

# Qualité du béton

## Essais, contrôles et vérifications

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

<b>1. Essais initiaux</b> .....	C 2 276 - 2
1.1 Responsabilités .....	— 2
1.2 Vérification des matériels de fabrication .....	— 2
1.3 Conditions d'essais .....	— 2
1.3.1 Ajustement du rendement volumique du béton .....	— 3
1.3.2 Réalisation des trois gâchées d'essais des bétons réajustés en centrale .....	— 4
1.3.3 Caractérisation des bétons fabriqués en centrale et utilisés dans les conditions de chantier .....	— 4
1.4 Critères d'adoption des essais initiaux .....	— 5
<b>2. Contrôle de fabrication</b> .....	— 6
2.1 Vérification des constituants .....	— 6
2.2 Contrôle du processus de fabrication et de transport sur chantier .....	— 7
<b>3. Contrôle à la mise en œuvre</b> .....	— 8
3.1 Contrôle sur site avant mise en œuvre du béton .....	— 8
3.2 Contrôle de réception du béton frais sur chantier .....	— 8
3.3 Suivi du bétonnage .....	— 9
3.4 Suivi du durcissement du béton et décoffrage .....	— 9
3.5 Contrôles spécifiques à la préfabrication en usine .....	— 9
<b>4. Vérification du béton durci</b> .....	— 9
4.1 Vérification des caractéristiques mécaniques du béton durci .....	— 9
4.2 Contrôle d'aspect des parements en béton .....	— 11
4.3 Contrôle d'intégrité du béton de fondations profondes .....	— 12
<b>Pour en savoir plus</b> .....	Doc. C 2 276

**S**i la phase étude de formulation de béton en laboratoire se doit de déboucher sur un matériau satisfaisant l'ensemble des spécifications du cahier des charges, il n'en demeure pas moins que cette vérification doit intégrer les contraintes concrètes de l'usine de fabrication (efficacité de malaxage, temps de fabrication de chaque charge...) et celles induites par les délais de livraison, les temps d'attente incontournables sur chantier et les conditions ambiantes au coulage.

Les compositions « robustes », définies en laboratoire, sont alors testées in situ dans le cadre d'essais initiaux qui s'avèrent en fait être des essais de faisabilité qui vont en outre permettre :

- d'ajuster avec précision la composition avec les moyens réels de fabrication et de transport ;
- de prendre en compte les effets d'échelle ;
- de corriger éventuellement le rendement volumique.

Une fois ces opérations réalisées, les caractéristiques physiques (consistance, teneur en air, masse volumique réelle, maturité...) et mécaniques (résistances à la rupture aux échéances sensibles) peuvent être précisées. Il peut également s'avérer judicieux d'estimer l'influence des variations de dosages (à l'intérieur

des tolérances définies précédemment) sur le développement des caractéristiques mécaniques, du fait que ces variations peuvent être de nature à perturber la mise en place du matériau et donc ses caractéristiques finales.

En phase de production courante, le plan de contrôle apporte les garanties nécessaires au bon comportement du béton durci, en s'appuyant sur toute une série d'opérations de contrôle couvrant toute la chaîne de fabrication et de mise en œuvre :

- contrôle de fabrication en usine de béton prêt à l'emploi ou en usine de préfabrication ;
- contrôle du processus de fabrication et de transport ;
- contrôles à la mise en œuvre avant, pendant et après bétonnage ;
- contrôle du béton durci ;
- contrôle d'aspect des parements.

Ce dossier fait suite au fascicule [C 2 275v2] auquel le lecteur pourra se reporter lorsque cela sera nécessaire et pour consulter le tableau des notations et symboles utilisés.

## 1. Essais initiaux

### 1.1 Responsabilités

Dans le cas de bétons à propriétés spécifiées (BPS), les essais initiaux relèvent de la responsabilité seule du producteur de béton.

Dans le cas de bétons à composition prescrite (BCP), les essais initiaux relèvent de la responsabilité du prescripteur dans la mesure où le producteur de béton peut démontrer qu'il respecte la composition prescrite.

Dans le cas de bétons à composition prescrite par une norme (BCPN), la responsabilité relève de l'organisme de normalisation dans la mesure où le producteur de béton peut démontrer qu'il respecte la composition prescrite.

### 1.2 Vérification des matériels de fabrication

Avant d'effectuer les essais initiaux du béton, il convient de s'assurer que la centrale de fabrication dispose bien des équipements corrects permettant d'atteindre les performances spécifiées au cahier des charges de l'entreprise. La vérification réalisée à cet effet doit permettre de constater que tous les équipements nécessaires sont en état correct de fonctionnement (trémies, silos, bascules, malaxeur...) d'une part, et de préciser les niveaux d'incertitude à prévoir concernant les dosages et les conditions de malaxage (durée et indications wattmétriques), d'autre part. Par ailleurs, il est utile d'apprécier les processus habituels de programmation et les conditions réelles de prise en compte des différentes caractéristiques des constituants :

- teneur en eau des granulats et des additions humides ;
- taux d'absorption d'eau des granulats ;
- extrait sec et densité des adjuvants ;
- teneur en matières en suspension des éventuelles eaux de recyclage.

Pour réaliser un béton dans des conditions correctes, certains points spécifiques resteront cependant à vérifier de façon périodique pendant la durée du chantier (tableau 1).

Il est également utile de vérifier que la centrale dispose du parc prévu de camions porteurs pour limiter l'impact des arrêts de bétonnage.

### 1.3 Conditions d'essais

Les potentialités de la centrale de fabrication ayant été vérifiées, l'étude peut se poursuivre par la fabrication du béton en conditions réelles. L'objectif de ces essais de faisabilité est d'intégrer à échelle 1 le rôle des gravillons et les capacités réelles du malaxeur de la centrale avec prise en compte des phases réelles de dosage des constituants.

La composition du béton formulé en laboratoire est saisie sur le programmeur de la centrale en prenant en compte toutes les capacités ou insuffisances constatées de celui-ci. Une gâchée est fabriquée et subit un temps d'attente équivalent à celui prévu pour le chantier avant de réaliser les essais rhéologiques sur béton frais.

Si les caractéristiques rhéologiques du béton doivent être ajustées, plusieurs solutions sont envisageables en fonction des écarts constatés :

- lorsqu'aucun phénomène de ressuage ou de ségrégation ne se manifeste, il convient d'éviter toute modification sensible de la phase mortier, et les ajustements sont généralement limités à la modification du rapport gravillon-mortier. Dans certains cas de bétons fortement adjuvantés, il reste possible d'ajuster la teneur en superplastifiant de  $\pm 20\%$  (variations relatives au dosage initial) sans changer le rapport  $E_{eff}/liant$ . En cas d'emploi d'adjuvants multifonctions, les variations doivent être effectuées avec une grande prudence pour éviter l'apparition d'autres types de déboires ;
- dans le cas où seuls des phénomènes de ressuage se manifestent, une légère baisse de la teneur en eau peut être envisagée, parfois accompagnée de celle de l'adjuvant (baisse limitée au maximum de 20 %) ;
- dans le cas de ségrégation, seule une baisse d'adjuvantation reste possible (baisse limitée au maximum de 20 %) ;
- dans le cas de bétons autoplacants, les phénomènes couplés de ressuage et de ségrégation peuvent également être réduits par incorporation ou augmentation du dosage d'agent de viscosité, si celui-ci a été testé au préalable sur la phase mortier.

Dans le cas d'autoplacance insuffisante ou trop lente, l'expérience a montré l'utilité, dans certains cas, d'incorporer à faible dosage un entraîneur d'air.

Il est cependant recommandé de n'effectuer ces corrections que dans la mesure où elles s'appuient sur des abaques établis lors des phases d'étude propres à l'adjuvantation et à l'influence de l'eau. Il reste fortement déconseillé d'incorporer des adjuvants ou autres constituants non testés dans les études de laboratoire car, si l'ajout

**Tableau 1 – Vérification des potentialités de la centrale de fabrication du béton**

Paramètres	Vérifications
Prise en compte des teneurs en eau des sables telles que résultant du dispositif de mesure en continu	Vérifier le calcul réalisé par l'automate Vérifier l'étalonnage de l'humidimètre
Prise en compte des teneurs en eau des gravillons telles que saisies manuellement sur la centrale	Vérifier le calcul réalisé par l'automate
Prise en compte du temps de malaxage préaffiché pour chaque composition	Contrôler l'état du malaxeur et vérifier le cycle programmé
Optimisation de volume des gâchées	Indispensable pour un malaxage homogène des gâchées Vérifier la possibilité de produire la charge type prévue en moins de 15 min
Possibilité de stockage des granulats sursaturés sous abri pour limiter l'évaporation et les gradients de teneurs en eau	Indispensable pour sable concassé Bâchage fortement recommandé pour gravillons (à la rigueur)
Prise en compte de l'absorption de chaque classe granulaire	Vérifier le calcul réalisé par l'automate
Prise en compte de la densité des adjuvants	Vérifier le calcul réalisé par l'automate
Prise en compte de l'extrait sec des adjuvants	Indispensable
Intégrité des circuits d'adjuvants	Vérifier l'intégrité des circuits et les stocks
Prise en compte du coefficient d'activité des additions normalisées	Dispositions pouvant s'avérer dangereuses dans le cas où les additions participent au liant équivalent et à la correction granulaire : programmation spécifique à adopter
Prise en compte de la teneur en eau des additions humides telles que résultant du dispositif de mesure	
Régulation de la constance de la teneur en eau efficace	Vérifier le calcul réalisé par l'automate
Affichage des ajouts postérieurs à la sélection de la composition nominale	S'assurer que les précisions requises par l'étude sont affichables sur la chaîne de pesées
Pesées individuelles successives des constituants	Avec précision de $\pm 5$ kg sur l'eau d'ajout
Dosages individuels des adjuvants	Avec précision relative de 5 %
Tolérances de pesées affichables individuellement sur chaque constituant	Être particulièrement vigilant sur les constituants du mortier

d'un produit « miracle » peut régler ponctuellement un problème, celui-ci se manifesterait de façon beaucoup plus grave aux moindres variations hydriques ou thermiques.

En tout état de cause, il est recommandé de ne pas intervenir sur une gâchée fabriquée et présentant des écarts, mais de fabriquer une nouvelle gâchée modifiée. De même, il reste hasardeux de corriger une gâchée ou une charge non satisfaisante pour la rendre « utilisable ».

Lorsque les caractéristiques rhéologiques du béton conviennent, une série d'éprouvettes peut être confectionnée pour déterminer le rendement volumique du béton au moment prévu pour son emploi (avec simulation du temps de transport).

### 1.3.1 Ajustement du rendement volumique du béton

Après fabrication d'une gâchée satisfaisante au niveau des caractéristiques rhéologiques, il est nécessaire de vérifier le nouveau rendement volumique et de le corriger suivant un processus adapté au type de béton :

- la correction de rendement volumique est prioritairement effectuée par modification du dosage en gravillons, afin de ne pas modifier la composition relative de la phase mortier ;
- dans le cas d'emploi de plusieurs granularités de gravillons, la correction est réalisée en respectant les proportions relatives entre les différentes coupures granulaires ;
- dans le cas où le dosage en ciment est supérieur à la valeur minimale exigée, la correction reste possible sur l'ensemble des constituants, ce qui a pour avantage de ne pas modifier la composition relative du béton.

La correction du rendement est effectuée pondéralement de deux façons possibles suivant les cas suivants.

#### ■ Cas 1

La rectification se fera de façon pondérale si :

- les granulats ont des masses volumiques distinctes ;
- les absorptions capillaires des granulats sont prises en compte ;
- le rapport  $E/C + kA'$  est maintenu constant.

#### ■ Cas 2

La rectification pourra être effectuée de façon pondérale simplifiée si :

- les granulats ont des masses volumiques quasi identiques ;
- les absorptions capillaires des granulats sont faibles et très proches les unes des autres ;
- le rapport  $E/C + kA'$  est suffisamment élevé pour négliger l'influence d'une légère modification de la quantité d'eau liée aux granulats ( $< 1$  L).

Les symboles utilisés dans ces procédures sont résumés dans le tableau 2.

À titre de rappel, les corrections pondérales ne portent généralement que sur les granulats et l'eau totale (l'eau efficace devant rester constante) (tableau 3).

La méthode simplifiée peut être appliquée lorsque le béton présente un rapport « normal  $E/C$  » supérieur à 0,35 et lorsque l'absorption capillaire de tous les granulats est inférieure à 2,5 % (tableau 4).

L'incertitude relative liée à la mesure du rendement du béton est de l'ordre de 2 % dans les meilleures conditions. En dehors des phases d'étude en laboratoire et de faisabilité en centrale, il est recommandé de ne pas effectuer de corrections de rendement volumique si les valeurs calculées de ce rendement se trouvent dans l'intervalle 0,98 à 1,02.

**Tableau 2 – Symboles des caractéristiques des constituants**

Constituants du béton	Teneurs théoriques sèches (ou seuls)	Pesées réelles (gâchée $i$ )	Absorption d'eau	Teneur en eau totale
Granulat 1	$G_1$	$G_{1i}$	$Ab_{g1}$	$Wg_{1i}$
Granulat 2	$G_2$	$G_{2i}$	$Ab_{g2}$	$Wg_{2i}$
Granulat 3	$G_3$	$G_{3i}$	$Ab_{g3}$	$Wg_{3i}$
Ciment	$C$	$C_i$		
Addition	$A'$	$A'_i$		
Eau totale	$E_T$	$E_{Ti}$		
Adjuvant 1	$A_1$	$A_{1i}$	Extrait sec : $xt_{a1}$	
Adjuvant 2	$A_2$	$A_{2i}$	Extrait sec : $xt_{a2}$	
Ajout d'eau	$E_A$	$E_{Ai}$		

### 1.3.2 Réalisation des trois gâchées d'essais des bétons réajustés en centrale

Les essais initiaux sont réalisés sur trois gâchées au minimum suivant les prescriptions de l'annexe A de la norme NF EN 206-1. Les conditions de température d'essais définies au paragraphe A4 de cette norme ne sont pas suffisantes si le chantier est de longue durée : les différentes formules prenant en compte les variations de conditions thermiques seront alors testées au fur et à mesure de la nécessité de leur emploi.

Les évolutions des valeurs de consistance entre la fabrication et à la réception (après simulation du temps total de transport) sont enregistrées et prises en compte pour le bon déroulement du chantier.

La norme prévoit la réalisation de trois gâchées, mais il est recommandé de réaliser la simulation du temps de transport avec la charge type de béton prévue pour le chantier pour les deux raisons suivantes :

- l'évolution d'une gâchée dans la cuve du porteur est différente de celle de plusieurs gâchées regroupées dans cette même cuve ;
- lors de la réalisation d'une charge (plusieurs gâchées successives regroupées), aucune gâchée n'a le même âge ; situation particulièrement délicate à gérer dans le cas de faible débit de centrale et/ou de températures ambiantes élevées ( $> 25\text{ °C}$ ).

Au cours de ces essais initiaux, il peut être judicieux de tester également des compositions dérivées par modification de la teneur en eau efficace ( $\pm 5\text{ kg}$  dans le cas des BAP et  $\pm 10\text{ kg}$  dans le cas des bétons courants) pour préciser la fourchette de consistance admissible à partir de la vérification de la conformité des bétons produits.

### 1.3.3 Caractérisation des bétons fabriqués en centrale et utilisés dans les conditions de chantier

Les déterminations des caractéristiques mécaniques et physiques réelles sont réalisées à partir des bétons confectionnés lors de ces essais initiaux après les ajustements apparus nécessaires pendant le déroulement de ces essais.

**Tableau 3 – Ordre chronologique des opérations de correction du rendement volumique du béton par la méthode pondérale**

1	Si $M_0$ est la masse d'un mètre cube réel de béton (après prise en compte du rendement)	$M_0$
2	Retirer, de cette masse $M_0$ , les masses des constituants dont le dosage est imposé (eau libre exclue)	$M' = M_0 - C - A' - gA_j$
3	Calculer l'eau libre imposée par la constance du rapport $E/C$ normal	$E_{\text{eff}} = e_{ai} + Wg_{ei} + P'_i$
4	Retrancher, à cette eau efficace, la phase aqueuse apportée par les adjuvants	$E = E_{\text{eff}} - \sum a_j (1 - xt_{aj})$
5	Calculer la somme des masses des granulats saturés	$\sum Gs'_j = M' - E$
6	Calculer les $(j - 1)$ relations de constance des proportions entre chaque granulat saturé	$Gs'_j / Gs'_{j+1} = Gs_j / Gs_{j+1}$
7	À partir des $(j - 1)$ relations précédentes (5) et de la relation (4), calculer les valeurs corrigées $Gs'_j$	$Gs'_j =$
8	Calculer les masses corrigées de chaque granulat sec $G'_j = Gs'_j / 1 + Ab_{gj}$	$G'_j =$ $\sum G'_j =$
9	Calculer la nouvelle quantité d'eau totale (hors adjuvant) à partir de (3) et (7)	$E_T = E + \sum Gs'_j - \sum G'_j$

**Tableau 4 – Ordre chronologique des opérations de correction du rendement volumique du béton par la méthode pondérale simplifiée**

1	Si $M_0$ est la masse d'un mètre cube réel de béton après de prise en compte du rendement	$M_0$
2	La masse des granulats secs est obtenue par retrait à la masse $M_0$ des masses des constituants dont les teneurs sont imposées ou réputées constantes par hypothèse	$\sum G'_j = M_0 - C - A' - E_T - \sum A_j$
3	Calculer les $j - 1$ relations de constance des proportions entre chaque gravillon sec	$G'_j / G'_{j+1} = G_j / G_{j+1}$
4	À partir des relations (2) et (3), calculer les masses corrigées de chaque gravillon sec	$G' =$

**Tableau 5 – Incertitudes moyennes de mesures de consistance**

Type de béton	Essais	Incertitudes	Plage de valeurs concernées
Tous bétons courants	Affaissement (cône d'Abrams)	± 1 cm	Pour valeurs entre 1 et 4 cm
		± 2 cm	Pour valeurs entre 5 et 21 cm
		± 3 cm	Pour valeurs > 21 cm
Bétons courants très plastiques à fluides	Étalement à la table à secousses	± 3 cm	Pour toutes valeurs de la gamme
Bétons autoplaçants	Étalement sans secousses	± 3 cm	Pour valeurs entre 50 et 70 cm
	Stabilité au tamis	± 3 %	Pour valeurs < 15 %
	Écoulement dans la boîte en L	± 0,10	Sur toute la plage de valeurs

## 1.4 Critères d'adoption des essais initiaux

À titre de rappel, l'exploitation des résultats de mesures doit intégrer plusieurs paramètres :

- le béton est un produit industriel avec une incertitude normale sur sa composition (tolérances à admettre sur les pesées et les jetées de dosage) ;
- l'incertitude sur la bonne représentabilité de l'échantillon prélevé pour essai (même si l'échantillonnage est parfaitement réalisé dans les conditions normalisées, NF EN 12350-1) ;
- les incertitudes propres à l'essai.

■ **Les critères d'adoption de caractéristiques rhéologiques** sont distincts suivant que la spécification porte sur une classe de consistance ou sur une valeur cible.

● **Dans le cas où une classe est spécifiée**, la valeur mesurée doit se situer dans les limites de la classe élargies de l'incertitude propre à l'essai pratiqué :

$$X_{\min i} - e \leq X_m \leq X_{\max i} + e$$

avec  $X_{\min i}$  valeur basse de la classe de consistance,

$X_{\max i}$  valeur haute de la classe de consistance,

$e$  incertitude propre à l'essai (tableau 5).

La norme (NF EN 206-1 – tableau 18) est un peu plus sévère que la double relation précédente puisqu'elle impose les critères de conformité suivants (tableau 6) pour les essais d'affaissement et d'étalement à la table à secousse. La double relation précédente ne peut donc s'appliquer que pour les autres essais rhéologiques.

● **Dans le cas où une valeur cible est spécifiée**, la valeur mesurée doit se situer dans les limites des tolérances associées à la valeur cible (cf. tableau 10 dans le dossier [C 2 275]) élargies de l'incertitude propre à l'essai pratiqué (autre que les essais d'affaissement au cône d'Abrams et d'étalement à la table à secousse) :

$$X_{\text{visée}} - tx - e \leq X_m \leq X_{\text{visée}} + tx + e$$

avec  $X_{\text{visée}}$  valeur cible,

$tx$  tolérance associée (cf. tableau 10 dans [C 2 275]),

$e$  incertitude propre à l'essai (tableau 5).

**Tableau 6 – Critères de conformité applicables à la consistance (cas de classes)**

Affaissement au cône d'Abrams (cm)			Étalement à la table à secousse (cm)		
Classe	Valeurs extrêmes admissibles de la classe spécifiée		Classe	Valeurs extrêmes admissibles de la classe spécifiée	
	Valeur inférieure	Valeur supérieure		Valeur inférieure	Valeur supérieure
S1	0	6	F1		< 37
S2	4	11	F2	33	44
S3	9	17	F3	40	51
S4	15	(23)	F4	47	58
S5	21		F5	54	65
			F6	> 61	

**Tableau 7 – Critères de conformité applicables à la consistance (cas de cible) – norme NF EN 206-1**

Affaissement au cône d'Abrams (cm)			Étalement à la table à secousse (cm)		
Valeur cible	Valeurs extrêmes admissibles par rapport à la valeur cible		Valeur cible	Valeurs extrêmes admissibles par rapport à la valeur cible	
	Écart inférieur	Écart supérieur		Écart inférieur	Écart supérieur
S1	- 3	+ 4	F1		
S2	- 4	+ 5	F2		
S3			F3		
S4	- 5	+ 6	F4	- 5	+ 6
S5			F5		
			F6		

Dans ce cas également, le tableau 18 de la norme NF EN 206-1 impose des critères de conformité différents pour les essais d'affaissement et d'étalement à la table à secousse (tableau 7).

■ **Les critères d'adoption des caractéristiques mécaniques** (résistance à la compression simple) sont les mêmes que ceux prévus par le paragraphe A5 de l'annexe A de la norme bétons NF EN 206-1 :

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 12 \text{ (MPa)}$$

avec  $f_{cm}$  moyenne des résultats obtenus,

$f_{ck}$  résistance caractéristique minimale spécifiée.

Pour les autres propriétés spécifiées (tenue au gel, maturité...), les critères d'adoption sont définis en amont et de façon contra-dictoire avec une marge appropriée. En général, cette marge prend au minimum en compte l'incertitude d'essai estimée.



## 2. Contrôle de fabrication

L'ensemble des procédures minimales de contrôle de production des bétons destinés aux structures coulées en place, aux structures préfabriquées, aux éléments de structure préfabriqués pour bâtiment et structures de génie civil, qu'ils soient fabriqués sur chantier, en usine de béton prêt à l'emploi ou usine de préfabrication, est régi par le paragraphe 9.9 de la norme NF EN 206-1. Ces opérations relèvent du contrôle interne du producteur de béton et les contrôles effectués portent essentiellement sur :

- les matériaux constitutifs ;
- le matériel de fabrication ;
- les procédures de production ;
- les propriétés du béton.

Les résultats d'essais et de vérifications doivent faire l'objet de rapports ou, à défaut, d'enregistrement. Ils sont exigibles ou consultables par le prescripteur et/ou par le maître d'œuvre dans le cadre de son contrôle extérieur.

### 2.1 Vérification des constituants

La norme NF EN 206-1 précise les opérations qui relèvent du contrôle interne obligatoire du producteur de béton. Elle fixe la liste des constituants à examiner, les types d'essais à réaliser et leur fréquence.

Tous les constituants du béton sont concernés à des titres divers (tableau 22 de la norme NF EN 206-1). Il convient de noter que les mesures essentielles portant sur la détermination des teneurs en eau des granulats et du béton sont exigées dans le cadre des procédures de fabrication (tableau 24 de cette même norme).

Dans le cas où des constituants sont normalisés, il est possible de ne prévoir qu'une vérification des bons de livraison de ces produits.

Il convient également de porter une attention toute particulière aux constituants relevant de la directive européenne portant sur les produits de construction, et d'exiger alors systématiquement les preuves du marquage CE ; cette exigence s'applique aux trois niveaux : producteurs de béton, entrepreneur et maître d'œuvre [5]. Pour savoir si un produit de construction doit être marqué CE, il suffit de consulter le site [http://www.dpcnet.org].

**Il convient de pas confondre ce marquage CE avec un droit d'usage de la marque NF** ; le marquage CE ne constitue qu'une autorisation commerciale en Europe et ne garantit que les six exigences essentielles de sécurité pour les ouvrages « bien réalisés et bien entretenus » : résistance mécanique, sécurité en cas d'incendie, hygiène, santé et environnement, sécurité d'utilisation, protection contre le bruit, économies d'énergie et isolation thermique. Il ne constitue en aucune façon une garantie de qualité d'usage ou une performance du produit. À titre indicatif, les ciments, les granulats et les adjuvants sont aujourd'hui des produits concernés par ce marquage.

D'autres types d'essais peuvent être demandés dans le cadre du marché en cas de risque ou d'exposition (test de réactivité si risque de gonflement du béton, essai de tenue au gel-dégel des granulats ...) ; dans ce cas, des spécifications techniques associées doivent être contractualisées.

Des opérations de contrôle extérieur peuvent venir compléter ce contrôle interne à la chaîne de production.

#### ■ Recommandations sur les constituants

Si les spécifications et prescriptions imposées par les normes permettent d'atteindre une qualité de base permettant d'éviter les très gros problèmes, elles ne peuvent pas prétendre conduire à des bétons vraiment homogènes, et ce d'autant plus lorsque le cahier

des charges est exigeant. Pour cette raison, il apparaît indispensable d'associer aux stipulations des normes certaines recommandations, généralement simples à mettre en œuvre, et permettant d'améliorer considérablement la qualité et l'homogénéité du béton. Ces recommandations s'appliquent à différents niveaux, mais les principales portent sur les choix et les conditions d'emploi des constituants du béton.

#### ● Au niveau des granulats en général, il faut avant tout veiller :

- à limiter au maximum les variations de granularité des différentes coupures ;
- à proscrire tout mélange de matériaux au stockage ;
- à atténuer les grandes variations de température des stocks.

#### ● Au niveau des sables, une attention toute particulière sera apportée pour :

- éviter la ségrégation sur stock ;
- garantir l'homogénéité de la teneur en éléments fins, surtout dans le cas des matériaux concassés ;
- utiliser des sables toujours humides et veiller à maintenir leur teneur en eau dans une gamme de valeur définie à partir de leur taux d'absorption d'eau ( $Ab_s$ ) :

$$Ab_s \pm 1 \%$$

Il est souvent préconisé d'abriter ces sables avant emploi pour s'affranchir des phénomènes d'évaporation.

#### ● Au niveau des gravillons, les précautions viseront :

- à assurer la constance du calibre maximal du gros gravillon ( $D_{max}$  du béton) ;
- à maintenir la propreté des différentes coupures de gravillons, en veillant à ce que leur teneur en fines ( $f_g$ ) reste dans la fourchette :

$$f_{g0} - 0,5 \% < f_g < f_{g0} + 0,5 \%$$

avec  $f_{g0}$  teneur en fines moyenne retenue lors de l'étude ;

- à utiliser des gravillons humides, avec une teneur en eau  $W_g$  contenue dans la gamme :

$$Ab_g + 2 \% \geq W_g > Ab_g$$

avec  $Ab_g$  taux d'absorption d'eau des gravillons,

$W_g$  teneur en eau totale des gravillons.

● **Au niveau des additions**, veiller à la régularité de la teneur en eau des additions humides ( $W \pm 5 \%$ ) et, en cas d'impossibilité, mettre au point une procédure de contrôle permettant de prendre en compte correctement les variations de cette teneur en eau : fréquence de mesure et possibilité de prise en compte au niveau du processus de programmation sur automate.

● **Au niveau des ciments**, et notamment dès qu'un béton est moyennement à fortement adjuvanté, il convient de proscrire tout changement de ciment d'origine et tout mélange de ciments de natures différentes.

● **Au niveau des eaux d'ajout**, les précautions varient suivant l'eau ajoutée :

- dans le cas d'emploi du réseau d'eau potable, il convient de veiller à la régularité du dosage en chlore, car l'emploi de certaines eaux du réseau peut alors apporter des déboires sérieux pour les bétons fortement dosés en superplastifiant, la défloculation pouvant alors être perturbée. Les variations de  $\pm 5^\circ\text{C}$  provoquent également des variations sensibles dans la défloculation des éléments fins du béton ;

- dans le cas d'emploi d'eau pompée sur site, s'assurer de la composition par des analyses fréquentes ;

- enfin, dans le cas d'ajouts d'eaux de lavage récupérées de la production, il est clair que leur teneur en matière en suspension doit être scrupuleusement mesurée, introduite lors de la programmation du béton et prise en compte par l'outil de fabrication. Les variations de la teneur en matière en suspension doivent aussi être prises en compte lors de la fabrication du béton, et pour ce faire plusieurs démarches peuvent être entreprises (tableau 8).

Les démarches possibles précédentes montrent, en première approche, qu'il serait préférable de modifier les ajouts d'eaux recyclées lorsque les taux de matière en suspension (MES) varient, avec des compensations plus prononcées en eau pure, et qu'ainsi il serait possible d'aboutir à des bilans constants en teneur en eau totale et en MES.

Cet aspect n'est cependant qu'apparemment séduisant car, dans ce cas :

- les incertitudes de mesure sur les taux de MES ne sont pas négligeables et vont générer des incertitudes non négligeables sur les teneurs en eau (eau provenant de l'eau recyclée, eau pure ajoutée et eau totale) ;

- de plus, les qualités de l'eau provenant de l'eau recyclée et de l'eau pure n'étant pas équivalentes (pH notamment), elles peuvent engendrer des variations sensibles en cas d'adjuvantation moyenne à forte (emploi de superplastifiant, notamment), ce qui entraînera des variations rhéologiques dans un premier temps.

En conséquence, le choix des démarches à adopter sera conditionné par le type de béton fabriqué. Il est recommandé de prendre en compte ces possibles aléas au niveau de l'étude de formulation (compositions dérivées).

- **Au niveau des adjuvants**, si la qualité des produits s'est considérablement améliorée au niveau de la fabrication (l'étude et la mise sur le marché de nouvelles molécules ont fait passer ce produit à un niveau industriel), il n'en demeure pas moins que certains déboires sont apparus en centrale de fabrication de béton : les anomalies de comportement du béton ont alors été mises sur le compte des incompatibilités ciment-adjuvant. De nos jours, ces problèmes ont été réglés, et si de nouvelles anomalies rhéologiques apparaissent, elles ne peuvent plus être dues qu'à un certain nombre de causes (séparées ou réunies) (tableau 9).

**Tableau 8 – Possibilités d'ajustement de l'eau en cas de variations de l'eau recyclée (1)**

Variation du taux de MES (2)	Quantité totale d'eau recyclée	Quantité d'eau dans eau recyclée	Ajout d'eau pure (réseau, pompage)	Bilan final	
				Eau totale	MES
↑	=	↓	↑	=	↑
	↓	↓↓	↑↑	=	=
↓	=	↑	↓	=	↓
	↑	↑↑	↓↓	=	=

(1) (↓) baisse  
(↓↓) forte baisse  
(↑) augmentation  
(↑↑) forte augmentation  
= identique  
(2) matières en suspension

## 2.2 Contrôle du processus de fabrication et de transport sur chantier

La norme NF EN 206-1, dans ses tableaux 23 et 24, attribue ces opérations au contrôle interne du producteur de béton. Elle fixe la liste des essais et opérations à effectuer et leur fréquence :

- contrôle du matériel de fabrication ;
- contrôle des procédures de production ;

**Tableau 9 – Causes probables d'anomalies rhéologiques dues à l'adjuvantation**

Causes probables		Situation	
		Permanente	À partir de l'erreur
Mauvais choix de l'adjuvant en centrale	Erreur de stockage à la livraison		●
	Modification non répertoriée des circuits d'adjuvants	●	
	Cuves de stockage mal repérées sur automatisme	●	
Mauvais état de l'adjuvant	Adjuvant dilué		●
	Adjuvant stocké dans une cuve mal nettoyée	●	
	Adjuvant périmé		●
	Ségrégation dans la cuve : séparation en deux phases		●
	Développement d'une phase polluante dans l'adjuvant		●
	Mélange de deux livraisons d'adjuvants à caractéristiques extrêmes		●
	Mélange de deux adjuvants d'âges très différents		●
	Mauvais ordre d'incorporation des adjuvants (en cas d'emploi de plastifiants et/ou de superplastifiants avec d'autres adjuvants à fonction différentes)	●	
Formulation défectueuse	Épreuve d'étude insuffisante : adjuvant mal adapté aux constituants		Manifestation sous certaines conditions
	Étude de robustesse vis-à-vis de la température du béton insuffisante		
	Étude de robustesse vis-à-vis de l'âge du béton insuffisante		
	Changement de ciment : perte d'efficacité de l'adjuvant		●
	Changement de sable : perte d'efficacité de l'adjuvant		●
	Incompatibilités entre adjuvants non prises en compte	●	
	Doseurs défaillants		●

**Tableau 10 – Information du producteur de béton à l’entrepreneur**

Documents d’information	Centrales BPE		Centrales BPE (chantier)		Centrale Usine de préfabrication
Bon de livraison du béton	Obligatoire selon spécifications de l’article 7.3. de la norme NF EN 206-1		À prescrire au cahier des charges de l’entrepreneur		Possibilité de prescription au cahier des charges de l’entrepreneur
Type de béton	BPS	BCP	BPS	BCP	
Bordereau de pesée	Possibilité de prescription au cahier des charges de l’entrepreneur	Prescription recommandée au cahier des charges de l’entrepreneur	Possibilité de prescription au cahier des charges de l’entrepreneur	Prescription recommandée au cahier des charges de l’entrepreneur	
Essais de caractérisation du béton frais	Possibilité de prescription au cahier des charges de l’entrepreneur		Possibilité de prescription au cahier des charges de l’entrepreneur		Possibilité de prescription au cahier des charges de l’entrepreneur
Essais sur béton durci					

- essais préalables sur constituants avec saisie des données nécessaires au fonctionnement de l’automate ;
- essais sur béton frais pendant le malaxage et à la sortie du malaxeur ;
- essais sur béton durci.

Quand le béton est fabriqué dans une usine de béton prêt à l’emploi, le producteur de béton est tenu de remettre un bon de livraison conforme à l’article 7.3 de la norme précédente (cf. [Doc. C 2 276]). Dans les autres cas, il convient de signaler que la norme ne précise pas la formalisation des informations dues par le producteur à l’entrepreneur : il est alors recommandé à ce dernier d’introduire, dans son cahier des charges, les conditions d’information sous une forme précise (tableau 10).

Les précautions essentielles à prendre en compte sur l’exploitation du bordereau de pesées des constituants portent essentiellement sur l’examen de la variabilité des paramètres saisis manuellement et sur les écarts de pesées. En effet, le fonctionnement de l’automatisme étant généralement évalué en amont lors des essais de convenances, voire lors des audits de la centrale, il n’est pas utile de refaire les calculs permettant de remonter des pesées moyennes à la formule théorique. L’attention du vérificateur portera plutôt :

- sur la fréquence et la teneur des écarts accidentels de pesée (normalement signalés sur le bordereau) ;
- sur les variations progressives de teneur en eau au cours de la fabrication d’une même charge ou de deux charges consécutives avec, éventuellement, modifications de l’eau d’ajout : ces variations fréquentes en début de fabrication signifient généralement une mauvaise maîtrise de la teneur en eau des constituants et laissent présager des ennuis rhéologiques sur béton frais et mécaniques sur béton durci.

Le contrôle extérieur du maître d’œuvre peut s’exercer sur toutes les phases de la production :

- visa des résultats du contrôle interne de l’entrepreneur qui prend en compte celui du producteur de béton ;
- essais ou interventions aléatoires, et parfois contradictoires, pour vérifier le bon fonctionnement des opérations précédentes de contrôle interne sur centrale ou sur site.

Le producteur de béton est responsable des évaluations de conformité aux propriétés spécifiées. Les opérations obligatoires sont définies à l’article 10 de la norme NF EN 206-1. Des organismes d’inspection ou de certification peuvent intervenir dans ce cadre (marque NF BPE, Cofrac...).

## 3. Contrôle à la mise en œuvre

### 3.1 Contrôle sur site avant mise en œuvre du béton

Le contrôle des matériels de mise en œuvre est effectué dans le cadre du contrôle interne à l’entrepreneur en conformité avec les prescriptions de son plan Qualité. Les constats effectués sont soumis au maître d’œuvre pour lui permettre la levée des points critiques ou d’arrêt correspondant aux différentes phases du chantier (voir dossier [C 2 275v2], tableau 18).

Ces contrôles portent essentiellement sur :

- les étalements ;
- les coffrages ;
- les armatures pour béton armé ;
- les systèmes éventuels de précontrainte ;
- les matériels de coulage et de vibration [2] [4] ;
- sans oublier les conditions de sécurisation et d’accès au chantier de bétonnage.

Le contrôle des matériels de mise en œuvre et de la pose des armatures du béton armé (et si c’est le cas des systèmes de précontrainte) s’inscrit dans une relation entrepreneur-maître d’œuvre et l’autorisation de bétonnage, qui constitue un point d’arrêt, ne peut être donnée que par le maître d’œuvre.

### 3.2 Contrôle de réception du béton frais sur chantier

En général, toute modification de composition non prévue à l’étude de formulation est interdite sur chantier. Si une telle modification est prévue par l’étude de formulation, les quantités ajoutées (eau et/ou adjuvants) doivent être mesurées avec précision, faire l’objet d’enregistrement, et une nouvelle homogénéisation doit être prescrite par le cahier des charges.

Après homogénéisation, les opérations de réception du béton peuvent être engagées et relèvent du contrôle interne de l’utilisateur, c’est-à-dire de l’entrepreneur dans la majorité des cas.

Pour l’ensemble des bétons courants, la réception est réalisée à partir d’essais effectués dans les conditions fixées par la série des



normes NF EN 12350 relatives aux essais sur béton frais (cf. [Doc. C 2 276]). Pour les bétons autoplaçants, les essais de réception sont réalisés suivant les recommandations provisoires de l'Association française de génie civil (AFGC) [6].

Les spécifications demandées au cahier des charges de l'entrepreneur servent de référence pour l'acceptation du béton ; les règles appliquées sont identiques à celles utilisées lors des essais initiaux correspondants.

### 3.3 Suivi du bétonnage

Après réception du béton, le suivi proprement dit du bétonnage relève du contrôle interne de l'entrepreneur et s'inscrit dans une relation entrepreneur-maître d'œuvre. Les opérations de suivi sont réalisées en conformité avec le plan Qualité de l'entreprise, et les constats effectués sont inclus dans celui-ci.

En cas d'anomalie, il est conseillé de relever toutes les conditions de chantier et d'effectuer une description complète de l'anomalie apparue, en vue de pouvoir en analyser les causes et d'apporter une solution aux bétonnages ultérieurs. Suivant la gravité des conséquences, cette anomalie peut éventuellement conduire à l'établissement d'une fiche de non-conformité à soumettre au maître d'œuvre.

Dans tous les cas, il convient de relever les quantités consommées de béton, le calendrier des phases de bétonnage.

En cas de bétonnage de surfaces non coffrées, le contrôle portera sur les conditions d'application de la cure (nature et dosage du produit, âge du béton au moment de l'application) telles qu'elles sont prévues dans le plan Qualité.

Les confections et traitements des éprouvettes de contrôle pour évaluer les caractéristiques mécaniques ultérieures du béton durci (épreuves de contrôle et d'information) restent à la charge de l'entreprise et doivent être réalisées en conformité avec les prescriptions des normes de la série NF EN 12390 (cf. [Doc. C 2 276]). Dans certains cas, ces éprouvettes pourront être conservées dans des caissons isothermes dans des conditions préalablement établies au plan Qualité. Dans le cas de suivi maturométrique, l'entrepreneur prend toutes les dispositions nécessaires pour implanter les sondes de mesure dans les sites prévus sur l'ouvrage. Il est conseillé d'établir un relevé précis de toutes les dispositions prises pour assurer ces opérations de contrôle.

Le maître d'œuvre peut exercer des opérations de contrôle extérieur au cours du bétonnage : le béton utilisé à cet effet est généralement à la charge de l'entrepreneur.

### 3.4 Suivi du durcissement du béton et décoffrage

Le suivi du durcissement du béton pour effectuer dès que possible les opérations de décoffrage, de décentrement, de mise en précontrainte éventuellement, relève du contrôle interne de l'entrepreneur et s'inscrit dans une relation entrepreneur-maître d'œuvre.

À titre de rappel, l'exploitation des épreuves d'information sur la résistance du béton, à partir du traitement d'éprouvettes de béton durci (cf. norme NF EN 12990-2) ou de données maturométriques [2] constitue un point critique. Les opérations de décoffrage constituent également un point critique et celles de décentrement un point d'arrêt qui ne peut être levé que par le maître d'œuvre.

Dans le cas où les épreuves d'information sont réalisées à partir du traitement mécanique d'éprouvettes, l'entrepreneur doit apporter la preuve que le béton a acquis une résistance suffisante pour autoriser l'opération prévue (décoffrage, mise en tension...) : un rapport d'essai est généralement requis.

Dans le cas de recours à la maturométrie, l'entrepreneur doit également apporter les éléments nécessaires prouvant que la résistance estimée à partir des mesures lancées au bétonnage sont suffisantes pour autoriser l'opération prévue. Il convient de rappeler que le recours à la maturométrie nécessite une prise en compte dès la réalisation de l'étude du béton, et un étalonnage au début de chantier ou au moment de la réalisation des essais initiaux, en respectant le logigramme de contrôle de conformité de la figure 1.

### 3.5 Contrôles spécifiques à la préfabrication en usine

Pour les éléments de ponts en béton préfabriqués en usine, l'évaluation de la conformité est définie par un projet de norme spécifique (P 18-504). Cette norme comprend des prescriptions relatives aux produits finis (géométrie, tolérances de fabrication, enrobage des armatures, aspect de surface, résistance mécanique, résistance au feu, propriétés acoustiques et thermiques...). Au niveau de la qualité des bétons, elle est en concordance avec la norme NF EN 206-1.

Pour les éléments architecturaux en béton fabriqués en usine, la Fédération de l'industrie des bétons (FIB) a publié un cahier des charges qui définit des états de surface, fixe des prescriptions communes avec les moyens d'évaluations correspondants [3]. Le respect volontaire de ce cahier des charges débouche sur l'attribution de la marque de certification **Qualif-IB** ; elle garantit une qualité certaine des produits couverts et fait l'objet de contrôles permanents par un organisme mandaté, le CERIB (Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton).

Les éléments couverts sont principalement destinés au bâtiment et ouvrages : façades, corniches, garde-corps, écrans, murs...

Dans le cas de traitement thermique en usine, les critères requis pour la résistance mécanique des bétons ont été précisés au niveau des études au paragraphe 3.6 du dossier [C 2 275v2]. Au niveau de la production, les opérations de contrôle portent sur le respect des cycles d'étuvage avec pilotage et enregistrement de ceux-ci d'une part, et vérification des performances mécaniques pour permettre la détension des torons (en cas de précontrainte), le démoulage, le levage et stockage d'autre part. Ces opérations relèvent du contrôle interne à l'usine. L'entrepreneur doit donner toutes facilités au contrôle extérieur dans le cadre des épreuves de convenance ou de contrôle.

Les éléments préfabriqués en usine font généralement l'objet de réception à leur arrivée sur chantier, dans le cadre du plan Qualité de l'entrepreneur.

## 4. Vérification du béton durci

### 4.1 Vérification des caractéristiques mécaniques du béton durci

La vérification du béton durci est normalement assurée par la vérification des caractéristiques mécaniques lorsque le béton atteint l'âge de 28 jours. Dans certains cas particuliers, événements de construction particuliers (décentrement, mise en précontrainte...), cet âge peut être modifié.

Plusieurs types de contrôle de conformité des caractéristiques mécaniques peuvent être envisagés selon les types de chantier.

Pour les chantiers courants ne relevant pas de marchés publics, le contrôle de conformité des bétons à propriétés spécifiées (BPS) relève du producteur dans le cadre de son contrôle interne. Il est

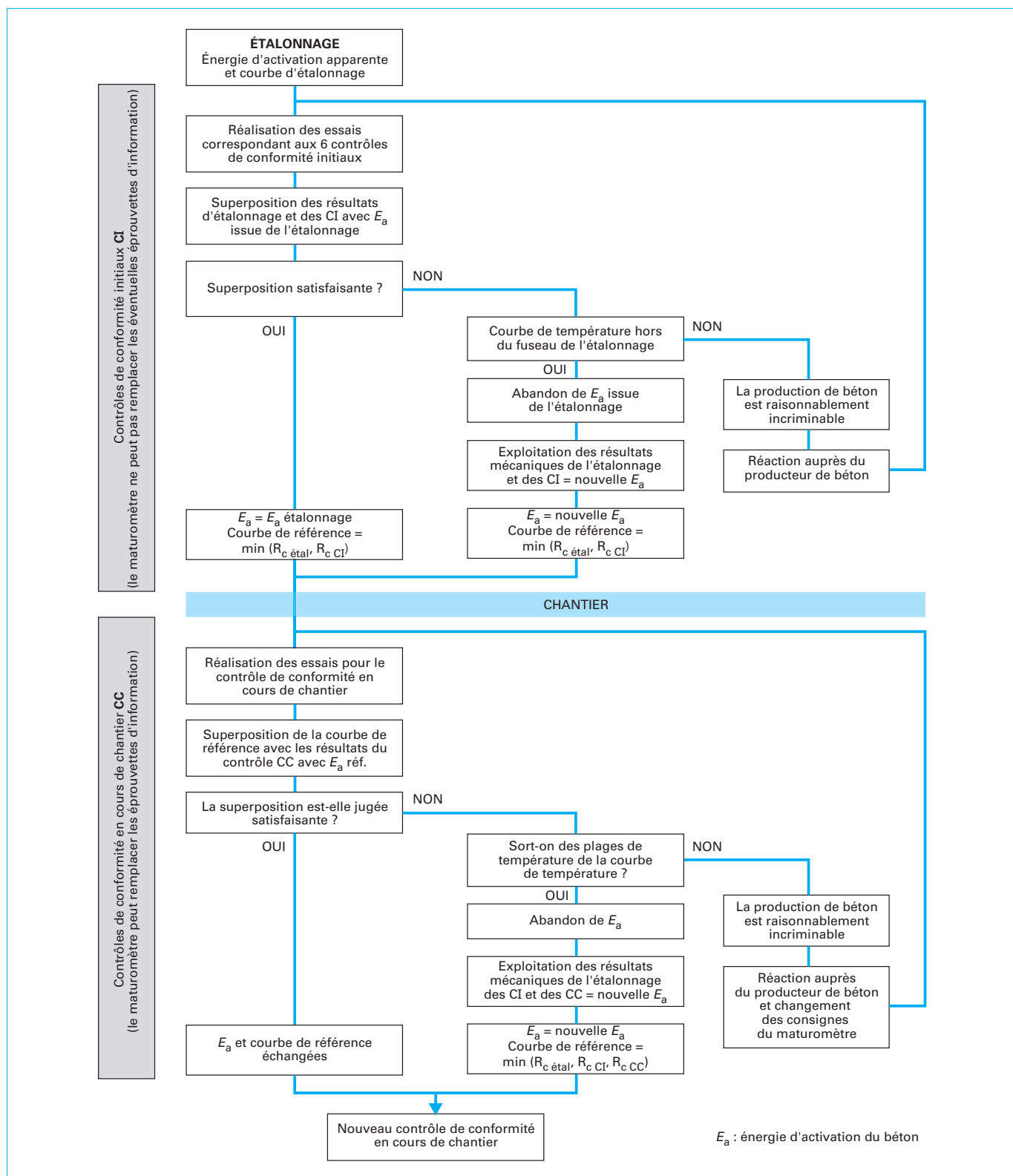


Figure 1 – Logigramme d'un contrôle de conformité par maturométrie

**Tableau 11 – Critères de conformité pour les résistances d'essai à la rupture – Contrôle interne du producteur**

Résistance	Phase de production	Nombre de résultats	Résistance moyenne (1) (MPa)	Résultat individuel (1) (MPa)
À la rupture en compression simple	Initiale	3	$f_{cm} \geq f_{ck} + 4$	$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$
	Continue	$\geq 15$	$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48\sigma$	
À la traction par fendage	Initiale	3	$f_{tm} \geq f_{tk} + 0,5$	$f_{ti} \geq f_{tk} - 0,5$
	Continue	$\geq 15$	$f_{tm} \geq f_{tk} + 1,48\sigma$	

(1)  $f_{ck}$  et  $f_{tk}$  résistances caractéristiques requises à la compression simple et à la traction par fendage.  
La valeur  $\sigma$  est l'écart-type estimé à partir de 35 résultats d'essais consécutifs obtenus sur une période supérieure à 3 mois et précédant la période de production.

alors exécuté dans les conditions prévues par l'article 8.2 de la norme NF EN 206-1. Ce contrôle s'applique à tous les bétons dont la classe de résistance est inférieure à C55/67, et les critères de conformité pour la résistance à la rupture mécanique sont définis dans le tableau 11.

Le contrôle de conformité des bétons à composition prescrite (BCP) relève du prescripteur, qui doit préciser son plan de contrôle dans son cahier des charges. Les résultats obtenus sur ces bétons ne sont pas, par nature, opposables au producteur de béton.

Dans le cadre des marchés publics, le contrôle extérieur du maître d'œuvre ne relève pas totalement des spécifications de la norme NF EN 206-1. Ce contrôle extérieur a pour objectif de valider le contrôle intérieur. Il vise notamment à vérifier la traçabilité et les « performances » de la chaîne de traitement des éprouvettes de béton ainsi que la validité des résultats obtenus (contrôles de conformité croisés, par exemple). Dans ce contexte, le laboratoire de contrôle est soit accrédité par le COFRAC (Comité français d'accréditation), soit a subi, avec succès et moins d'un an avant le premier essai, un audit basé sur un référentiel d'accréditation équivalent.

Les rapports d'essais relatifs aux résultats du contrôle de conformité sont transmis au maître d'œuvre au fur et à mesure de l'obtention des résultats. Tous les bétons de classe supérieure ou égale à C25/30 sont soumis à cette épreuve de contrôle.

Le lotissement et le nombre de prélèvements sont indiqués dans le tableau 12.

Un prélèvement comprend (après mesure de la consistance) la confection de trois éprouvettes cylindriques pour la détermination de la résistance à la compression à 28 jours, le résultat applicable au prélèvement étant la moyenne arithmétique des mesures effectuées sur ces trois éprouvettes.

Les charges correspondantes sont choisies au hasard, à la demande du maître d'œuvre.

Il est rappelé que les éprouvettes de béton sont conservées sur chantier conformément à la norme NF EN 12390-2, après confection, à une température comprise entre 18 °C et 22 °C pendant un délai compris entre 23 et 25 h. Les dispositions pour obtenir ces conditions de conservation ainsi que la fourniture du béton pour ces éprouvettes sont à la charge de l'entrepreneur, qui doit le préciser dans son plan Qualité.

Les résultats de résistance à la rupture en compression simple à 28 jours d'âge sont interprétés selon les prescriptions du fascicule

**Tableau 12 – Lots et nombres de prélèvements pour contrôle de conformité du béton durci – Contrôle extérieur dans les marchés publics**

Lot	Nombre de prélèvements
Fondations profondes	3 par groupe de pieux fabriqués dans la journée
Appuis	3 par appuis et au moins un prélèvement par phase de bétonnage
Murs de soutènement	3 pour l'ensemble et au moins un prélèvement par phase de bétonnage
Structures en cadres ou portiques	3 (+ 1 par 100 m <sup>3</sup> supplémentaires au-delà de 300 m <sup>3</sup> ou par phase de bétonnage)
Tablier	3 (+ 1 par 100 m <sup>3</sup> supplémentaires au-delà de 300 m <sup>3</sup> ou par phase de bétonnage) et 1 au niveau du béton de reprise du joint de chaussée
Dalle d'ouvrage mixte	3 (+ 1 par 100 m <sup>3</sup> supplémentaires au-delà de 300 m <sup>3</sup> ou par phase de bétonnage)

65A et de son additif du cahier des clauses techniques générales [7] :

$$f_{cm} \geq f_{ck} + k_1 \text{ (MPa)}$$

$$f_{c1} \geq f_{ck} - k_2 \text{ (MPa)}$$

avec  $f_{cm}$  résistance moyenne des résultats obtenus sur le lot,  
 $f_{c1}$  plus petit résultat de ce lot,  
 $f_{ck}$  résistance caractéristique spécifiée,  
 $k_1$  et  $k_2$  coefficients correcteurs définis dans le tableau 13.

## 4.2 Contrôle d'aspect des parements en béton

La solution qui vient immédiatement à l'esprit consiste à penser que le maître d'ouvrage est le plus habilité à juger la qualité des parements de son ouvrage ; cela est d'autant plus concevable que la fourniture de ces parements relève d'une relation client-fournisseur et, dans le cas présent, entrepreneur-maître d'œuvre. Cependant, cette solution présente la difficulté de retirer à l'entrepreneur tout moyen d'évaluation et de correction si nécessaire : il est donc plus judicieux de transférer ce contrôle au contrôle interne à l'entreprise, sans pour autant exclure les opérations de contrôle extérieur, ne serait-ce que pour valider le précédent contrôle.

À partir des spécifications clairement établies (cf. § 2.2 dans le dossier [C 2 275v2]), les résultats ne peuvent pas prêter à interprétation subjective puisqu'elles s'appuient sur des procédures d'essais validées en amont avec des référentiels établis (échantillon témoin caractérisé lors des essais de convenance ou initiaux).

Cependant, il est dangereux de conserver un élément témoin sans l'avoir caractérisé à un âge défini (et servant alors d'âge de référence pour le contrôle), car cet élément témoin conservé sur le site va évoluer sans arrêt en fonction de son âge et des conditions climatiques auxquelles il restera exposé. Toute nouvelle partie d'ouvrage présentera donc une teinte toujours distincte de ce témoin (du moins pendant les premiers mois suivant le bétonnage). En prenant la précaution de caractériser ce témoin, toute partie d'ouvrage pourra faire l'objet de mêmes identifications au même âge et dans les mêmes conditions d'observation.

Tous les résultats d'essais et constatations effectués sur parement doivent être consignés sur un relevé d'appréciation propre à chaque parement. Le tableau de relevé d'appréciation peut être considéré comme un document type modulable en fonction de la

**Tableau 13 – Coefficients correcteurs  $k_1$  et  $k_2$  pour la résistance en compression simple – Contrôle extérieur dans les marchés publics**

Nombre de prélèvements	Coefficient correcteur (MPa)	Béton issu d'une usine certifiée ou disposant du droit d'usage marque NF-BPE		Béton issu d'une centrale de chantier avec convenance probante et clauses qualité du marché respectées	
		$f_{ck} < 30$ MPa	$f_{ck} \geq 30$ MPa	$f_{ck} < 30$ MPa	$f_{ck} \geq 30$ MPa
$n = 1$	$k_2$	1	0	0	0
$n = 2$	$k_2$	1,5	1	1	0
$n = 3$	$k_1$	1	2	1,5	2,7
	$k_2$	3,5	3	3,5	3
$n = 6$	$k_1$	3		3,4	
	$k_2$	3		3	
$n = 9$	$k_1$	3,3		3,7	
	$k_2$	3		3	
$n = 12$	$k_1$	3,5		3,8	
	$k_2$	3		3	
$n \geq 15$	$k_1$	1,2 S (1)		1,3 S (1)	
	$k_2$	3		3	

(1) S est l'estimateur de l'écart-type de la population représentée par les résultats.

concertation qui aura pour but de bien accorder les parties sur les paramètres à prendre en compte pour apprécier un parement de la façon la plus objective et en faciliter la prise de décision. Il est important que cette concertation ait lieu en préalable au chantier.

### 4.3 Contrôle d'intégrité du béton de fondations profondes

Le contrôle d'intégrité du béton de fondations profondes est en fait la vérification de l'homogénéité du matériau béton constituant les parties d'ouvrages telles que pieux, barrettes, parois moulées, puits ou autres massifs de fondations. Il se superpose au contrôle traditionnel du béton (rhéologie, résistance du béton durci). Suivant l'organisation du chantier, il peut relever du contrôle interne à l'entrepreneur et/ou du contrôle extérieur du maître d'œuvre. Plusieurs méthodes sont actuellement réalisables :

- auscultation (sonique ou gammamétrique) par transparence lorsque les éléments sont pré-équipés de tubes de réservation ;
- auscultation par réflexion (vitesse et impédance) dans les autres cas.

La méthode est choisie lors de l'établissement du dossier de consultation des entreprises (DCE) en fonction des dimensions et de la profondeur des éléments d'une part, et de la nature du terrain d'autre part ; un guide pour l'auscultation des fondations profondes apporte tous les éléments nécessaires à ce choix [8].

La démarche qui consiste à opposer deux méthodes pour tenter de trouver des résultats corrects n'est pas recevable : dans le cas où deux méthodes différentes conduisent à des résultats distincts, l'analyse doit porter sur les différences méthodologiques pouvant induire ces écarts de résultats.

Le contrôle ne peut pas être effectué valablement avant 7 jours d'âge sous conditions climatiques normales ; en cas de températures très basses, le contrôle peut être différé d'une à plusieurs semaines. Les conditions opératoires doivent respecter celles prescrites par les normes correspondantes (NF P 94-106). Chaque élément ausculté donne lieu à un rapport d'essai détaillé où les anomalies constatées sont explicitées et positionnées (altitude au minimum). En cas de problème susceptible d'engager le comportement de l'élément de fondation, l'entrepreneur doit proposer une solution au maître d'œuvre.