur correctif

Indices	
eff	efficace
g	granulat
i	numéro de la gâchée
j	j jours d'âge
NT	non traité
ref	référence
s	sable
T	éprouvettes traitées thermiquement
28	28 jours d'âge

1. Qualité d'usage et spécifications

Abréviations et sigles	
BAP	béton autoplaçant
BCP	béton à composition prescrite
BCPN	béton à composition prescrite par une norme
BHP	béton hautes performances
BPE	béton prêt à l'emploi
BPS	béton à propriétés spécifiques
CCTG	cahier des clauses techniques générales
CCTP	cahier des clauses techniques particulières
CIB	Conseils, Infos, Bâtiment
DTU	document technique unifié
FIB	Fédération de l'industrie du béton

Le maître d'ouvrage est intéressé par la qualité d'usage, et le maître d'œuvre décline celle-ci sous la forme de qualité requise. Face à cette qualité requise, traduite en spécifications de résultats et prescriptions de moyens, l'entrepreneur doit présenter des ressources en personnel, méthodes, matériels et matériaux avec la garantie de son plan Qualité. La qualité requise sera donc validée au cours du chantier par un plan de contrôle décliné en contrôle intérieur à l'entreprise, d'une part, et en contrôle extérieur à l'entreprise et relevant généralement du maître d'œuvre ou d'ouvrage, d'autre part. Le plan Qualité discuté en amont du chantier doit pouvoir créer un climat de confiance validé.

Selon la normalisation en cours (NF EN ISO 9000), la **qualité** (ou qualité d'usage) est reconnue comme l'aptitude d'un ensemble de caractéristiques **intrinsèques** à satisfaire des **exigences** :

- le terme « intrinsèque » signifiant alors « compris dans », les caractéristiques intrinsèques d'un produit seront donc ses caractéristiques permanentes ;
- et le terme « exigence » équivalant à des besoins ou des attentes formulés, habituellement implicites ou imposés.

Le concept de conformité (figure 1) revêt la notion de satisfaction d'une exigence et celle de non-conformité s'appliquera à la non-satisfaction de cette même exigence. La non-conformité doit être distinguée du défaut qui s'applique à une exigence propre à une utilisation prévue ou spécifiée. Cette notion de défaut débouche sur celle de responsabilité avec une certaine connotation juridique.

La classe est la catégorie ou le rang donné aux différentes exigences pour la qualité d'un produit ; lors de l'établissement d'une exigence pour la qualité, la classe est généralement spécifiée.

La satisfaction du client est avant tout la perception qu'il acquiert sur le niveau de respect de ses exigences. Toutes les opérations de contrôle doivent donc concourir à accroître la confiance que peut avoir le gestionnaire dans le futur ouvrage à construire. Cette confiance est d'autant plus forte que tous les intervenants, sous-traitants compris, s'impliquent dans la démarche générale de qualité et sont capables d'émettre les déclarations de conformité requises (NF EN 45014). Le plan Qualité s'impose donc comme une garantie générale de la bonne réalisation de l'ouvrage, et ne doit pas être compris comme une simple formalisation réglementaire.

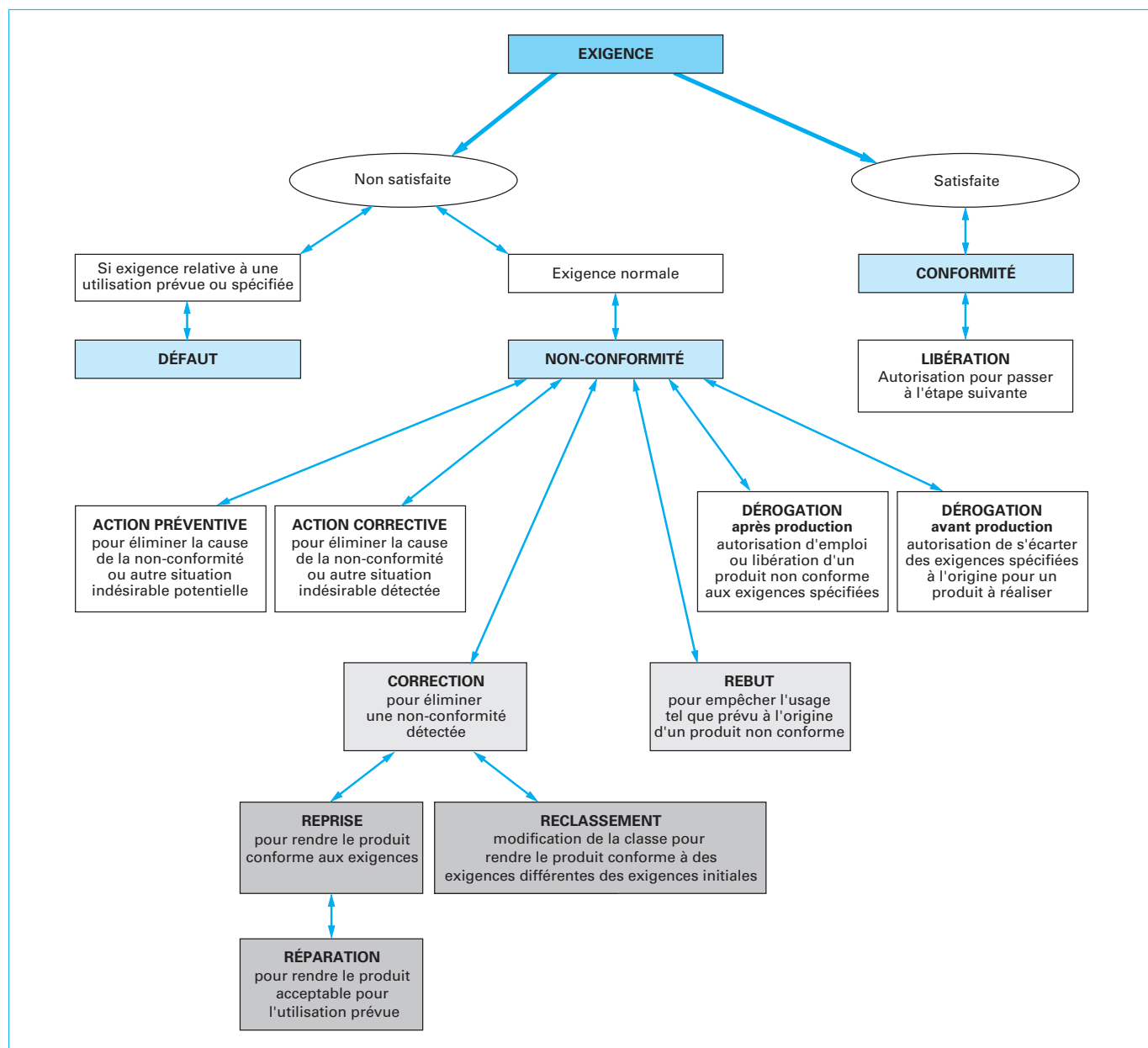


Figure 1 – Concepts relatifs à la conformité

2. Qualité du béton

Le béton, résultat d'un processus de fabrication et de mise en œuvre, apparaît au sens de la norme (cf. Normalisation en [Doc. C 2 276]) comme un produit issu de processus à caractère continu. Ses caractéristiques sont considérées comme intrinsèques tant du point de vue qualitatif que quantitatif. La qualité du béton est comprise comme l'aptitude de ce matériau à satisfaire les besoins exprimés ou implicites de chaque intervenant, que ceux-ci soient d'ordres techniques, économiques, esthétiques ou écologiques. Dans un contexte contractuel, ces besoins sont spécifiés et débouchent sur la notion de qualité requise.

La qualité requise finale est la traduction de tous ces besoins (qualité d'usage) sous forme d'exigences techniques contractuelles ou complémentaires, ces dernières pouvant être exprimées en exigences de résultats (spécifications) ou en exigence de moyens (prescriptions) ; l'ensemble des spécifications et des prescriptions constitue les stipulations du marché.

2.1 Responsabilités

Auparavant, les producteurs de béton étaient souvent favorables à ce que la qualité requise ne soit définie qu'à travers un ensemble

Tableau 1 – Définition des rôles des intervenants suivant les types de bétons

Types normalisés de bétons	Intervenants		
	Prescripteur	Producteur	Utilisateur
Béton à propriétés spécifiées BPS	Définition des spécifications propres à l'ouvrage	Contrôle de conformité à toutes les spécifications et contrôle de production	Définition des spécifications particulières à la mise en œuvre et à la maturité
Béton à composition prescrite BCP	Définition des données de base suivant la norme européenne NF EN 206-1 et des données complémentaires	Contrôle de conformité de la composition prescrite du béton	Si analyse de béton frais prévue sur chantier : un accord préalable entre producteur et utilisateur est nécessaire
Béton à composition prescrite par une norme BCPN	Définition de la désignation du béton suivant la norme NF P 18201/A2		

de spécifications et, de ce fait, ils conservaient la liberté de définir les moyens leur permettant d'assurer le respect des spécifications. Cette situation posait parfois des problèmes techniques ou économiques :

- impossibilité de traduire une exigence fonctionnelle en niveau de performance avant la réception des travaux, notamment en matière d'esthétique ou de durabilité ;
- absence de méthode d'essai ou incertitude trop forte dans l'appréciation du niveau de performance ;
- coût inadéquat des procédures de contrôle *a posteriori*.

De ce fait, le maître d'œuvre était conduit à définir certaines prescriptions complémentaires de moyens ; ces prescriptions lui permettaient ainsi d'accroître l'assurance d'une satisfaction à toutes ses exigences. Pour les mêmes raisons, il était nécessaire d'organiser le contrôle de la qualité comme un ensemble de dispositions regroupant des opérations de contrôle de production et de contrôle de conformité. Au plan contractuel, cette imbrication conduisait au développement des procédures d'assurance qualité à charge du producteur de béton, le client pouvant alors vérifier la pertinence de ces dispositions et leur application effective, quitte à compléter le dispositif par des opérations de contrôle extérieur.

Avec la nouvelle normalisation européenne (cf. [Doc. C 2 276]), tous les bétons destinés aux structures coulées en place, aux structures préfabriquées ou aux éléments de structure préfabriqués pour bâtiment et structures de génie civil, sont soumis au contrôle de production sous la responsabilité du producteur, et ce, quel que soit le mode de fabrication. Les bétons particuliers (bétons aérés, de mousse, caverneux, réfractaires ou très légers) sont exclus du champ d'application de cette norme européenne NF EN 206-1 et doivent donc faire l'objet de dispositions particulières à préciser au cas par cas.

La norme européenne NF EN 206-1 relative au béton définit les tâches de chaque intervenant. Mais, à ce niveau de définition des responsabilités, elle retient en préalable trois types de bétons :

- les bétons à propriétés spécifiées (BPS) ;
- les bétons à composition prescrite (BCP) ;
- les bétons à composition prescrite par une norme (BCPN).

Et pour chacun de ces types, les responsabilités générales sont modulées suivant l'intervenant (tableau 1).

2.1.1 Responsabilités du prescripteur

Jusqu'à présent, le prescripteur était généralement compris comme le maître d'œuvre et, à ce titre, il apparaissait comme le seul prescripteur. C'était oublier, un peu rapidement, que l'entreprise chargée de l'utilisation du béton pouvait également avoir des besoins particuliers. La nouvelle normalisation a pris en compte cette situation et, désormais, le vrai prescripteur est l'entreprise qui achète le béton au producteur, à charge pour elle de prendre en

compte dans sa commande les stipulations amont du maître d'œuvre. Les prescriptions finales devront donc satisfaire les besoins du maître d'ouvrage, du maître d'œuvre et de l'entreprise, c'est-à-dire ceux propres :

- à l'utilisation du béton frais et du béton durci ;
- aux conditions de cure des surfaces non coffrées et des surfaces après décoffrage ;
- au développement de chaleur en fonction des dimensions de la structure ;
- aux agressions environnementales potentielles auxquelles la structure pourra être exposée ;
- à la finition de surface des parements et, si besoin, à toutes les exigences spécifiques pour les granulats apparents ;
- à toutes les exigences liées aux épaisseurs d'enrobage ou aux épaisseurs minimales des sections ;
- à toutes les restrictions d'emploi des constituants avec une aptitude à l'emploi, par exemple en fonction de la classe d'agression environnementale.

En outre, il faut retenir que, pour un béton à composition prescrite par le prescripteur, c'est à ce dernier qu'il appartient de vérifier que les prescriptions sont conformes aux exigences de la norme NF EN 206-1 et que cette composition permet bien d'atteindre les performances attendues, aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci. Il faut cependant noter que, dans le cas d'un béton à composition prescrite par une norme, ces tâches sont du ressort de l'organisme de normalisation.

2.1.2 Responsabilités du producteur de béton

Le producteur de béton est responsable de la conformité du produit et du contrôle de sa production. Le contrôle de conformité est un ensemble d'actions (enregistrement de paramètres de fabrication, échantillonnage et essais) et de décisions à prendre en fonction de règles de reconnaissance de conformité préadoptées ; le contrôle de conformité fait partie intégrante du contrôle de production.

Dans ce contexte, le producteur doit définir :

- les plans et lieux d'échantillonnage pour que le matériau ne subisse pas de modification significative ;
- ses familles de bétons ;
- la nature et la fréquence des essais établissant la conformité.

En cas de non-conformité, le producteur doit être capable de prendre les mesures nécessaires suivantes :

- élimination des causes d'erreur ;
- mise en place des actions correctives ;
- information du prescripteur et de l'utilisateur pour éviter les dommages ou limiter leurs conséquences ;
- assurer la traçabilité de toutes ces opérations.

Le contrôle de production est assuré sous la responsabilité du producteur : tous les bétons y sont soumis (NF EN 206-1). Le système de contrôle de production regroupe toutes les procédures et instructions internes à la chaîne de production, d'une part, et les fréquences d'essais et d'inspections prévues par le producteur, d'autre part.

■ Dans le cas de **bétons à propriétés spécifiées**, le producteur prend toutes les mesures pour assurer la conformité du béton aux exigences spécifiées :

- la sélection des constituants ;
- la formulation du mélange ;
- le suivi des conditions de fabrication ;
- les essais et différentes inspections relatives aux exigences spécifiées ;
- la maîtrise des résultats d'essais sur constituants et sur bétons frais et durcis.

■ Dans le cas de **bétons à composition prescrite** (par le prescripteur ou une norme), le producteur prend toutes les mesures nécessaires pour assurer la conformité des dosages des constituants :

- éventuellement, la sélection des constituants ;
- les dosages et le mélange des constituants ;
- le suivi des conditions de malaxage ;
- les essais et inspections concernant les constituants et matériels de fabrication ;
- la maîtrise des résultats d'essais sur constituants et matériels.

2.1.3 Responsabilités de l'utilisateur du béton

L'utilisateur, généralement l'entreprise chargée de la construction de l'ouvrage, est tout naturellement responsable de la mise en œuvre du béton ; à ce titre, l'utilisateur doit veiller aux points principaux suivants :

- préparation des outils coffrants et peaux coffrantes ;
- confection et pose des armatures ;
- vérification des spécifications propres au béton pour sa mise en œuvre ;
- réception du béton livré sur chantier ;
- contrôle de production du béton de chantier ;
- mise en place du béton dans le coffrage ;
- vérification du degré de maturité du béton jeune dans l'ouvrage ;
- décoffrage et cure des surfaces non coffrées ;
- protection générale après décoffrage.

Et, éventuellement, en cas d'emploi :

- traitement thermique passif ou actif ;
- mise en place des systèmes limitatifs de gradient thermiques ;
- mises en tension et injections des gaines (cas de la précontrainte) ;
- finitions superficielles particulières ;
- stockage des éléments préfabriqués livrés sur chantier.

Ces dernières opérations (éventuelles) ne sont pas directement liées au béton, mais peuvent avoir des conséquences sur ses caractéristiques finales du point de vue mécanique, esthétique ou de durabilité.

Dans le cas d'un **béton à composition prescrite**, l'utilisateur reste responsable de la formulation du béton et de ses caractéristiques générales.

En cas de non-conformité, l'utilisateur doit être capable de prendre les mesures nécessaires suivantes :

- avertir le prescripteur et ses éventuels sous-traitants ultérieurs pour éviter les dommages conséquents ;
- assurer la traçabilité des opérations précédentes ;
- éliminer les causes d'erreur ;
- mettre en place des actions correctives ;
- informer le producteur de béton s'il s'agit d'une non-conformité sur le béton livré ;

- informer le prescripteur et les éventuels sous-traitants ultérieurs pour éviter les dommages ou limiter les conséquences ;
- assurer la traçabilité de toutes ces opérations.

2.2 Spécifications du type de béton

La norme européenne NF EN 206-1 ne s'intéresse qu'à la transaction commerciale entre l'entreprise qui met en œuvre le béton et le producteur de ce dernier. Il ne faut pas pour autant oublier le contexte global d'un chantier et, si l'entreprise reste bien le seul interlocuteur du producteur, d'autres acteurs interviennent pour la définition des différentes spécifications, voire prescriptions. Trois niveaux de prescriptions apparaissent logiquement dans un marché avec autant de niveaux de responsabilités.

Chronologiquement, le premier prescripteur reste bien entendu le **maître d'ouvrage** (le vrai client en final) qui va préciser ses besoins propres d'utilisateur ou gestionnaire :

- les conditions générales d'utilisation de son ouvrage (fonctionnement de la structure et résistance du béton aux contraintes prévues) ;
- les classes d'exposition correspondant aux différentes parties de son ouvrage ;
- les différents besoins esthétiques ;
- les besoins de durabilité ;
- les contraintes de planning de réalisation ;
- sans oublier pour autant les contraintes économiques.

Le cahier des charges de la maîtrise d'ouvrage va ensuite être traduit techniquement par un maître d'œuvre, qui doit décliner un premier ensemble de spécifications techniques en s'appuyant sur les textes normatifs ou réglementaires alors en vigueur ou, éventuellement, sur des guides, avis techniques ou recommandations ayant fait l'objet de consensus au niveau national ou européen.

L'ensemble de ces prescriptions est enfin finalisé par l'entreprise qui va décliner ses propres besoins liés à son matériel et ses méthodes.

2.2.1 Classes d'exposition

La norme européenne NF EN 206-1 relative aux spécifications, performances, production et conformité du béton a remplacé les classes d'environnement de l'ancienne norme française FD P 18-011 par les classes d'exposition. À ces classes d'exposition sont liées des contraintes sur la composition du béton courant :

- un rapport maximal eau efficace/liant équivalent ;
- une classe de résistance minimale (compression simple à 28 jours d'âge) ;
- une teneur minimale en liant équivalent ;
- en cas d'emploi d'additions minérales, limites de prises en compte dans le liant équivalent ;
- sous risques de cycles gel-dégel, une teneur minimale en air et l'emploi de granulats particuliers vis-à-vis de la gélivité ;
- sous risque d'action sulfatique, l'emploi de ciment résistant aux sulfates ;
- sous exposition à l'eau de mer, l'emploi de ciment prise mer (PM).

Pour les produits en béton préfabriqué, le paramètre absorption d'eau maximale est également spécifié en fonction des classes d'exposition.

L'ensemble de ces éléments applicables aux bétons courants peut être extrapolé pour le choix et le dosage des constituants des bétons autoplaçants, en intégrant la notion de plus forte compacité pour ces derniers. Les bétons autoplaçants peuvent donc s'avérer moins sensibles à certaines agressions externes, mais parfois être plus affectés par des agressions internes (réactions sulfatiques, exothermie pour pièces massives par exemple) si les précautions habituelles ne sont pas prises.

Tableau 2 – Définitions des types de bétons pour ouvrages

Expositions	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7
Enterrés > 1 m	●						
Enterrés < 1 m				●		●	
En contact avec le sol				●		●	
Sans contact avec le sol					●		●
Immergés		●					
Partiellement immergés			●				
Non immergés				●	●	●	●
Soumis aux eaux de ruissellement de chaussée				●	●		
Non soumis aux eaux de ruissellement de chaussée						●	●
Classes d'exposition prévisibles (1)	XC1, XC2, XA1, XA2	XC1, XS2, XA1, XA2	XC4, XS3, XA1, XA2, XF3, XF4	XC2, XC4, XS3, XA1, XA2, XD3, XF2, XF4	XC2, XC4, XA1, XD3, XF2, XF4	XC2, XC4, XA1, XA2, XF1, XF3	XC2, XC4, XA1, XF1, XF3
Teneur minimale des chlorures à envisager (1)	Cl0,4/Cl1,0	Cl0,2/Cl0,4/Cl1,0	Cl0,2/Cl0,4	Cl0,2/Cl0,4	Cl0,2/Cl0,4/Cl1,0/Cl0,15 (2)	Cl0,4	Cl0,2/Cl0,4/Cl0,15 (2)
Teneurs minimales en liant équivalent (3)	250/ 385 kg/m ³	300/ 400 kg/m ³	350/ 385 kg/m ³	280/ 385 kg/m ³	300/ 385 kg/m ³	300/ 385 kg/m ³	330/ 385 kg/m ³

(1) Selon le référentiel de la norme NF EN 206-1. Pour les teneurs en chlorures, la classe de chlorures Cl0,20, par exemple, correspond à une teneur maximale de 0,20 % de la masse de liant équivalent.

(2) Dans le cas de poutres préfabriquées en béton précontraint.

(3) Il ne s'agit pas ici d'une possibilité de choix, car à chaque type de partie d'ouvrage du tableau 3 correspond une teneur minimale à spécifier.

2.2.2 Classes de résistance mécanique du béton

Les classes de résistance à la compression des bétons sont normalisées au niveau européen ; le critère retenu est la résistance à la rupture en compression simple à 28 jours d'âge mesurée sur éprouvette cylindrique (à élancement 2) ou sur cube. La classe de résistance est explicitée en exprimant la spécification minimale (en MPa) à atteindre sur cylindre ou sur cube :

Exemple : C12/15 correspond à :

12 MPa sur cylindres (16 × 32 ou 15 × 30 cm) ou 15 MPa sur cube (15 cm de côté).

Les bétons légers font l'objet d'une classification particulière (LC12/13 par exemple).

L'ensemble des classes est défini dans les tableaux 7 et 8 de la norme NF EN 206-1.

Actuellement, les exigences mécaniques minimales sont choisies en s'appuyant sur la norme précédente (tableaux NA.F 1 et 2) ; elles peuvent, bien entendu, être durcies si la nature de l'ouvrage le nécessite et, dans certains cas, de garantie allongée. Dans ce contexte, il s'avère judicieux d'estimer l'influence des variations de dosages sur le développement de ces caractéristiques mécaniques.

Dans certains cas particuliers, la norme laisse la possibilité de spécifier d'autres types de caractéristiques à la rupture :

- traction par fendage en s'appuyant sur la norme d'essai EN 12390-6 ;
- ou flexion en s'appuyant sur la norme d'essai EN 12390-5.

Les catégories de bétons courants sont définies selon leur emploi et leur exposition vis-à-vis des agressivités du sol, des eaux et des eaux de ruissellement de chaussée (tableaux 2, 3 et 4).

Les bétons autoplaçants font l'objet d'une classification distincte et sont définis (tableau 5, p. 8) selon le type d'application (verticale ou horizontale) en cinq catégories à partir de trois critères du cahier des charges lié à la partie d'ouvrage :

- l'intervalle d'écoulement ;
- le cheminement longitudinal ;
- l'épaisseur de la dalle ou de la paroi.

À ces catégories sont attachées des spécifications d'écoulement et ségrégation (tableau 6, p. 8).

2.2.3 Classes de consistance des bétons frais

Les classes de consistance des bétons frais sont définies à partir des essais d'affaissement ou d'étalement selon leur comportement rhéologique (niveau du seuil de cisaillement). Ces essais sont respectivement réalisés suivant les normes d'essais NF EN 12350-1, NF EN 12350-2 et NF EN 12350-5.

Les classes d'affaissement sont définies par la norme NF EN 206-1 (tableau 7, p. 8).

Lorsque le béton est fluide, les valeurs d'affaissement ne sont plus tout à fait pertinentes, et il est nécessaire de spécifier des valeurs d'étalement à la table à chocs avec le cône DIN (tableau 8, p. 8).

Lorsque le béton fluide est autoplaçant, une nouvelle classification basée sur l'étalement sans secousses avec le cône d'Abrams s'applique (tableau 9, p. 8).

La consistance peut, dans certains cas, être spécifiée par une valeur cible : dans ce cas, les tolérances relatives à cette valeur cible sont liées aux plages des valeurs cibles comme indiqué dans le tableau 10, p. 8.

Tableau 3 – Dosages minimaux en liant équivalent des bétons suivant les parties d'ouvrage

Partie d'ouvrage	Types de bétons (cf. tableau 4)	Teneur minimale en liant (1) (kg/m ³)
Béton de propreté	1	250
Dalle de transition	1	280 à 330
Semelles de fondation, radier, béton de blocage sous semelle de fondation	1	280 à 350
	2	300 à 350
	3	350 à 385
	4 et 6	300 à 385
Gros béton de remplissage pour fondation	1	280 à 350
	2	400
Fondations profondes	1	385
Pile, culée	3	350 à 385
	4, 5, 6 et 7	330 à 385
Structures en cadre ou portique	3 et 4	350 à 385
	6	330 à 385
Murs de soutènement	3	350 à 385
	4 et 6	330 à 385
Longrine de dalle de frottement hors ouvrage	4	280 à 385
Longrine de dispositif de retenue, contre-corniche, contre-bordure, remplissage de trottoir sur ouvrage, coques préfabriquées, corniches, corniches caniveaux	5	350-385
Bordures de trottoir	5	300 à 385
Dalle d'ouvrage mixte	5 et 7	330 à 385
Tablier	5 et 7	350 à 385
Hourdis de tablier à poutres préfabriquées, poutres préfabriquées	5	350 à 385
	7	330 à 385
Voiles et dalles de bâtiment	4 et 7	260 à 385

(1) Il ne s'agit pas ici d'une possibilité de choix car, selon les performances mécaniques et les classes d'exposition attendues, une teneur minimale doit être spécifiée dans la gamme définie.

Tableau 4 – Parties d'ouvrages pouvant être concernées par les différents types de béton

Type 1	Béton de propreté, dalle de transition, semelles de fondation, béton de blocage sous semelle, radier, fondations profondes, gros béton de remplissage de fondation
Type 2	Semelles de fondation, béton de blocage sous semelle, radier, gros béton immergé de remplissage
Type 3	Semelles de fondation, béton de blocage sous semelle, radier, pile, culée, murs de soutènement, structure en cadre ou portique
Type 4	Longrine, dalle de frottement hors ouvrage, semelle de fondation, béton de blocage sous semelle, radier, pile, culée, structure en cadre ou portique, murs de soutènement
Type 5	Pile, longrine de dispositif de retenue, contre-corniche, contre-bordure sur ouvrage, bordures de trottoir, béton de remplissage de trottoir, coques préfabriquées ou caniveaux de superstructure, corniches, dalle d'ouvrage mixte, tablier, hourdis de tablier, poutres préfabriquées
Type 6	Semelles de fondation, béton de blocage sous semelle, radier, pile, culée, murs de soutènement, structure en cadre ou portique
Type 7	Pile, dalle d'ouvrage mixte, tablier, hourdis de tablier, poutres préfabriquées, voiles

2.2.4 Esthétiques des parements

Un parement de béton brut de décoffrage est une surface destinée à être vue après achèvement de l'ouvrage et à garder ses caractéristiques vis-à-vis des agressions liées à la classe d'exposition initialement prévue. Ces aspects d'esthétique et de durabilité

doivent être pris en compte dès la conception et tout au long de la période constructive.

Du point de vue esthétique, les parements sont classés en fonction de leurs caractéristiques de teinte et de modénature (texture, forme et taille). La prise en compte de ces éléments conduit, à ce jour, à plusieurs classements pas rigoureusement équivalents [2] (tableau 11).

Tableau 5 – Catégories de bétons autoplaçants

Cahier des charges		Catégories		En applications verticales
		En applications horizontales		
Intervalle <i>I</i> d'écoulement (mm)	Cheminement <i>C</i> (m)	Épaisseur < 30 cm	Épaisseur > 30 cm	
<i>I</i> > 100	<i>C</i> < 5	1	2a	2b
	5 < <i>C</i> < 10		2b	
80 < <i>I</i> < 100	<i>C</i> < 5	2a		
	5 < <i>C</i> < 10	2b		
<i>I</i> < 80	<i>C</i> < 5	3a		3b
	5 < <i>C</i> < 10	3b		

Tableau 6 – Spécifications d'écoulement et ségrégation

Catégories	1	2a	2b	3a	3b
Valeur limite supérieure au tamis..... (%)	< 20		< 15		< 10
Écoulement au L-box (1)	Non spécifié	> 0,80			
		2 barres	3 barres	2 barres	3 barres

(1) L'écoulement en L-box est déterminé par le rapport des altitudes atteintes par le béton aux deux extrémités de la cuve du L-box (référence : Recommandations provisoires de l'AFGC de juillet 2000).

Tableau 7 – Classes d'affaissement des bétons courants

Classe d'affaissement	Consistance	Valeur minimale (cm)	Valeur maximale (cm)
S1	Ferme	1	4
S2	Plastique	5	9
S3	Très plastique	10	15
S4	Fluide	16	21
S5		> 22	

Tableau 8 – Classes d'étalement des bétons courants

Classe d'étalement	Valeur minimale (cm)	Valeur maximale (cm)
F1		< 34
F2	35	41
F3	42	48
F4	49	55
F5	56	62
F6	> 63	

Tableau 9 – Classes d'étalement des bétons autoplaçants (cône d'Abrams – sans secousse)

Classe d'étalement	Valeur minimale (cm)	Valeur maximale (cm)
SF1	55	65
SF2	65	75
SF3	75	85
SF4	> 85	

Tableau 10 – Tolérances relatives aux valeurs cibles de consistance

Plage des valeurs cibles d'affaissement	≤ 4 cm	5 à 9 cm	≥ 10 cm
Tolérances	± 1 cm	± 2 cm	± 3 cm
Plage des valeurs cibles d'étalement	Toutes les valeurs		
Tolérances	± 3 cm		

Tableau 11 – Différents classements de parements de béton (1)

CIB n° 24	DTU 23	CCTG fascicule 65 A	Fascicule de documentation Afnor P 18-503
Grossiers	Élémentaires	Non pris en compte	0
Ordinaires	Ordinaires		1
Soignés	Courants	Soignés simples	2
	Soignés	Soignés fins	3
Spéciaux		Soignés ouvragés	4

(1) CIB : Conseils, Infos, Bâtiment.
DTU : document technique unifié.
CCTG : cahier des clauses techniques générales.

Le prescripteur doit donc préciser le type de classement avant de choisir la classe de parement qui convient à chaque partie d'ouvrage.

Exemple : le fascicule 65 A du CCTG explicite sa terminologie par les précisions suivantes :

- le parement simple est brut de décoffrage et ne fait l'objet que d'une exigence de régularité générale ;
- le parement fin fait en plus l'objet d'exigences particulières concernant la texture, la teinte et les formes ;
- le parement ouvragé satisfait à des exigences décoratives souvent définies à partir d'éléments témoins.

Toutes les exigences relatives à ces parements sont, bien entendu, à définir par des spécifications techniques dans le marché (CCTP : cahier des clauses techniques particulières).

Pour le maintien de la pérennité d'aspect des parements, le recours à l'application de produits de protection (produits anti-graffitis) peut constituer actuellement une solution efficace mais, dans les cas d'exposition à des agressivités fortes, il s'avère utile

Tableau 12 – Spécifications générales pour parements (fascicule 65 A du CCTG)

Classe de parements soignés	Teinte	Texture	Forme	
			Écart maximal sous gabarit	
			de 2 m	de 0,2 m
Simple	Aspect général régulier (1) Sans taches ni marbrures (1)	Aspect général régulier sans ségrégation et sans nids de cailloux (2)	< 8 mm	< 3 mm
			(3)	
Fin	Idem parements simples mais avec référence à un nuancier (4)	Aspect défini par référence à un témoin ou en définissant la nature de la peau coffrante (5) sans ségrégation et sans nids de cailloux (6)	< 5 mm	< 2 mm
			(3)	
Ouvragé	Coulé en place (cf. parements simples)	Conformité au modelé défini au marché (7)		
	Préfabriqué (cf. parements fins)			

(1) Fixer la « couleur » et les degrés de régularité.

(2) Indiquer les défauts prohibés et le degré de bullage maximal.

(3) Parement plan : proscrire les défauts tels que écornure, épaufrure... ; parement non plan : définir le gabarit adapté et les nouveaux écarts admissibles.

(4) Fixer la « couleur » à partir d'un nuancier précisé et les écarts maximaux admissibles.

(5) Plutôt spécifier un résultat par rapport à un échantillon témoin que de prescrire une peau coffrante quelconque.

(6) Indiquer les défauts prohibés, le degré de bullage maximal et le taux admissible.

(7) Il n'appartient pas aux textes généraux (CCTG...) de spécifier des niveaux précis de qualité ; il convient donc de définir complètement au marché le parement et ses spécifications associées, en s'appuyant sur les spécifications propres aux parements fins, simples d'une part et en intégrant les impacts dus à la modénature retenue (ce travail nécessite une collaboration avec l'architecte pour la rédaction du CCTP qui doit prévoir une finalisation précise avec l'entreprise une fois le marché passé).

de prévoir des revêtements de protection dès l'origine et l'entretien ultérieur de ceux-ci.

Le parement constituant la peau du béton est donc sa première protection en matière de durabilité ; il est utile d'envisager un classement basé sur les caractéristiques de texture et de perméabilité aux agents agressifs. En l'état actuel, le manque d'expérience ne permet pas de disposer d'une classification fiable mais, *a priori*, il faut privilégier les compacités les plus élevées possibles dans le béton et, notamment, dans les zones d'enrobage des armatures de peau.

La prise en compte de l'environnement de l'ouvrage conduit à fixer une valeur minimale du dosage en ciment, d'une part, et une valeur maximale du rapport eau efficace/liant, d'autre part. Dans le cas des éléments préfabriqués, il convient de se référer aux normes « Produits » correspondantes (certification Qualifib, par exemple [3]).

Les parements en béton bruts de décoffrage peuvent être lisses ou présenter une texture particulière moulée grâce à l'emploi de matrice. La problématique pour ces parements reste l'obtention d'une uniformité de teinte et l'absence de défauts répétitifs, d'une part, ainsi que le respect des exigences spécifiques de texture et de formes, d'autre part.

Les spécifications générales à préciser au marché (CCTP) sont récapitulées dans le tableau 12.

Les spécifications relatives à la teinte et au bullage sont établies dans le marché à partir des éléments du fascicule de documentation Afnor P 18-503.

2.2.4.1 Niveaux de qualité de teinte

Dans le cas des bétons gris, la teinte peut être appréciée par référence à l'échelle de teinte identifiée en annexe B du fascicule de documentation Afnor P 18-503. Chaque type de parement est caractérisé par un niveau de qualité (tableau 13) défini par deux valeurs numériques qui précisent :

- d'abord l'écart maximal admissible entre deux zones adjacentes de teintes différentes ;
- ensuite, celui entre les teintes extrêmes observées.

Tableau 13 – Exemples de niveaux de qualité de teinte

Classe de parement	Parties d'ouvrages	Niveaux de qualité
Ouvragé	Corniches, fûts de pile	1,1
Fin	Partie courbe des piles	1,1
Fin	Tablier	1,2
Simple	Culées, murs	1,2

En aucun cas, les niveaux 6 et 7 de l'échelle du fascicule précédent ne doivent être tolérés pour les bétons réputés gris clair.

Dans le cas de bétons blancs ou colorés, plusieurs possibilités sont envisageables pour établir les spécifications de teinte :

- soit utiliser et contractualiser au marché un nuancier de béton coloré du type CERIB (Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton), lorsque la couleur retenue fait l'objet d'une fiche [3] ;
- soit faire référence à un échantillon témoin qu'il conviendra de réaliser en amont du chantier et de contractualiser ses caractéristiques essentielles (cette démarche est principalement réservée à la préfabrication en usine) ;
- soit utiliser le référentiel de béton gris Afnor P 18-503, en passant par le traitement numérique d'image en nuances de gris et en prenant la précaution de formaliser les conditions opératoires (éclairage du parement, présence de l'échelle de gris sur cliché, critères de luminosité et de contraste au traitement) ; cette opération reste délicate et doit être confiée à un spécialiste.

Pour l'évaluation de la qualité de teinte des parements, il est nécessaire de fixer :

- la distance d'observation (tableau 14) ;
- les conditions d'éclairage ;
- l'âge du béton ;
- l'état d'humidité du parement.

Tableau 14 – Exemples de distances d’observation des parements

Classe de parement	Parties d’ouvrages	Distance d’observation (m)
Ouvragé	Corniches	10
	Fûts de pile	5
Fin	Partie courbe des piles	5
	Tablier	10
Simple	Culées, murs	10

Enfin, il convient de détailler toutes les parties de l’ouvrage et les lots de contrôle regroupant les parties d’ouvrage de même nature et présentant une même exposition. Il est souvent utile de multiplier le nombre de lots car toutes les parties d’ouvrage appartenant à un même lot de contrôle doivent subir (en cas de problème) les mêmes types de réparation, ce qui peut conduire à des situations délicates de voisinage de parties d’ouvrages.

Exemple de lots de contrôle de la teinte :

- ensemble des piles ;
- intrados d’un tablier ;
- chaque rive de corniches (non ouvragées) ;
- chaque culée ;
- chaque mur en retour.

2.2.4.2 Niveaux de qualité de texture

Comme pour la teinte, le niveau de qualité de texture doit être défini au marché en conformité avec les plans d’exécution et il est recommandé de prévoir la réalisation d’éléments témoins pour s’assurer que les moyens et méthodes de l’entreprise permettent bien d’atteindre ce niveau.

Pour des raisons aussi bien d’esthétique que de durabilité, aucun défaut tel que bullage important, nids de cailloux, ressuage, fuite de laitance, faïencage, poudrage, tassure, protubérance, inclusion et fissures ne peut être toléré sur les parements soignés.

Dans le cas d’exposition moyennement ou fortement agressive, il est recommandé de spécifier une perméabilité de surface réduite et homogène.

Pour les bullages de surface, une procédure comparable à celle définie pour la teinte doit être élaborée. Le défaut moyen est jugé par rapport à une échelle de référence décrite dans le fascicule de documentation de l’Afnor P 18-503 (annexe A) et comprenant 7 niveaux de bullage. Généralement, les bulles de degrés 6 et 7 ne sont pas admises pour les parements soignés. Les autres niveaux de qualité doivent être spécifiés au marché. La spécification du niveau de bullage peut être judicieusement assortie de taux maximaux de présence (surfaces relatives) suivant chaque niveau de bullage toléré (cf. tableau 15). Le bullage ne peut pas être pris en compte dans le cas de surface en béton désactivé.

Les lots de contrôle de la texture n’ont aucune raison d’être identiques à ceux définis pour la teinte et peuvent être déterminés de façon indépendante en privilégiant le critère durabilité du béton. Il convient cependant de ne pas perdre de vue que certaines réparations de défauts de texture sont susceptibles d’altérer localement la teinte, et cette altération peut à son tour engager des reprises de teinte du parement.

Exemples de lots de contrôle de la texture :

- chaque pile ;
- le tablier ;
- chaque face de culée ;
- chaque face de mur en retour.

Tableau 15 – Exemples de spécifications pour le bullage de surface

Classe de parements	Niveaux de bullage	Surface relative maximale (%) (1)
Ouvragé	2	0,2
Fin	3	0,2
Simple	5	0,4

(1) À titre indicatif, une surface relative de 0,2 % de bulles de taille 3 correspond environ à 67 bulles par mètre carré de surface.

Tableau 16 – Exemples de spécifications pour la forme des parements

Parement	Soigné			Ordinaire
	Simple	Fin	Ouvragé	
Planéité d’ensemble (règle 2 m)	8 mm	5 mm	5 mm	15 mm
Planéité locale (règle 0,2 m)	3 mm	2 mm	2 mm	6 mm
Critère FD P 18-503	P2	P3	P3	P1

La forme des parements sera appréciée en conformité avec les spécifications du fascicule de documentation Afnor FD P 18-503. À chaque type de parement plan correspond un niveau de qualité caractérisé par les flèches maximales tolérables (ou coefficients de planéité) définissant la planéité d’ensemble et la planéité locale (f_{max}) définies dans le même document.

Dans le cas de surface non plane, les règles utilisées pour la vérification de planéité doivent être remplacées par des gabarits adaptés à la courbure ou à la modénature du parement. Des exemples de spécifications sont indiqués tableau 16.

Les lots de contrôle de la forme des parements peuvent également être définis de façon indépendante à ceux de la teinte et de la texture.

Exemples de lots de contrôle pour la forme :

- chaque culée ;
- chaque pile ;
- chaque élément de corniche ;
- chaque rive de corniches ;
- chaque mur en retour ;
- le tablier...

2.3 Plan de contrôle

À chaque étape de la fabrication, une relation client-fournisseur apparaît et, à chacune de ces relations, des garanties (contrôle interne) doivent être fournies et des précautions prises (contrôle externe et/ou extérieur).

En premier lieu, le producteur de béton achète le ciment, les granulats, les adjuvants, des fibres, des colorants... ; il est normal qu’il demande à chaque fournisseur de lui assurer la qualité des produits livrés. Ces fournisseurs doivent donc vérifier leurs produits, engager des procédures de traçabilité et informer le producteur de béton (client) en lui transmettant les rapports d’essais et de vérifications correspondants : ces opérations constituent le contrôle interne des fournisseurs. Ces opérations de contrôle interne peuvent, dans certains cas, être réalisées par un tiers à la demande des fournisseurs.

Dans une seconde étape relationnelle, l'entreprise (client) se trouve en face du producteur de béton (fournisseur), auquel elle a imposé un cahier des charges. L'entreprise va donc lui demander une garantie du respect de ce cahier des charges, ce qui va se traduire par une succession d'opérations à chaque étape du chantier.

En préalable au démarrage du chantier, le fournisseur de béton présente à l'entreprise un rapport d'étude pour chaque béton (dont la résistance caractéristique est supérieure à 25 MPa). Ce rapport d'étude est structuré de façon à démontrer que tous les éléments du cahier des charges sont bien respectés :

- la nature et les caractéristiques de tous les constituants sont bien conformes aux normes actuellement en vigueur et correspondent aux spécifications du cahier des charges ;
- la composition est indiquée complètement et sans ambiguïté pour un rendement volumique correct de béton serré à refus (incertitude de mesure indiquée et prise en compte) ;
- les formules nominales du béton conduisent aux performances spécifiées tant du point de vue de la consistance et robustesse du béton frais, que de celui de la maturité du béton durci ; il est évident que ce béton doit pouvoir être fabriqué en centrale au débit prévu et mis en œuvre par les moyens du chantier (pompe, benne à manche...) précisés par le cahier des charges ;
- la robustesse du béton doit être précisée, avec éventuellement les modifications de composition en cas d'aléas thermiques importants (dans le cas de chantier se déroulant sur des périodes estivales et hivernales) ou de fortes perturbations des conditions de transport ;
- enfin, le rapport d'étude peut présenter les précautions d'usage particulières à la formule de composition retenue.

Dans certains cas, un dossier de référence peut être substitué à ce rapport d'étude de formulation. Les références présentées doivent, cependant, être probantes et correspondre parfaitement aux spécifications du cahier des charges.

Le fournisseur de béton peut se contenter de proposer les compositions de certains bétons, tels que bétons de propreté ou de remplissage, et des mortiers de calage, lorsqu'elles ne sont pas fixées par le marché. Il mentionne les dispositions justifiant l'utilisation éventuelle de granulats récupérés. Il décrit les dispositions particulières adoptées pour les reprises de bétonnage et les moyens de livraison sur chantier de mise en œuvre.

L'entreprise regroupe ensuite l'ensemble des garanties présentées par ses fournisseurs et sous-traitants aux garanties relevant de sa propre intervention :

- le délai de préavis pour commencer le bétonnage après les résultats de l'épreuve de convenance (ou essais initiaux) ;
- les moyens de mise en place du béton et les moyens de manutention (coffrage-décoffrage, pose et calage des armatures...) ;
- les programmes de bétonnage ;
- les conditions relatives au durcissement (maturité) et au décoffrage (date, cure, protection...).

Toutes les dispositions de ces contrôles intérieurs (internes aux fournisseurs et entreprise, ou externes réalisés par des tiers à leurs demandes) font nécessairement l'objet de documents de suivi ou de rapports d'essais.

L'ensemble de ces opérations peut être résumé dans le tableau 17.

Il est recommandé d'établir un plan de contrôle adapté à chaque type de béton, pour une meilleure prise en compte technico-économique des spécificités de chaque type de partie d'ouvrage. Les dispositions prévues dans le plan de contrôle intérieur sont présentées dans le plan Qualité de l'entreprise.

■ Contrôle extérieur

Le maître d'œuvre exerce un contrôle extérieur à l'entreprise pour valider le contrôle intérieur à celle-ci et s'assurer de la

conformité à ses propres spécifications. Il peut inclure dans cette démarche toutes les opérations qu'il juge utile, les principales restant :

- le visa des plans d'exécution ;
- la vérification des résultats du contrôle intérieur à l'entreprise (analyse des rapports d'essais, des constats, des fiches de non-conformités et vérification des registres) ;
- la réalisation d'essais complémentaires ou contradictoires sur constituants, béton ou structure en béton, notamment pour les levées de point critique ou de point d'arrêt (tableau 18, p. 13).

3. Étude des bétons

La mise au point d'une composition de béton peut être réalisée de nombreuses façons, et les démarches en ce domaine ne manquent pas [1]. Cependant, bon nombre des échecs et même le vécu au quotidien sur chantier révèlent des lacunes qui sont traitées en temps réel avec plus ou moins de bonheur, avec parfois des conséquences graves, voire dramatiques. L'examen des causes réelles de ces déboires ramène la plupart du temps sur une mauvaise prise en compte des conditions générales de chantier. De façon pragmatique, on est souvent contraint de fabriquer, avec les « moyens de bord », un bon « béton de laboratoire ».

L'expérience montre qu'un béton parfaitement adapté pour la construction d'un ouvrage peut s'avérer l'être beaucoup moins dans des conditions différentes de mise en œuvre pour un autre ouvrage apparemment du même type. Cela pose un problème de fond, puisque le recours aux références d'emploi peut être alors mis en porte à faux et, si ce raisonnement est poursuivi, un nouveau béton devrait apparaître pour chaque chantier. Il est alors clair que le problème doit être reformulé sur de nouvelles bases pour assurer une bonne robustesse des bétons ou, à défaut, disposer des éléments fiables d'adaptation des compositions pour les différents chantiers.

3.1 Bien appréhender le cahier des charges

Il est donc évident que la démarche d'étude du béton s'appuie sur une prise en compte complète du cahier des charges de l'utilisateur, c'est-à-dire de l'entreprise positionnée en amont comme prescripteur. Ce cahier des charges inclut naturellement les charges du maître d'œuvre et donc du maître d'ouvrage, c'est-à-dire le cumul de toutes les charges de différentes natures (états frais, jeune ou durci) suivant le type de chantier (tableau 19, p. 14).

D'autres contraintes d'ordres techniques et économiques doivent également être prises en compte. Notamment, les origines des constituants minéraux seront bien souvent conditionnées par des problèmes environnementaux et économiques :

- économie sur les granulats en réduisant au maximum le coût de leur transport, ce qui privilégie les granulats locaux dans la mesure où leurs caractéristiques sont suffisantes ;
- recherche du ciment de type convenable mais le moins cher possible, en jouant cette fois sur les trois composantes : disponibilité quantitative, prix de départ et coût de transport ;
- pour le recours à une addition minérale, la démarche adoptée est du même type que celle retenue pour le ciment.

Pour les autres constituants tels que les adjuvants et fibres, le critère d'efficacité est généralement préféré sans pour autant négliger l'aspect économique.

De façon générale, si les types ou classes des matériaux sont déterminés techniquement, leurs origines seront souvent imposées par des critères économiques (fournisseurs locaux ou proches avec réduction concomitante des coûts de transport).

Tableau 17 – Structure du plan de contrôle des bétons

Phase	Opération		Opérateur	Traçabilité	Remarques	
Préalable à la fabrication	Établissement du cahier des charges		Entreprise	Cahier des charges	Soumis à l'approbation du maître d'œuvre avant application	
	Dossier d'étude	Étude de formulation	Producteur de béton	Rapport d'étude	Validation par l'entreprise puis transmission au maître d'œuvre	
		Exploitation de références		Dossier de références		
	Essais initiaux	Vérification des performances des équipements de la centrale		Contradictoirement entreprise/producteur de béton	Rapport de visite (annexe G de la norme NF EN 206-1)	
		Essai initial normalisé	Béton BPS	Producteur de béton	Rapport d'essai (1)	Validation par l'entreprise puis transmission au maître d'œuvre
			Béton BCP	Entreprise		
		Convenance		Contradictoirement entreprise/producteur de béton	Rapports d'essais	Validation par l'entreprise puis transmission au maître d'œuvre
		Réalisation d'éléments témoins		Entreprise	Rapports d'essais et conservation des témoins	Validation par l'entreprise puis transmission au maître d'œuvre
Fabrication du béton en centrale ou en usine de préfabrication	Vérification de l'état des équipements de la centrale		Producteur de béton	Registre matériel de la centrale si anomalie	Présentable à la demande de l'entreprise ou du contrôle extérieur	
	Vérifications des constituants	Approvisionnement	Producteur de béton	Registre constituants et saisies sur automate de centrale	Présentable à la demande de l'entreprise ou du contrôle extérieur	
		Stockage				
		Teneur en eau des granulats				
	Contrôle du processus de fabrication et du béton frais en centrale		Producteur de béton	Bordereau de livraison	Transmis à l'entreprise à la livraison	
				Bordereau de pesées	Transmis à l'entreprise (si exigé)	
Vérification des résistances mécaniques potentielles du béton durci		Producteur de béton	Rapports d'essais	Transmis à l'entreprise (si exigé)		
Mise en œuvre	Vérification des coffrages (préparation, stabilité, étanchéité, démoulant)		Entreprise	Registre ou constat	Présentable à la demande du contrôle extérieur	
	Vérification des armatures (pose, calage)		Entreprise	Registre ou constat	Présentable à la demande du contrôle extérieur	
	Réception du béton frais sur chantier		Entreprise	Rapports d'essais	Validation par l'entreprise puis présentable à la demande du contrôle extérieur	
	Surveillance des conditions de mise en œuvre (quantité, horaires, coulage, vibration, application de cure sur surfaces non coffrées, suivi de maturité, anomalies...)		Entreprise	Registre, rapport d'essai ou constat	Présentable à la demande du contrôle extérieur	
	Vérification des résistances mécaniques du béton durci		Entreprise	Rapports d'essais	Validation par l'entreprise puis transmission au maître d'œuvre	
Décoffrage et conservation après décoffrage	Décoffrage	Épreuve d'information	Entreprise	Rapports d'essais	Validation par l'entreprise puis transmission au maître d'œuvre	
		Décoffrage		Registre ou constat	Présentable à la demande du contrôle extérieur	
		Cure des surfaces décoffrées				
	Protection des surfaces décoffrées ou préparation pour revêtement		Entreprise	Registre ou constat	Présentable à la demande du contrôle extérieur	

(1) Les résultats des essais initiaux sont à transmettre également à l'organisme de normalisation, si le producteur de béton est titulaire du droit d'usage de la marque NF-BPE.

Tableau 18 – Exemples de points critiques et de points d'arrêt relatifs à la qualité du béton

Phase	Opération	Point critique	Point d'arrêt
Fondation profonde	Réception des fondations : intégrité du béton		●
Coffrages-parements	Convenance des bétons pour parements fins ou ouvragés	●	
	Mise en œuvre des coffrages	●	
	Convenance du traitement de surface	●	
Armatures	Réception du ferrailage	●	
	Mise en place du ferrailage et calage dans les coffrages	●	
Bétonnage	Réception de la centrale de fabrication	●	
	Épreuve de convenance du béton	●	
	Autorisation de bétonnage		●
	Contrôle de mise en œuvre	●	
Décoffrage	Épreuve d'information sur la résistance du béton	●	
	Opération de décoffrage	●	
	Décintrement		●
Surface non coffrées (tablier, dalle)	Réception du support		●

D'autres spécifications imposées par la norme NF EN 206-1 apparaissent judicieuses suivant la nature ou le dimensionnement de l'ouvrage :

- teneur en chlorures ;
- comportement vis-à-vis des réactions de gonflement ;
- limitation de l'exothermie du béton jeune pour les parties d'ouvrage massives ;
- dimension maximale des granulats.

Les bilans en chlorures et en alcalins sont établis au cours de l'étude de formulation pour les compositions nominales et dérivées [1]. Tout changement de constituant en cours de fabrication doit donner lieu à de nouveaux bilans.

■ Limitation de l'exothermie du béton jeune pour les parties d'ouvrage massives

Dans le cas de bétons assez fortement dosés en ciment (BHP, BAP) utilisés dans des parties d'ouvrages massives, le ciment peut développer une forte exothermie dans le béton jeune, et ce d'autant plus que la défloculation provoquée par de forts dosages en superplastifiants multiplie les sites réactifs. Pour limiter l'exothermie, il convient de recourir aux solutions traditionnelles :

- emploi de ciment à faible teneur en aluminat tricalcique (C3A) ;
- baisse de dosage en ciment au profit de fines minérales (addition ou fines de sables).

■ Dimension maximale des granulats

La norme NF EN 206-1 (cf. Doc. C 2 276) rappelle que la dimension maximale des granulats est sélectionnée en prenant en compte :

- les dispositions de stockage et les dispositifs de dosage en centrale de fabrication ;
- les moyens prévus pour le coulage (pompage, diamètre des conduits...) ;
- l'épaisseur de recouvrement des armatures dans la partie d'ouvrage ;
- les dimensions minimales des sections de celle-ci ;
- les différentes exigences esthétiques si les granulats doivent être apparents.

En second lieu, il convient de prendre en compte les critères d'écoulement, notamment en cas de changement de D_{\max} dans une composition. En effet, la réduction de D_{\max} implique :

- la baisse de dosage pondéral en gros gravillons ;
- et, de façon concomitante, une augmentation de la phase mortier.

L'augmentation de D_{\max} implique les variations inverses aux précédentes.

Dans tous ces types de modifications, il est recommandé de ne pas modifier la composition relative du mortier de base sans justification technique (nouvelle étude de laboratoire).

3.2 Prendre en compte les capacités des outils prévus pour la fabrication

Le dernier volet de la problématique de mise au point d'un béton reste la prise en compte des potentialités de l'outil de fabrication, en s'attachant plus particulièrement aux performances de dosage et de malaxage, d'une part, et au débit de l'unité de production, moyens d'approvisionnement compris, d'autre part.

Les performances des outils de fabrication des granulats peuvent engendrer des variations de leurs caractéristiques susceptibles d'avoir un rôle primordial sur la robustesse du béton (aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci) (tableau 20, p. 15).

Dans l'interprétation de son étude de robustesse de béton, le formulateur doit intégrer les performances des doseurs des différents constituants et les potentialités de calcul de l'automate de la centrale de fabrication. Cette intégration est particulièrement nécessaire dans les bétons adjuvantés du fait de l'interaction de tous leurs constituants (tableau 21, p. 15).

Il est également utile d'apprécier l'influence des variations de dosage des constituants principaux : adjuvants tels que les superplastifiants (défloculants), entraîneurs d'air, agents de viscosité ou autres, d'une part, teneur en eau efficace et teneur en eau des sables, d'autre part. Pour évaluer les niveaux de variations de dosage, il est recommandé de s'appuyer sur les performances

Tableau 19 – Exemples de charges générales demandées par l'utilisateur

Opérations	Béton à l'état frais	Béton à l'état jeune	Béton à l'état durci
Composition du béton	<ul style="list-style-type: none"> • Constance de la granulométrie du sable 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Dimension des gros gravillons compatibles avec l'épaisseur de la partie d'ouvrage et du ferrailage 		
		<ul style="list-style-type: none"> • Dosage en ciment compatible avec les dimensions de la partie d'ouvrage (partie d'ouvrage massive) 	<ul style="list-style-type: none"> • Dosage minimal de ciment • Choix du ciment compatible avec la teinte des parements
	<ul style="list-style-type: none"> • Précision des dosages réels 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Temps minimal de malaxage 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Valeur maximale du rapport eau efficace/liant équivalent • Taux maximal de chlorures 		
Fourniture sur chantier	<ul style="list-style-type: none"> • Volume minimal des charges 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Débit d'approvisionnement 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Âge maximal du béton à la livraison 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Température du béton à la livraison 		
Consistance au moment de l'emploi	<ul style="list-style-type: none"> • Étalement suffisant et constant fixé aux essais initiaux dans le cas de BAP 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Béton pompable sur longue distance 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Maintien de rhéologie compatible avec temps de coulage, aléas courants compris 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de ressuage 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de ségrégation 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Robustesse de la consistance vis-à-vis des conditions climatiques prévisibles avec variantes éventuelles de composition 		
Définition de la catégorie de BAP	<ul style="list-style-type: none"> • Catégorie définie en fonction de l'intervalle d'écoulement <i>I</i> (cf. tableau 5) 		
Maturité		<ul style="list-style-type: none"> • Garantie de maturité minimale pour décoffrage 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantie de maturité minimale pour mise en précontrainte
Durabilité	<ul style="list-style-type: none"> • Teneur en air pour estimer le comportement au gel-dégel 		<ul style="list-style-type: none"> • Performances en tenue au gel-dégel (\bar{L}, écaillage...)
Caractéristiques physiques ou mécaniques à moyen terme			<ul style="list-style-type: none"> • Résistance mécanique à la rupture à un âge défini • Masse volumique en place
Cas des BCP (NF EN 206-1)	<ul style="list-style-type: none"> • Respect de la composition du BCP 		

réelles des matériels prévus pour la fabrication. Dans ce contexte et au vu des écarts admissibles trouvés en cours d'étude de composition, la spécification des tolérances de fabrication pourra être ajustée.

La capacité du malaxeur, couplée avec le temps de séjour total du béton dans le malaxeur, implique le débit du béton. Ce temps de séjour total est à distinguer du temps dit de malaxage puisqu'il comprend l'approvisionnement en constituants et le temps de vidange du béton. Il convient de noter que les temps de malaxage des bétons autoplaçants ou assez fortement adjuvantés sont supérieurs à ceux des bétons courants ; de ce fait, l'emploi d'un malaxeur de plus forte capacité est préférable (figure 2, p. 16).

À noter que le recours aux malaxeurs de faible capacité nominale ($< 1 \text{ m}^3$) entraîne des temps de fabrication de charge assez

longs, ce qui fait cohabiter des gâchées d'âges très différents (différence pouvant atteindre, voire dépasser, 30 min). Ces écarts conduisent à des difficultés majeures pour la formulation et, plus tard, pour l'emploi du béton, et ces difficultés seront exacerbées par les variations de conditions climatiques. Il convient également de préciser que le malaxage en centrale doit conduire, à la sortie du malaxeur, à un mélange homogène des constituants dont les propriétés rhéologiques peuvent être encore éloignées de celles nécessaires à la réception sur chantier et à l'emploi. Le temps de malaxage est définitivement arrêté lors des essais initiaux en centrale afin de mieux prendre en compte les capacités réelles du malaxeur pour le béton testé. En l'état actuel des connaissances, les études de formulation réalisées à partir de malaxeur de laboratoire n'ont pas vocation à estimer, par avance, ce temps de malaxage en centrale.

Tableau 20 – Rôle des caractéristiques sensibles des granulats fabriqués sur la robustesse du béton

Classe granulaire	Paramètres	Paramètre de robustesse à vérifier	Risque probable
Gros gravillon d/D	Propreté superficielle	Influence d'un léger excès de fines sur la rhéologie du béton	Perte du caractère autoplaçant
	Variation du coefficient de forme	Influence d'une mauvaise forme sur la rhéologie du béton	Défloculation plus coûteuse
	Variation du diamètre maximal D_{\max} (mm)	Compatibilité de D_{\max} avec l'intervalle d'écoulement I de la classe de BAP considérée	Difficulté au coulage : changement de classe de BAP
Sable 0/d	Augmentation du taux de fines	Influence de l'augmentation de l'absorption d'eau du mélange granulaire	Perte du caractère autoplaçant Défloculation plus coûteuse
		Manque d'éléments fins dans le béton	Perte du caractère autoplaçant
	Diminution du taux de fines	Influence du manque d'absorption d'eau du mélange granulaire	Ressuage et/ou ségrégation
		Augmentation du diamètre maximal d	Ségrégation du stock de sable Voir l'influence de la diminution du taux de fines

Tableau 21 – Influence des outils de dosage sur la robustesse du béton

Insuffisance performantielle		Paramètre de robustesse à vérifier	Conséquences	Secteur affecté	Risque probable
Matériel	Affectation				
Précision des bascules	Des gravillons	Sensibilité du béton à une variation du dosage en gravillons	Déséquilibre du rapport mortier/gravillons	Pompage	Blocage dans tube
				Écoulement dans coffrage	Ségrégation
	Des sables	Sensibilité de la phase mortier à une variation du dosage en sable	Déséquilibre du rapport ciment/sable	Pompage	Blocage dans tube
				Caractéristiques mécaniques	Maturité différente Résistance à la rupture affectée
			Déséquilibre du rapport eau efficace/liant	Rhéologie à l'état frais	Ségrégation dans coffrage
				Rhéologie à l'état frais	Ressuage
				Caractéristiques mécaniques	Résistance à la rupture affectée
				Durabilité	Perméabilité affectée
	D'eau d'ajout	Sensibilité de la phase mortier et donc du béton à une variation du dosage en eau	Manque d'eau efficace	Changement de rhéologie	Perte du caractère autoplaçant
				Pompage	Blocage dans tube
			Excès d'eau efficace	Pompage	Ressuage dans coffrage
				Changement de rhéologie	Ressuage dans coffrage
Précision des doseurs	Des adjuvants	Sensibilité de la phase mortier à une variation du dosage en adjuvant	Variations dans la défloculation	Changement de rhéologie	Perte du caractère autoplaçant
					Ressuage
					Ségrégation

3.3 Débit horaire de production et durée pratique d'utilisation

Si le débit horaire de production de béton est d'abord lié à la capacité de malaxage, il peut se trouver amoindri par l'insuffisance des capacités de transport. Ces capacités de transport dépendent du parc disponible de porteurs, d'une part, et de la durée de la rotation

centrale-chantier-centrale, augmentée du temps de fabrication de la charge, d'autre part. Le nombre minimal de porteurs nécessaires pour assurer le débit prévu peut évidemment être calculé à partir des paramètres précédents. Il y a souvent intérêt à introduire une temporisation entre chaque porteur pour réduire les arrêts importants de bétonnage entre les rames de porteurs ; cette temporisation permet également de réduire le nombre de porteurs.

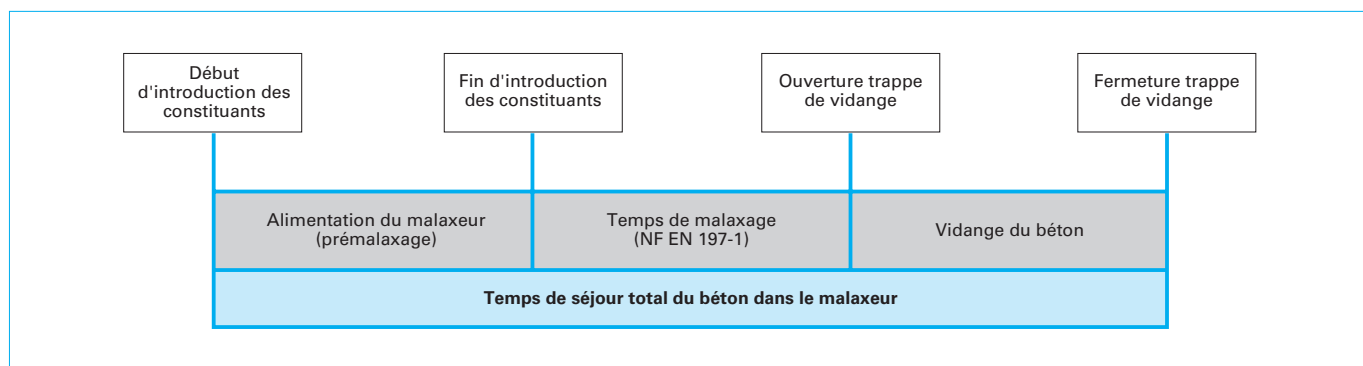


Figure 2 – Temps de séjour total du béton dans le malaxeur

Dans le cas des bétons autoplaçants, la capacité nominale d'un porteur n'est généralement pas utilisable, et la capacité réelle est réduite entre 65 et 85 % (suivant la fluidité du BAP) de la capacité nominale affichée. Si le béton autoplaçant est coulé normalement, c'est-à-dire par coulage du haut vers le bas, la durée pratique d'utilisation du béton autoplaçant est au moins égale aux durées cumulées de la fabrication, du transport complet dans l'ouvrage et d'un forfait estimé pour couvrir les aléas traditionnels de chantier mais, dans le cas où il est injecté en pied de coffrage, la durée pratique d'utilisation sera étendue à la durée totale du coulage de la partie d'ouvrage.

3.4 Moyens de transport du béton

Par moyens de transport, il convient d'entendre tous les moyens utilisés pour acheminer le béton de sa sortie du malaxeur jusqu'à sa mise en place dans le coffrage.

Dans le cas de recours à une centrale BPE, le transport débute en camion porteur (camion toupie) pour atteindre le site de coulage. Ensuite, le béton est envoyé au coffrage par un moyen propre à l'entreprise, le pompage s'avérant préférable pour les bétons fluides en coulages verticaux. Dans le cas de recours à une centrale de chantier, souvent sur le site, les moyens de transport peuvent être variés, mais les moyens précédents restent les plus fréquents avec des temps de transports considérablement réduits. Il est clair que la prise en compte de ces moyens de transport influe à plusieurs niveaux dans la formulation du béton, et ce d'autant plus qu'il est fluidifié :

- durée pratique d'utilisation ;
- rhéologie particulière à l'arrivée sur chantier ;
- robustesse vis-à-vis des conditions climatiques.

3.5 Robustesse du béton

Par robustesse du béton, il convient d'entendre faible sensibilité des caractéristiques physiques et mécaniques aux différentes variations pouvant apparaître sur chantier, et ce sous les trois états frais, jeunes et durcis du béton.

■ La robustesse des bétons à l'état frais doit permettre à l'entreprise (prescripteur final au sens de la norme NF EN 206-1) d'utiliser le béton dans des conditions arrêtées en fonction du délai de transport et d'attente avant coulage, des moyens de transport jusque dans le coffrage, et des conditions ambiantes conditionnant l'état du

matériau. La garantie de la robustesse passe cependant par la possibilité de modifier légèrement certains paramètres de composition tels que les dosages en eau ou/et en adjuvant pour prendre en compte les changements incontournables d'ambiances climatiques ou les perturbations ponctuelles de trafic routier. Si cette robustesse est ainsi assurée, la constance de la mise en place finale du matériau est possible pour les bétons courants, si l'énergie de serrage est définie, et dans tous les cas de bétons autocompactants ou autoplaçants ; l'homogénéité de la partie d'ouvrage pourra ainsi être mieux garantie.

■ La robustesse des bétons à l'état jeune n'a de sens que dans la mesure où celle à l'état frais est assurée. Cette condition étant nécessaire mais pas forcément suffisante, l'étude doit aussi démontrer que les légères variations nécessaires à l'ajustement de la rhéologie du béton frais n'engendrent pas de perturbations sensibles sur la maturité du béton sous condition de cure semblable. Dans le cas de conditions climatiques sévères ponctuelles ou dans le cas de réalisation de pièces massives, l'étude doit apporter des éléments de réponse pour tendre vers une homogénéité finale de la partie d'ouvrage.

■ Si la robustesse aux états frais et jeune a été assurée, la notion de robustesse à l'état durci n'a généralement plus de sens car elle se trouve alors garantie sous réserve d'un usage raisonnable de la partie d'ouvrage. Il convient cependant d'assurer une bonne maîtrise des conditions de maturation et de protection superficielle des surfaces non coffrées ou décoffrées.

Par ailleurs, le respect de la durabilité requise est à justifier en regard de chacun des mécanismes potentiels de détérioration. À ce niveau, si l'expérience n'est pas encore suffisante, il convient d'inclure dans la démarche tous les essais de performance nécessaires ou, à défaut, les recours aux modèles prédictifs éprouvés.

3.6 Rapport d'études et références

3.6.1 Cas du rapport d'étude

Dans le cas où le producteur de béton présente un rapport d'étude, l'entrepreneur doit vérifier le respect de toutes les spécifications de son cahier des charges.

Le maître d'œuvre vérifie pour sa part :

- que ses spécifications de départ ont bien été prises en compte dans le rapport d'étude et qu'elles ont été validées par l'entreprise ;
- que les réponses apportées aux charges ajoutées par l'entreprise ne sont pas incompatibles avec ses propres spécifications.

Le rapport d'étude doit formaliser les éléments de réponse à toutes les spécifications mentionnées au cahier des charges de l'entrepreneur, document validé en amont par le maître d'œuvre. À titre de rappel, ce rapport d'étude comprend généralement les éléments suivants :

- rappel des éléments du cahier des charges du prescripteur final (entrepreneur) ;
- caractéristiques des granulats du béton :
 - natures et origines des coupures granulaires utilisées,
 - attestation du marquage CE autorisant leur emploi,
 - caractéristiques physiques et mécaniques,
 - granularités,
 - comportements vis-à-vis de la réaction alcali-silice,
 - emploi éventuel de granulats récupérés avec la proportion d'ajout ;
- caractéristiques du ciment :
 - nature et origine,
 - attestation du marquage CE et de la marque NF autorisant son emploi,
 - caractéristiques mécaniques, physiques, chimiques et de durabilité ;
- caractéristiques de chaque adjuvant utilisé :
 - identification et fonction,
 - et, au minimum, densité et extrait sec ;
- analyses des eaux :
 - eau du réseau potable,
 - eau du site,
 - eaux recyclées (avec taux d'incorporation prévu) ;
- caractéristiques des autres constituants (additions minérales, agents de viscosité, fibres, colorants...) ;
- composition retenue :
 - formule de composition et masse volumique,
 - validation de la teneur en liant,
 - validation du rapport eau efficace sur liant équivalent,
 - bilan de la teneur en chlorures,
 - teneur en air (si tenue au gel-dégel spécifiée) ;
- caractéristiques rhéologiques en conditions normales :
 - composition nominale,
 - compositions dérivées éventuelles ;
- si nécessaire robustesse vis-à-vis des variations des conditions ambiantes :
 - variations rhéologiques,
 - solutions proposées pour maintien de la robustesse ;
- caractéristiques mécaniques générales :
 - résistances à la compression simple,
 - si nécessaire, résistances à la flexion et/ou à la traction par fendage ;
- étalonnage maturométrique, si prévu au cahier des charges ;
- comportement au gel-dégel, si prévu au cahier des charges ;
- comportement vis-à-vis des réactions de gonflement, si risque induit par les constituants ;
- comportement à différentes agressions (pénétration de l'eau, réaction au feu...), si prévu au cahier des charges ;
- précautions éventuelles pour l'utilisation du béton (à l'initiative du producteur de béton).

Les opérations de validation doivent aboutir à la satisfaction de toutes les spécifications introduites par le cahier des charges. Dans certains cas particuliers (marchés publics ou éléments architecturaux préfabriqués en usine, par exemple), des procédures de validation sont codifiées au niveau des performances mécaniques du béton.

Ainsi le fascicule 65 du CCTG [5] précise les conditions d'acceptation des caractéristiques mécaniques du béton en intégrant les caractéristiques réelles du ciment utilisé pour l'exécution de

l'étude. L'étude est alors réputée probante si la résistance en compression f_{CE} mesurée à 28 jours d'âge satisfait les deux conditions suivantes :

$$f_{CE} \geq f_{ck} + \lambda(C_E - C_{min})$$

$$f_{CE} \geq 1,1 f_{ck}$$

- avec f_{ck} résistance caractéristique spécifiée,
 C_{min} valeur minimale garantie pour le ciment à 28 jours,
 C_E résistance à la compression à 28 jours du ciment utilisé,
 λ facteur généralement égal à 1, sauf justification probante (très rarement modifié).

En outre, en cas de traitement thermique, l'épreuve d'étude doit montrer que le traitement thermique n'affecte que très peu les performances à long terme, ce qui doit se traduire par les trois conditions complémentaires :

$$(f_{cj})_T \geq 1,1 f_{cj}$$

$$(f_{c28})_T \geq 1,2 f_{c28}$$

$$(f_{c28})_T / (f_{c28})_{NT} \geq 0,9$$

- avec $(f_{cj})_T$ moyenne arithmétique à j jour des éprouvettes traitées thermiquement,
 $(f_{c28})_T$ moyenne arithmétique à 28 jours des éprouvettes traitées thermiquement,
 $(f_{c28})_{NT}$ moyenne arithmétique des éprouvettes non traitées.

Pour la préfabrication, le cahier des charges de la FIB (Fédération de l'industrie du béton) relatif aux éléments architecturaux en béton fabriqués en usine [3] fixe des spécifications de résistance mécanique sur le béton constitutif :

$$R_{cm} \geq R_c + k_1$$

$$R_{ci} \geq R_c - k_2$$

- avec R_{cm} résistance moyenne d'au moins 3 éprouvettes,
 R_{ci} résistance de l'éprouvette la plus faible,
 R_c résistance caractéristique requise,
 k_1 et k_2 facteurs correctifs définis dans le tableau 22.

3.6.2 Cas du dossier de référence

Lorsque le producteur de béton a une expérience certaine d'un béton répondant au cahier des charges du prescripteur final (entrepreneur), il lui est possible de présenter un dossier de références.

Pour être recevable, ce dossier de référence doit répondre à toutes les spécifications du cahier des charges précité et, notamment, du point de vue caractéristiques mécaniques. Les populations de référence sont alors constituées des résultats de mesures des résistances à la compression obtenus à 28 jours, et j jours si nécessaire sur des fournitures du béton pour lesquelles les autres caractéristiques sont conformes aux spécifications du cahier des charges. Dans le cas de traitement thermique, les éprouvettes prises en compte doivent avoir été traitées thermiquement dans des conditions représentatives de celles qui agissent sur le béton des éléments de structure envisagés.

Tableau 22 – Facteurs correctifs de la résistance requise pour éléments architecturaux préfabriqués

Facteur	Cas d'usine titulaire de la marque QualiF-IB	Usine non certifiée
k_1	2 MPa	6 MPa
k_2	3 MPa	0

Les références tiennent lieu d'épreuve d'étude probante si, à l'échéance de 28 jours d'âge :

$$f_{c_{ref28}} - K_1 S_{28} \geq f_{c28}$$

- avec $f_{c_{ref28}}$ estimateur de la moyenne des résultats de la population de référence,
- S_{28} estimateur de l'écart-type des résultats obtenus à 28 jours (si $S_{28} < 0,07 f_{c28}$, il sera pris égal à $0,07 f_{c28}$),
- f_{c28} valeur caractéristique requise de la résistance à la compression à 28 jours,
- K_1 coefficient dont la valeur est forfaitairement prise égale à 2 pour une population supérieure à 30 résultats.

Pour des échéances distinctes (à j jours, par exemple), le critère d'acceptation est du même type que précédemment :

$$f_{c_{refj}} - K_2 S_j \geq f_{cj}$$

- avec $f_{c_{refj}}$ moyenne arithmétique,
- S_j estimateur de l'écart-type des résultats obtenus à j jours (si $S_j < 0,07 f_{cj}$, il sera pris égal à $0,07 f_{cj}$),
- f_{cj} borne inférieure prescrite pour la résistance à j jours,
- K_2 coefficient dont la valeur est forfaitairement prise égale à 1,5.

En toute rigueur, la validation d'un dossier de référence reste une opération très délicate dès que le béton envisagé sort de la gamme des bétons courants C8/10 à C25/30. La possibilité d'emploi de la notion de famille signalée par la norme NF EN 206-1 reste encore très limitée par manque d'expérience.