

# ÉLÉMENTS RÉSISTANTS DE STRUCTURE EN BÉTON

## Éléments de structure linéaires

### Document Technique

### DT 02-04

Document technique DT 02-04 Révision 00  
18/03/2019

Etablissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation, et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition écologique et énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes. Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent document technique, faite sans l'autorisation du CSTB, est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (article L. 122-5 du Code de la propriété intellectuelle). Le présent document a été rédigé sur l'initiative et sous la direction du CSTB qui a recueilli le point de vue de l'ensemble des parties intéressées

© CSTB

## HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

<b>N° de révision</b>	<b>Date application</b>	<b>Modifications</b>
00	18/03/2019	Création du Document Technique DT 02-04

## TABLE DES MATIERES

1.	Matériaux .....	4
1.1	Armatures passives – grecques de couture .....	4
2.	Contrôles en cours de fabrication .....	4
2.1	Armatures passives - positionnement .....	4
2.2	Armatures actives pour béton précontraint .....	6
2.3	Béton .....	10
3.	Produits finis.....	14
3.1	Géométrie des éléments en béton .....	14
3.2	Fissuration .....	18
3.3	Résistance en compression du béton garantie à 28 jours, $f_{ck}$ .....	18
4.	Contrôles spécifiques des bétons autoplaçants.....	22
4.1	Définition des bétons autoplaçants .....	22
4.2	Généralités .....	22
4.3	Évaluation des déformations différées du béton (retrait et fluage) .....	22
4.4	Nature et fréquences des contrôles complémentaires effectués par l'usine dans le cadre du suivi.....	24

## 1. Matériaux

### 1.1 Armatures passives – grecques de couture

Dans le cas où les grecques de couture comportent un acier filant soudé aux boucles, et que les boucles participent à leur ancrage, un contrôle de la résistance des soudures (par traction ou cisaillement) doit être effectué sur 5 soudures minimum par lot de fabrication.

Ces essais peuvent être réalisés par le fournisseur.

Les résultats des essais sont transmis à chaque livraison.

## 2. Contrôles en cours de fabrication

### 2.1 Armatures passives - positionnement

Les armatures doivent être positionnées conformément aux dessins d'exécution (qui doivent eux-mêmes respecter les conditions minimales d'enrobage toutes tolérances épuisées) et maintenues de façon à assurer le respect des tolérances.

Les tolérances sur les positions des armatures sont données ci-après.

#### **Exigences communes**

Les armatures doivent être positionnées conformément aux dessins d'exécution (qui doivent eux-mêmes respecter les conditions minimales d'enrobage toutes tolérances épuisées) et maintenues de façon à assurer le respect des tolérances.

Les tolérances sur les positions des armatures sont :

⇒ Armatures longitudinales

**Longitudinalement :**

± 50 mm

± 20 mm pour la distance à l'about de la 1<sup>ère</sup> armature croisée

**Transversalement :**

± 20 mm

**Altimétrie :**

pour le BA : ± H / 40 pour H > 20 cm et ± 5 mm pour H < 20 cm

pour le BP : ± 15 mm

**Dépassements :**

-20 / + 30 mm

⇒ Armatures transversales

**Longitudinalement :**

± 20 mm au droit (par rapport au nu) des appuis (pour la première)

± 0,2 fois le pas au-delà (sur les autres) sans excéder ± 50 mm

**Transversalement :**

± 15 mm

**Altimétrie :**

± 15 mm

D'autres exigences plus sévères sur les tolérances de positionnement des armatures peuvent être données dans les indications des dessins d'exécution (notamment pour les corbeaux et les becquets d'appui), le CPU ou les Avis Techniques dont relèvent les procédés.

Le respect des tolérances ne dispense pas de respecter les conditions d'enrobage.

### **Compléments pour poutres de structure**

#### Tolérances sur les positions des armatures transversales des poutres et pannes en I

Les tolérances qui suivent concernent la position des armatures transversales (dans le sens horizontal de la section) pour les poutres en I brochées, sur une longueur, mesurée depuis l'about, égale à celle de la hauteur de la poutre. Dans tous les autres cas on se reporte aux exigences communes.

Ces tolérances sont fixées à ± (5 mm et B/40).

Le respect des tolérances ne dispense pas de respecter les conditions d'enrobage.

#### Contrôle concernant les becquets d'abouts

⇒ Le CPU propose un moyen de vérification visuel après bétonnage de l'existence et de la position de la cage d'about.

⇒ L'armature longitudinale d'about n'est pas positionnée à plus de 20 mm du nu du becquet sauf prescription spécifique du bureau d'études ou dans l'Avis Technique dont relève le procédé.

⇒ La tolérance sur la position verticale de l'armature longitudinale d'about est de ± h/40 sans être inférieure à 5 mm (h est la hauteur du becquet).

### **Compléments pour poutres de plancher**

Application des exigences de contrôle concernant les becquets d'abouts : voir ci-dessus.

## **Compléments pour poteaux**

### **Contrôle des armatures des têtes de poteaux**

- ⇒ Le CPU propose un moyen de vérification visuel après bétonnage de l'existence et de la position de la cage d'about.
- ⇒ La tolérance sur la distance entre la première armature et l'about est de  $\pm 10$  mm  
La tolérance sur l'espacement entre les armatures transversales est de  $\pm 20$  % de l'espacement théorique figurant sur les plans.

## 2.2 Armatures actives pour béton précontraint

### **Positionnement**

Les armatures doivent être positionnées conformément aux dessins d'exécution (qui doivent eux-mêmes respecter les conditions minimales d'enrobage).

Les tolérances sur les positions des armatures sont :

- Dans toutes les directions :
  - pour chacune des armatures la tolérance est de  $\pm 10$  mm
  - en cas de doute, il sera effectué une vérification complémentaire sur le centre de gravité avec pour tolérances  $\pm \min(5 \text{ mm} ; H / 50)$ , H étant la hauteur de la section)

D'autres exigences plus sévères sur les tolérances de positionnement des armatures peuvent être données dans les indications des dessins d'exécution (notamment pour les corbeaux et les becquets d'appui), le CPU ou les Avis Techniques dont relèvent les procédés.

Le respect des tolérances ne dispense pas de respecter les conditions d'enrobage.

Il est également rappelé que :

- Aucun raboutage n'est autorisé dans le même produit (par coupleur ou tout autre moyen)
- Le gainage est possible avec des gaines qui permettent d'assurer une étanchéité suffisante contre les risques de pénétration de laitance.

Les gaines sont exemptes de tout produit agressif, sans adhérence avec l'armature, fixées dans leur position définitive (figurant sur le dessin d'exécution), après la mise en tension, avec les moyens appropriés à leur maintien pendant la mise en place du béton et obturées en extrémité.

Le CPU donne toutes indications sur le type de gaine utilisé et les moyens mis en œuvre pour satisfaire aux exigences.

### **Mise en tension**

Un relevé de la tension appliquée aux aciers doit être effectué au moins une fois par cycle et par banc sur une armature ou le groupe d'armatures. Un contrôle supplémentaire doit de plus être effectué simultanément par une mesure d'allongement.

Les consignes de sécurité requises (notamment les prescriptions de l'OPPBTB lorsqu'elles existent) doivent être respectées.

*Nota : La contrainte dans les appareils d'assemblage, dont le rôle est fondamental, doit, dans les vérifications à l'état de service, rester inférieure à 300 MPa afin d'éliminer tout risque de corrosion sous tension.*

### **Unifilaire**

Le vérin de mise en tension est équipé d'un automatisme réglable donnant l'arrêt de la mise en tension lorsque la pression correspondante est atteinte.

La force du vérin doit être étalonnée régulièrement (au moins une fois par an) par un organisme habilité de manière à disposer d'une courbe de correspondance entre la force délivrée et la pression indiquée au manomètre et vérifiée au moins une fois par trimestre avec un dispositif de référence approprié (manomètre étalon, dynamomètre ou une cellule hydraulique).

### **Globale**

L'ouverture des vérins et la longueur de coupe des armatures doivent être déterminées en fonction des paramètres de la fabrication : longueur des bancs, clavettes, flou, dépassements derrière les clavettes.

Le ou les vérins de mise en tension doivent être équipés de manomètres étalonnés au moins une fois par an par un organisme habilité et une fois par trimestre par l'usine avec un dispositif de référence approprié.

Ces manomètres doivent permettre d'effectuer la lecture des pressions avec les erreurs maximales suivantes : fidélité  $\pm 1\%$  de la charge appliquée, justesse  $\pm 4\%$  de la charge appliquée.

La tension peut également être vérifiée avec un tensiomètre étalonné une fois par an.

### Vérification de l'allongement

A titre d'exemple on peut procéder :

- sur toute la longueur du banc
- sur 10 m en traçant sur l'armature deux points distants de 10 m (repérés au ruban adhésif ou par une marque de peinture ou par tout autre moyen);

La précision sur la mesure de l'allongement des armatures est de  $\pm 3\%$

L'écart entre les mesures de tension et d'allongement ne doit pas excéder 7 %.

### Reproductibilité

Le fabricant fournit un moyen pour s'assurer que toutes les armatures sont tendues à la bonne tension par tout procédé qu'il juge approprié et qui assure la traçabilité exigée.

### Tension des aciers de précontrainte boutonnés

La tension des aciers de précontrainte boutonnés est vérifiée par la mesure de l'effort appliqué (pression des vérins) et par la mesure de leur allongement. La longueur de coupe des fils de précontrainte à boutonner est contrôlée pour chaque nouvelle fabrication.



La protection anticorrosion des boutons des aciers de précontrainte et des blocs de liaison, est mise en place dès le stockage.

### **Détension des armatures**

Le relâchement brutal par sectionnement des armatures est interdit.

Le relâchement doit être effectué simultanément et progressivement pour toutes les armatures.

Les consignes de sécurité requises (notamment les prescriptions de l'OPPBTB lorsqu'elles existent) doivent être respectées.

### **Rentrée des armatures**

L'exigence minimale est de 5 mesures par type avec un dispositif permettant d'apprécier 0,1 mm.

Les valeurs obtenues sont consignées dans les registres.

La moyenne des 5 valeurs de rentrées d'armature (hormis les valeurs non exploitables) ne doit pas excéder les valeurs maximales exprimées en mm données dans le tableau suivant pour une tension initiale des armatures valant :

$$F_{0,max} = \min\{ 0,85. F_{pk} ; 0,95. F_{p0,1k} \}$$

Fil	Rentrée maxi (mm)
Ø 4	2,0
Ø 5	2,0
Ø 6	2,0
Ø 7	2,0

Toron	Rentrée maxi (mm)
T 5.2	2,5
T 6.85	2,0
T 9.3	2,0
T 12.5	2,5
T 12.9	2,5
T 15.2	3,0
T 15.7	3,0

Les valeurs individuelles ne doivent pas dépasser 1,3 fois les valeurs maximales données dans le tableau ci-dessus.

Si la moyenne des valeurs mesurées dépasse la valeur requise, le produit est rebuté sauf si une étude particulière permet de garantir, en sécurité, un état de précontrainte et une résistance à rupture compatibles avec l'utilisation envisagée, cette étude sera définie dans le CPU de l'usine.

En cas de tension initiale  $F_0 < F_{0,max}$  les valeurs des rentrées maximales doivent être diminuées dans la proportion  $\sqrt{F_0 / F_{0,max}}$

### **Détension des aciers de précontrainte boutonnés**

Les aciers de précontrainte boutonnés n'ayant pas de rentrée de fils à la détension, la mesure des déformées (flèches, contreflèches) permet de s'assurer de l'application effective de la précontrainte.

### **Coupe des armatures après détension**

En dérogation à la prescription de l'article 6.3.4 du Fascicule 65, l'emploi du chalumeau est toléré.

## 2.3 Béton

### **Matériel de fabrication**

Le fonctionnement de la centrale doit être commandé par un programmeur permettant le fonctionnement automatique ou semi-automatique et la reprise en manuel en cas de besoin.

Un système d'enregistrement ou d'édition automatique de la composition de toutes les gâchées et de leur destination est recommandé.

L'écart toléré sur les dosages est de  $\pm 3\%$  pour l'ensemble des constituants sauf pour les solutions d'adjuvants pour lesquels il est de 5% (niveau 1 du Fascicule 65).

### **Confection du béton**

Le fabricant doit réunir les moyens propres à s'assurer de la conformité du béton à la composition déterminée. Il doit s'assurer en permanence du bon fonctionnement des installations de dosage des différents constituants du béton (ciment, granulats, eau, adjuvants). La teneur en eau doit être ajustée en permanence de façon à obtenir une consistance régulière.

### **Manutention et mise en place du béton**

Les modalités de la manutention ne doivent pas provoquer de ségrégation.

La vibration, préalablement étudiée doit être effectuée avec soin.

### **Contrôle du béton frais**

Le fabricant doit établir le fuseau enveloppe à l'intérieur duquel chaque type de béton doit se trouver.

Une analyse granulométrique de conformité doit être effectuée une fois par mois et une mesure de la teneur en eau doit être effectuée une fois par semaine sur une des compositions béton utilisée

### **Traitement thermique du béton**

Le traitement thermique préalablement défini est programmé.

Une vérification du cycle réel est effectuée grâce à des sondes placées à proximité immédiate de la surface du béton.

Les registres comportent au moins le relevé de la durée du traitement et de la température maximale.

### **Résistance en compression du béton à la livraison (Éléments de structure linéaires en béton armé)**

Le fabricant confectionne au moins 3 éprouvettes par jour et par type de béton (le béton est pris dans les dernières gâchées, le traitement thermique et le mode de vibration sont les mêmes que ceux des produits).

Ces éprouvettes sont de préférence des cubes 100 x 100 mm. Elles sont pesées avant écrasement. D'autres types d'éprouvettes sont admis. La correspondance avec le cylindre de référence 15x30 cm est donnée dans le tableau ci-dessous :

	Rapport résistance cylindre/cube
	à la livraison
Cubes (mm) 100x100	0,83
Cubes (mm) 141x141	0,87
Cubes (mm) 150x150	0,875
Cubes (mm) 158x158	0,88
Cubes (mm) 200x200	0,90
	Rapport résistance cylindre/cylindre
	à la livraison
Cylindres (mm) 110x220	1,02
Cylindres (mm) 150x300	1,00
Cylindres (mm) 160x320	1,00

Les résistances obtenues sur chaque éprouvette sont appelées  $f_{ci}$  en MPa.

La moyenne des résistances  $f_{ci}$  obtenue sur les 3 cubes 100 x 100 mm ne peut en aucun cas être inférieure à **20 MPa** à la livraison du produit.

Pour chaque éprouvette, la valeur individuelle de résistance  $f_{ci}$  à la compression au jeune âge sur cubes 100 x 100 mm doit être supérieure à 0,9 fois la résistance du béton minimale requise (définie dans le CPU du fabricant) à la livraison du produit et ne peut en aucun cas être inférieure à **18 MPa**.

Les essais de compression doivent être réalisés suivant la norme NF EN 12390-3 en vigueur.

### **Résistance en compression à la détension des armatures (éléments de structure linéaires en béton précontraint)**

Le fabricant confectionne au moins 3 éprouvettes par jour et par type de béton (le béton est pris dans les dernières gâchées, le traitement thermique et le mode de vibration sont les mêmes que ceux des produits).

Ces éprouvettes sont de préférence des cubes 100 x 100 mm. Elles sont pesées avant écrasement. D'autres types d'éprouvettes sont admis. La correspondance avec le cylindre de référence 15x30 cm est donnée dans le tableau ci-dessous :

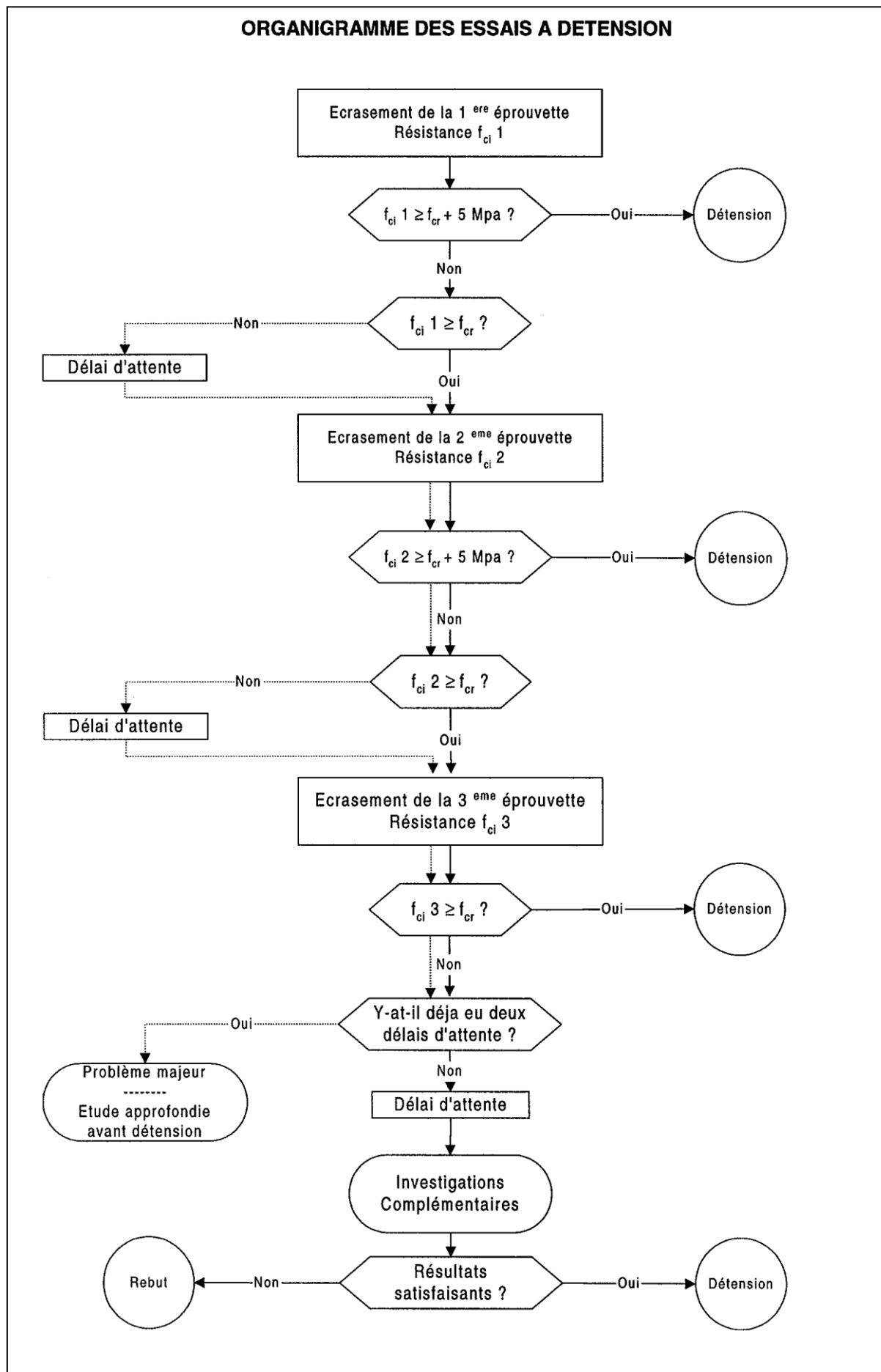
	<b>Rapport résistance cylindre/cube à la détension</b>
Cubes (mm) 100x100	0,83
Cubes (mm) 141x141	0,87
Cubes (mm) 150x150	0,875
Cubes (mm) 158x158	0,88
Cubes (mm) 200x200	0,90
	<b>Rapport résistance cylindre/cylindre à la détension</b>
Cylindres (mm) 110x220	1,02
Cylindres (mm) 150x300	1,00
Cylindres (mm) 160x320	1,00

Les résistances individuelles obtenues sur chaque éprouvette sont appelées  $f_{ci}$  en MPa.

Lorsque le cycle d'étuvage prévu est terminé, la mise en précontrainte peut être effectuée si le seuil de résistance requis  $f_{cr}$  est atteint, c'est à dire conforme à la valeur portée sur la fiche de fabrication.

La valeur de  $f_{ci}$  obtenue sur cubes 100x100 mm ne peut en aucun cas être inférieure à 25 MPa et à deux fois la contrainte de compression due à la précontrainte finale (tension finale avec pertes déduites).

**ORGANIGRAMME DES ESSAIS A DETENSION**



### 3. Produits finis

Un autocontrôle complet est exigé pour tous les produits de toutes les fabrications et les résultats de cet autocontrôle sont consignés sur des fiches qui peuvent être facilement produites en cas de besoin.

Une surveillance de l'autocontrôle est effectuée par un vérificateur sur un produit par semaine et par moule en alternant les files si le moule en possède deux ou plus. Généralement prélevé au hasard, le produit est mensuellement celui qui a fait l'objet de la surveillance de l'autocontrôle avant coulage.

Les mesures sont portées dans les registres sous forme de tableaux avec les indications suivantes :

- Date de fabrication
- Date de contrôle
- Numéro du moule
- Type produit
- Valeur théorique (plan)
- Tolérance
- Valeur mesurée pour les valeurs hors tolérances
- Ecart pour les valeurs hors tolérances

Les tolérances à respecter sont données ci-dessous :

D'autres exigences plus sévères sur les tolérances de positionnement des armatures peuvent être données dans les indications des dessins d'exécution (notamment pour les corbeaux et les becquets d'appui), le CPU ou les Avis Techniques dont relèvent les procédés. Il conviendra alors de respecter ces exigences.

#### 3.1 Géométrie des éléments en béton

##### 3.1.1 Géométrie des éléments en béton

###### Exigences communes

Le vérificateur effectue, chaque semaine sur un élément, les contrôles indiqués dans le tableau ci-dessous :

Mesures sur le produit	Tolérances (la plus exigeante lorsqu'il y a 2 possibilités)
Longueur en face inférieure sur un côté	< 10 m: $\pm 15$ mm 10 à 20 m: $\pm 25$ mm > 20 m: $\pm 30$ mm
Largeur sur un about	$\pm 10$ mm
Hauteur sur un about	$\pm 10$ mm
Courbure horizontale (cintre)	L / 400

Contreflèche des éléments précontraints	Prescription du bureau d'étude
Désaffleurements (aux joints de coffrage) en faces inférieures	± 5 mm
Position des inserts filants dans les sens horizontal et vertical	± 20 mm
Position des inserts filants dans le sens longitudinal	± 20 mm
Position des inserts ponctuels et trémies	± 20 mm
Position des inserts ponctuels et trémies dans le sens longitudinal	± (20 mm et h/10) *
Contrôles spécifiques pour corbeaux, diabolos, etc.....	Prescription du bureau d'étude

Inserts = crochets, fourreaux, platines, réservations, engravures, rails, attentes, etc.....

\* h = hauteur de la membrure affectée

### 3.1.2 Compléments pour poutres de structure (portique), pannes et poteaux

#### Position des inserts qui ne doivent pas entamer la membrure supérieure

Si la membrure supérieure comprimée des poutres est entamée par la présence d'inserts, une attention particulière sera portée au respect des tolérances prescrites par le bureau d'études et qui figurent sur les dessins d'exécution ou dans le CPU.

#### Contrôle des espacements entre axes des fourreaux et des broches

- **Fourreaux d'assemblage** : Sens longitudinal ± 25 mm et sens transversal ± 10 mm
- **Broches d'assemblage** : Sens longitudinal ± 15 mm et sens transversal ± 10 mm

#### Contrôle de la géométrie concernant les becquets ou grugeage d'abouts

- 10 / + 20 mm

### 3.1.3 Compléments pour poutres de plancher

#### Rugosité de surface de reprise et rugosité des abouts

La rugosité de surface est exigée, sauf sur les bords de poutres destinés à devenir les surfaces d'appui des intercalaires. La rugosité des abouts doit être assurée.

Le CPU décrit le processus employé pour obtenir cette rugosité et le dessin d'exécution mentionne la qualité à obtenir.



### 3.1.4 Géométrie des armatures visibles

(Concerne en réalité la cage apparente)

#### 3.1.4.1 Exigences communes

Le vérificateur effectue chaque semaine sur un élément les contrôles indiqués dans le tableau ci-dessous ;

Mesures sur le produit	Tolérances (la plus exigeante lorsqu'il y a 2 possibilités)
<b>Armatures de précontrainte</b>	
Verticalement sur chaque armature	$\pm 10$ mm et vérification du cdg en cas de doute
Dépassements d'ancrage	$\pm 20$ mm $\pm 15\%$ du dépassement sans être inférieure à 10mm ni supérieure à 20
<b>Armatures pour béton armé ou armatures passives pour béton précontraint</b>	
Armatures longitudinales	
longitudinalement	$\pm 50$ mm
transversalement	$\pm 20$ mm
altimétrie	BP : $\pm 15$ mm      BA : $\pm H/40$ ou $\pm 5$ mm
dépassements d'ancrage horizontaux ou verticaux	-20 / + 30 mm
<b>Armatures transversales</b>	
longitudinalement	+ 20 mm au droit des appuis $\pm 0,2x$ pas au delà
transversalement	$\pm 15$ mm
altimétrie	$\pm 15$ mm
<b>Autres armatures d'assemblage poutre/poutre ou poteau/poutre</b>	
Dispositifs de manutention (crochets de levage et autres)	$\pm 20$ mm dans toutes les directions $\pm 10$ cm dans le sens longitudinal et $\pm 20$ mm dans le sens transversal

3.1.4.2 Compléments pour poutres de structure (portique), pannes et poteaux  
Voir paragraphe 2.1

3.1.4.3 Compléments pour poutres de plancher  
Voir paragraphe 2.1

### 3.2 Fissuration

Les éléments sont normalement exempts de fissures. Cependant certaines fissures résiduelles peuvent être tolérées à condition que leur ouverture reste inférieure à 0,1 mm (0,2 mm pour les fissures de retrait) et qu'elles ne compromettent ni la durabilité ni la stabilité de l'élément.

### 3.3 Résistance en compression du béton garantie à 28 jours, $f_{ck}$

Le fabricant confectionne des éprouvettes pour chaque composition de béton (indépendamment du traitement thermique), le mode de vibration est représentatif des conditions de fabrication des poutrelles.

L'éprouvette de référence est le cylindre 15x30 cm. Elles sont pesées avant écrasement.

D'autres types d'éprouvettes sont admis et la correspondance avec les cylindres 15 x 30 cm est donnée ci-après.

	Rapport résistance cylindre/cube
	à 28 jours
Cubes (mm) 100x100	0,90
Cubes (mm) 141x141	0,92
Cubes (mm) 150x150	0,925
Cubes (mm) 158x158	0,93
Cubes (mm) 200x200	0,95
	Rapport résistance cylindre/cylindre
	à 28 jours
Cylindres (mm) 110x220	1,02
Cylindres (mm) 150x300	1,00
Cylindres (mm) 160x320	1,00

Le mode de conservation des éprouvettes doit être le plus proche possible de celui des produits fabriqués.

Il est confectionné et écrasé 3 éprouvettes par semaine par composition.

Les résistances obtenues sur chaque éprouvette sont appelées  $f_{ci}$ .

La résistance moyenne obtenue sur le lot de 3 éprouvettes est appelée  $f_{cm}$ .

Ces résistances sont à rapprocher de la valeur certifiée  $f_{ck}$  indiquée sur le certificat.

Elles sont portées sur la carte de contrôle.

La carte de contrôle comporte également les limites :  $f_{ck} / 0,9$  x  $f_{ck} / LR / LA$  (qui sont celles obtenues dans les mois précédents (sans glissement)).

Le processus d'acceptation ou de refus des résistances à 28 jours est le suivant : (voir la norme NF X 06-032 en vigueur si le nombre d'éprouvettes est différent du tableau ci-dessous)

**\*\*Si  $f_{ci} \geq f_{ck}$  et  $f_{cm} \geq f_{ck} + q \cdot \sigma$  (limite d'acceptation LA) la qualité du béton est correcte et conforme au  $f_{ck}$  certifié.**

Cette formule nécessite de connaître  $q$  et  $\sigma$ .

$\sigma$  est l'écart type.

$q$  dépend du nombre  $N_i$  d'éprouvettes confectionnées dans la classe du béton considéré. Dans le cas où le nombre de  $f_{ci}$  disponible est  $< 30$ , l'usine prend en compte les derniers  $f_{ci}$  du trimestre précédent pour disposer de 30 résultats.

Période courante

$N_i$	30	35	40	45	60	90
$k1$ (m inconnu, $\sigma$ connu)	1,95	1,92	1,91	1,89	1,86	1,82
$q = k1 - (1,64 / \sqrt{3})$	1,00	0,97	0,96	0,94	0,91	0,87

**Nota** : en période de démarrage et lors de l'instruction on exige  $f_{ci} \geq f_{ck}$  et  $f_{cm} \geq f_{ck} + q0 \cdot s$ , avec  $s$  écart type des 3 mois de contrôles envoyés pour l'instruction.

$q0$  dépend du nombre  $N_i$  d'éprouvettes confectionnées dans la classe du béton considéré.  $N_i \geq 30$  ou 15 dans le cas de petites séries.

Période de démarrage

$N_i$	30	35	40	45	60	90
$k2$ (m et $\sigma$ inconnus)	2,22	2,17	2,13	2,09	2,02	1,94
$q0 = k2 - (1,64 / \sqrt{3})$	1,27	1,22	1,18	1,14	1,07	0,99

**\*\*Si  $f_{ci} \geq f_{ck}$  ou  $f_{cm} \geq f_{ck} + q \cdot \sigma$  n'est pas vérifié la qualité du béton est mise en cause.**

Ceci est admis à condition que la fréquence de ces incidents soit inférieure à 10 % de l'ensemble des essais de la période considérée. Dans ce cas on vérifie que  $f_{ci} \geq 0,9$  x  $f_{ck}$  et  $f_{cm} \geq f_{ck} + q' \cdot \sigma$  (limite de refus LR).

Cette formule nécessite de connaître  $q'$  et  $\sigma$ .

$\sigma$  est l'écart type .

$q'$  dépend du nombre  $N_i$  d'éprouvettes confectionnées dans la classe du béton considéré.

Période courante

$N_i$	30	35	40	45	60	90
$k_1$ (m inconnu, $\sigma$ connu)	1,95	1,92	1,91	1,89	1,86	1,82
$q' = k_1 - (1,96 / \sqrt{3})$	0,82	0,79	0,76	0,76	0,73	0,69

**Nota** : en période de démarrage et lors de l'instruction on exige  $f_{ci} \geq f_{ck}$  et  $f_{cm} \geq f_{ck} + q' \cdot s$ , avec s écart type des 3 ou 6 mois de contrôles envoyés pour l'instruction.

$q_0$  dépend du nombre  $N_i$  d'éprouvettes confectionnées dans la classe du béton considéré.

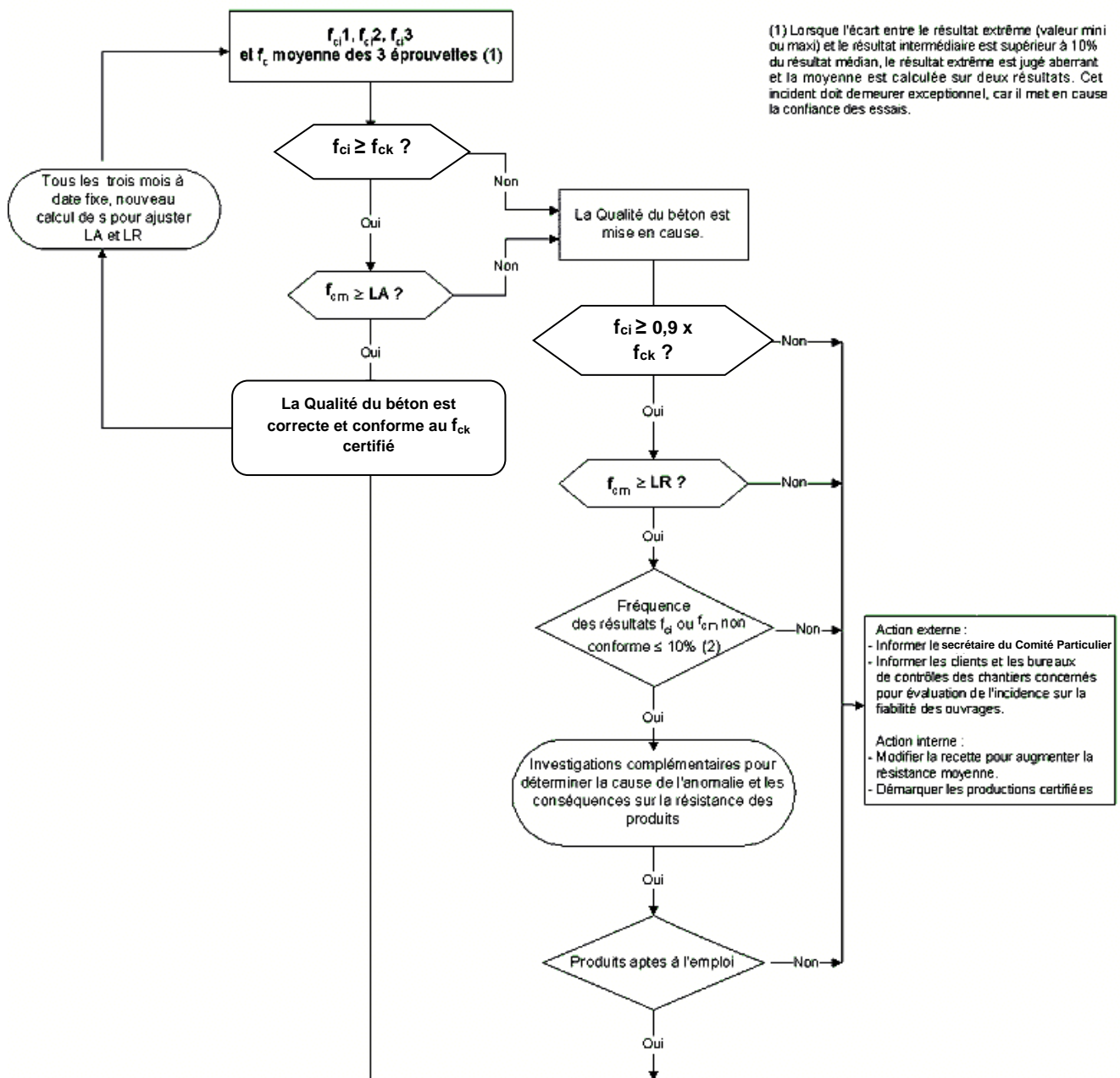
Période de démarrage

$N_i$	30	35	40	45	60	90
$k_2$ (m et $\sigma$ inconnus)	2,22	2,17	2,13	2,09	2,02	1,94
$Q^0 = k_2 - (1,96 / \sqrt{3})$	1,09	1,04	1,00	0,96	0,89	0,81

**\*\*** Si  $f_{ci} \geq 0,9 \times f_{ck}$  ou  $f_{cm} \geq f_{ck} + q' \cdot \sigma$  (limite de refus LR) n'est pas vérifié :

- l'information doit être transmise au secrétaire du comité particulier qui réunit le bureau pour envisager la suite à donner à la certification (décision à prendre sur la valeur du  $f_{ck}$ , suspension ou annulation de la certification) ;
- l'information doit être communiquée par le fabricant aux bureaux de contrôle chargé du ou des chantiers concernés, à l'entreprise effectuant la pose pour évaluation de l'incident sur la fiabilité des ouvrages.

**ORGANIGRAMME DES ESSAIS A 28 JOURS  
en période courant (écart type connu)**



(1) Lorsque l'écart entre le résultat extrême (valeur mini ou maxi) et le résultat intermédiaire est supérieur à 10% du résultat médian, le résultat extrême est jugé aberrant et la moyenne est calculée sur deux résultats. Cet incident doit demeurer exceptionnel, car il met en cause la confiance des essais.

(2) Si les conditions ne sont pas satisfaites simultanément, il s'agit d'une non conformité (  $n_e$  ). La qualité du béton est douteuse. Ceci est admissible à la double condition :

- que la fréquence de ces incidents soit inférieure à 10% de l'ensemble des essais de la période considérée (3 mois)  $n_e \leq 10\% \times (N/3)$  soit  $n_e \leq 3$  pour  $f_{ci} = 30$  résultats,
- que les résultats des investigations complémentaires permettent de conclure d'une part que les produits demeurent aptes à l'emploi et d'autre part que l'anomalie est corrigée.

## 4. Contrôles spécifiques des bétons autoplaçants

### 4.1 Définition des bétons autoplaçants

Bétons très fluides, homogènes et stables, mis en œuvre sans ou avec légère vibration (la compaction s'effectuant essentiellement sous le seul effet gravitaire) et conférant à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons classiques vibrés. Les bétons auto-plaçants se distinguent principalement des bétons classiques par leurs propriétés à l'état frais résultant des principes de formulation suivants :

- l'utilisation systématique de superplastifiants ;
- l'utilisation éventuelle d'agents de viscosité ;
- un volume de gravillons plus faible.

### 4.2 Généralités

Les BAP font l'objet des études de convenance habituellement pratiquées pour les bétons classiques. Ainsi, les granulats et les fines employées sont précisément identifiés, les fuseaux enveloppes d'acceptation sont définis, de même que la plage de variation de la quantité d'eau dans le béton.

### 4.3 Évaluation des déformations différées du béton (retrait et fluage)

Les vérifications suivantes sont effectuées en adoptant la limite défavorable du fuseau préalablement définie. Deux cas de figure sont à considérer :

- soit la (les) formule(s) de BAP de l'usine est (sont) inscrite(s) dans les limites actuelles des formules génériques définies au tableau ci-dessous (pour le volume de pâte et la résistance caractéristique  $f_{ck}$ , la valeur E/C étant inférieure ou égale à 0,50), auquel cas il n'y a pas de dossier particulier à fournir ;

Paramètres	Mini	Maxi
E/C <sup>1</sup>	0,42	0,50
Volume de pâte (1 – G) <sup>2</sup>	31,8 %	39,2 %
$f_{ck}$ BP	45 MPa	90 MPa
$f_{ck}$ BA	35 MPa	

<sup>1</sup> eau efficace/quantité de ciment seul (sans ajouts).

<sup>2</sup> G = pourcentage en volume des granulats de taille supérieure à 80 µm.

- soit la formule du BAP diffère des formules génériques, auquel cas l'industriel devra justifier les caractéristiques relatives au fluage (déformation totale, déformation endogène) et au retrait hydraulique par des mesures sur une durée au moins égale à 3 mois, ou le cas échéant, par l'utilisation d'un modèle basé sur les méthodes d'homogénéisation (modèle trisphère développé par De Larrard et Leroy) dont le domaine d'application couvre la(les) formule(s) de BAP utilisée(s) par le demandeur. Il est indiqué ci-après la méthodologie de détermination expérimentale des paramètres utiles pour les méthodes d'homogénéisation.

#### a) détermination de la proportion volumique de granulats $g$ :

$g$  = Volume de granulats / Volume de la gâchée de béton

- A l'aide de la composition du béton mis en œuvre, calculer le volume en granulats du béton à partir de la masse de chaque composant (exclure les passants à 80  $\mu\text{m}$ ) et de leur densité absolue.
- Évaluer le volume de la gâchée à partir de sa masse globale et de la densité du béton frais. Cette dernière peut être déterminée à l'aide d'un moule 16 x 32 par exemple.

$$g = \frac{\sum_1^n \frac{(1 - p_i) m_i}{\rho_i}}{\frac{M}{\rho}}$$

$p_i$	=	proportion de fines (passant au tamis de 0,08 mm) du granulat $i$
$m_i$	=	masse totale du granulat $i$ dans la composition de béton
$\rho_i$	=	densité absolue du granulat $i$
$M$	=	masse totale de la gâchée
$\rho$	=	densité du béton frais

#### b) détermination de la compacité granulaire maximale $g^*$ :

- 1- Élaborer un mélange granulaire homogène respectant les proportions des différents granulats dans le béton :
  - prélever 7 Kg de chaque granulats ;
  - séparer les fines < 80  $\mu\text{m}$  par lavage au-dessus du tamis de 80  $\mu\text{m}$  ;
  - sécher et peser ( $m_1$ ) ;
  - re-mélanger les matériaux dans les proportions correspondant au dosage dans le béton en veillant à obtenir un mélange parfaitement homogène.
- 2- Compacter le mélange :
  - verser dans un récipient métallique cylindrique et calibré, de diamètre ( $d$ ) > à 5 fois la dimension du plus gros granulat (exemple :  $\varnothing 16 \times 32$ ) ;
  - remplir le récipient, araser, peser la quantité de mélange non utilisée ( $m_2$ ) et en déduire la masse du mélange sec mis en place dans le récipient ( $m_s$ ) ;
  - brider le récipient sur une table vibrante ;
  - appliquer une contrainte de 10 kPa sur l'échantillon par le biais d'un piston introduit dans le cylindre ;
  - vibrer l'ensemble pendant 2 min.



3- Calculer  $g^*$  :

- noter la hauteur finale (h) de l'échantillon (mesurer en 5 points minimum et prendre la valeur moyenne) ;

$$g^* = \frac{4 \times m_s}{\pi \times d^2 \times h \times \rho_s}$$

$\rho_s$  = masse volumique absolue moyenne des granulats.

Cette opération est répétée 3 fois, la valeur  $g^*$  retenue est moyenne de ces 3 mesures.

#### 4.4 Nature et fréquences des contrôles complémentaires effectués par l'usine dans le cadre du suivi

- La surveillance permanente du rapport E/C par les enregistrements de la centrale à béton. On vérifie que cette variation se situe dans les limites définies dans le dossier fourni lors de l'instruction ;
- La surveillance de la mobilité du béton par les essais d'autocontrôle suivants :
  - ⇒ essai d'étalement au cône d'Abrams selon la NF EN 12350-8 en vigueur
  - ⇒ essai de la boîte en L décrit dans les recommandations de l'AFGC (Association Française de Génie Civil)

Fréquence de ces essais :

- ⇒ période de démarrage (minimum 20 jours de production) : les deux essais sont journaliers ;
- en période courante :
  - ⇒ si l'essai de la boîte en L est stabilisé (condition réputée satisfaite si, pour les 15 dernières valeurs, le coefficient de variation est < 10 %, et si chaque valeur individuelle est comprise entre 0.80 et 1.20 fois la valeur moyenne), la périodicité de cette mesure devient hebdomadaire,
  - ⇒ le test d'étalement est effectué journalièrement ;
- Le suivi de la non ségrégation du béton par l'essai de stabilité au tamis décrit dans les recommandations de l'AFGC. Pendant la phase de démarrage, cette mesure est effectuée une fois par semaine dans le cas où il n'y a pas d'agent de viscosité dans la formule, et une fois par mois dans le cas contraire. Par la suite, la périodicité de ces contrôles devient respectivement mensuelle et trimestrielle.

*NOTE : Il s'agit là des contrôles complémentaires donc additionnels à ceux définis dans le référentiel de certification pour les bétons classiques.*