

ÉLÉMENTS RÉSISTANTS DE STRUCTURE EN BÉTON

Poutrelles en béton précontraint

Document technique DT 02-01

Document technique DT 02-01 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

N° de révision	Date application	Modifications
00	18/03/2019	Création du Document Technique DT 02-01

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	5
2.3	Béton	7
3.	Produits finis.....	11
3.1	Dimensions et tolérances	11
3.2	Moment résistant ultime des poutrelles en phase provisoire, M_{Rd}	12
3.3	Résistance en compression du béton garantie à 28 jours, f_{ck}	16

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 :

➤ **Armatures longitudinales ou raidisseurs métalliques incorporés aux poutrelles :**

± 10 cm en longitudinal, en hauteur ± 3 mm

➤ **Armatures transversales:**

Le contrôle consiste à vérifier les positions des armatures dont les tolérances sont indiquées ci-dessous.

Les tolérances par rapport aux côtes nominales, sur la position des armatures transversales (étriers, coutures, grecques,...) sont :

Verticalement : ± 10 mm sauf cas contraire indiqué dans l'avis technique du titulaire.

Longitudinalement : ± 50 mm sauf cas contraire indiqué dans l'avis technique du titulaire.

De plus, lorsque les armatures transversales sont des grecques, la première branche verticale, ne doit pas se trouver à plus de 10 cm de la face d'about de la poutrelle.

L'enrobage des grecques vis-à-vis de la table de compression doit être de 10 mm minimum, toute tolérance épuisé.

Ce contrôle est effectué avant coulage par le responsable de fabrication pour les armatures qui ne sont plus visibles après coulage. Ce contrôle est matérialisé par un visa pour chaque piste fabriquée.

2.2 Armatures actives pour béton précontraint

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.

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.

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

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 $\sqrt{F_0 / F_{0,max}}$

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 à la détension des armatures

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 détension
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 détension
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 24 MPa ou inférieure à $2 n_i$ (n_i est la contrainte de compression développée dans la fibre inférieure de la poutrelle considérée sous la force de précontrainte finale en MPa). La vérification est effectuée en suivant l'organigramme ci-après.

Pourquoi $2 n_i$:

*On veut en fait que : f_{ci} sur cylindres $\geq 3/2 n^*_i$, avec n^*_i la précontrainte en phase provisoire.*

*Or, n^*_i (précontrainte en phase provisoire) = $1,2 \times 0,92 \times n_i$ (précontrainte en phase finale)*

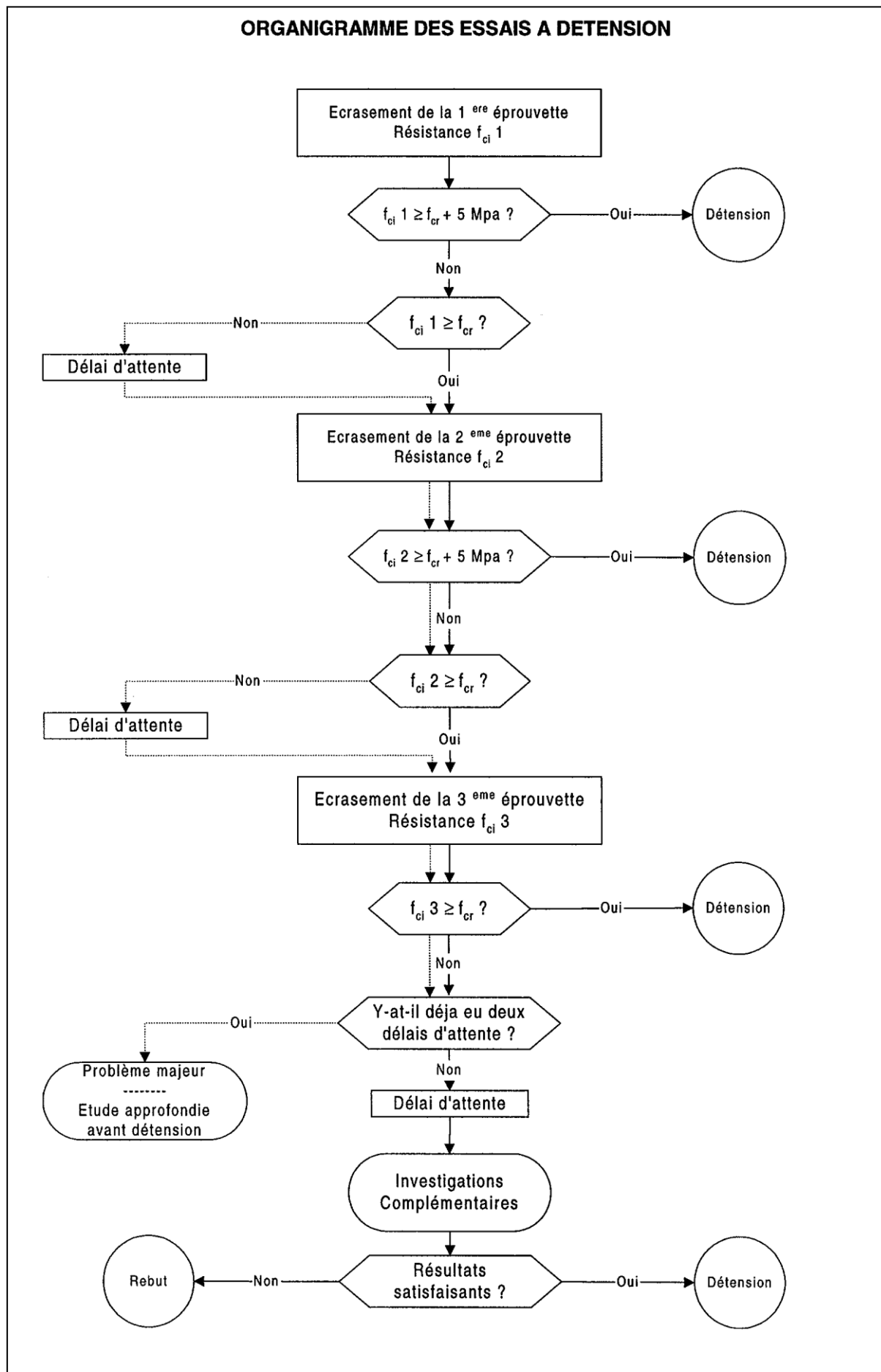
Et, f_{ci} sur cylindres = $0,83 \times f_{ci}$ sur cubes.

Donc, $0,83 \times f_{ci}$ sur cubes = $3/2 \times 1,2 \times 0,92 \times n_i$ (précontrainte en phase finale)

Soit, f_{ci} sur cubes $\geq 2 \times n_i$ (précontrainte en phase finale)

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

ORGANIGRAMME DES ESSAIS A DETENSION



3. Produits finis

3.1 Dimensions et tolérances

Les familles sont différenciées du fait de leur géométrie (section transversale) ou de la présence d'armatures longitudinales passives.

Un contrôle est effectué sur deux poutrelles de chaque famille par semaine. Pour une même famille, on doit contrôler régulièrement toutes les combinaisons possibles en nombre et en position des armatures.

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

Géométrie Béton

Mesures sur le produit	Tolérances La plus exigeante lorsqu'il y a 2 possibilités
Longueur de poutrelle	± 2 cm
Hauteur de la poutrelle	$\pm 5 \%H$ et $\pm 7,5$ mm
Hauteur des ailes des talons destinées à recevoir les entrevous	- 4 mm à + 4 mm
Autres dimensions transversales	± 5 mm
Epaisseur de l'âme en partie supérieure	± 5 mm
Rectitude horizontale au niveau du talon	$\pm 1/500$ de la longueur et ± 10 mm maximum
Régularité des surfaces d'appui recevant les entrevous	Appréciation visuelle
Rugosité de la surface de reprise (ou toute autre disposition permettant d'assurer une bonne reprise de bétonnage)	Appréciation en fonction des prescriptions du CPU En fonction de l'échantillon témoin
Présence de fissures, de manques ou de cavernes	Appréciation visuelle

Dans le cas des poutrelles en béton précontraint coulées directement dans des blocs de polystyrène pour lesquelles leur géométrie dépend directement de celles des blocs polystyrène, il conviendra de mettre en place la même procédure de contrôle dimensionnel sur les blocs de polystyrène en tenant compte des tolérances dimensionnelles listées ci-dessus.

Géométrie des armatures visibles

Mesures sur le produit	Tolérances (la plus exigeante lorsqu'il y a 2 possibilités)
Armatures de précontrainte	
verticalement	$\pm 3 \text{ mm}$
dépassements	$\pm 20 \text{ mm}$
Armatures transversales	
verticalement	$\pm 10 \text{ mm}$
longitudinalement	$\pm 50 \text{ mm}$
Position de la première boucle	$\leq 100 \text{ mm}$

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.

3.2 Moment résistant ultime des poutrelles en phase provisoire, M_{Rd}

Modalités d'essai de flexion des poutrelles

La poutrelle est posée sur deux appuis simples (rouleaux ou équivalents). Sauf à tenir compte des portes à faux dans les calculs, les dépassements de part et d'autre doivent être compris entre 5 et 30 cm.

Les portées d'essai (distances entre rouleaux) sont forfaitairement fixées ci-après :

Hauteur nominale des poutrelles	Portées d'essai
$h \leq 10 \text{ cm}$	3,00 m
$10 < h \leq 11 \text{ cm}$	3.50 m
$11 < h \leq 13 \text{ cm}$	4,00 m
$13 < h < 15 \text{ cm}$	4,50 m
$15 \leq h \leq 17 \text{ cm}$	5,00 m
$h > 17 \text{ cm}$	5,50 m

Il y a une seule montée en chargement jusqu'à la rupture, sans déchargement intermédiaire, par paliers de chargements définis ainsi :

Palier de chargement	Espace de temps entre chargements
0,30 P_0	30 secondes
0,60 P_0	30 secondes
0,90 P_0	30 secondes
0,95 P_0	30 secondes
1,00 P_0	60 secondes
1,05 P_0	60 secondes
1,10 P_0	60 secondes
1,15 P_0	60 secondes
etc.	60 secondes

NOTA : Au-delà du palier de 1.00 P_0 , le chargement peut être poursuivi avec une montée en chargement continue à la vitesse 0.05 P_0 /min.

P_0 étant la charge totale correspondant à la valeur du moment caractéristique M_{rv} visé. Elle tient compte du poids propre et des portes à faux.

La charge ultime, à inscrire sur les registres est la dernière charge supportée par la poutrelle précédant celle sous laquelle la poutrelle s'est rompue.

Les flèches (à mi-travée et tassement des appuis) aux différents paliers doivent être enregistrées au cours de l'essai.

Essai de type initial

L'essai est effectué sur au moins 5 poutrelles par type de poutrelle (dans une famille de poutrelle, le type correspond au nombre et à la répartition des armatures de précontrainte).

Lors de l'audit d'admission, il est effectué :

- Un essai de flexion sur 5 poutrelles d'un même modèle ;
- Un essai de flexion sur 2 autres poutrelles, de 2 modèles différents

Les modalités d'interprétation sont celles définies au H.6 de la norme NF EN 15037-1. La valeur caractéristique visée M_{RV} est estimée conformément à l'Annexe D de la norme NF EN 1990 « Eurocode 0 », selon la formule suivante :

$$M_{Rv} \leq M_{Rk} = M_{R,moy} \cdot (1 - k_n \cdot Vx)$$

Où :

M_{Rk} : moment résistant caractéristique déterminé par essai

$M_{R,moy}$: moyenne des résultats de l'essai

Vx : coefficient de variation estimé à partir de l'essai

k_n : coefficient dépendant du nombre n de poutrelles testées déterminé conformément au tableau D.1 de la NF EN 1990 :

Valeurs du coefficient k_n :

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20
V_x inconnu	/	/	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76

La valeur garantie déclarée et certifiée M_{Rd} est celle retenue pour les calculs :

$$M_{Rd} = M_{Rv} / 1,20$$

Suivi périodique

La fréquence minimale des essais est de 2 poutrelles par type tous les 20 jours de production, en alternant les bancs si possible.

Période de démarrage

La période de démarrage correspond aux 20 premières poutrelles au moins, prélevées dans le cadre du suivi périodique. L'écart type et la valeur caractéristique sont calculés à l'avancement, à chaque essai, selon la même méthode que l'essai initial.

NOTA : Cette période de démarrage consécutive aux essais initiaux peut également intervenir à la suite de modification de paramètres de production.

À la suite de chaque essai, les vérifications suivantes doivent être réalisées :

-Chaque résultat individuel $M_{R,ind}$ doit être supérieur à la valeur visée M_{Rv} ;

-La valeur caractéristique M_{Rk} sur l'échantillon (ensemble des résultats disponibles) est comparée à la valeur visée M_{Rv} . On doit avoir $M_{Rk} \geq M_{Rv}$

À la fin de la période de démarrage et afin de vérifier la pertinence de la valeur visée M_{Rv} , on calcule une Limite Acceptable L_A et une Limite de Refus L_R de la façon suivante :

$$L_A = M_{Rv} + \left(k - \frac{1,64}{\sqrt{2}} \right) \sigma$$

$$L_R = M_{Rv} + \left(k - \frac{1,96}{\sqrt{2}} \right) \sigma$$

Où k est un coefficient dépendant du nombre N de poutrelles testées sur la période et correspondant au fractile 5 % (σ étant connu et le coefficient de confiance pour la moyenne étant de 0,75) et σ est l'écart type des résultats obtenus sur la période :

N	14	16	18	20	24	30	36
k	1,83	1,81	1,80	1,79	1,78	1,77	1,76

Les moyennes de chaque paire de poutrelles de la période de démarrage sont comparées a posteriori à L_A et L_R pour vérifier la pertinence de la valeur visée.

Nota : Cette phase de vérification doit permettre à l'industriel d'ajuster ses paramètres de fabrication lors du suivi périodique (par rapport aux résultats des essais initiaux).

Période courante

En période courante, l'étude statistique des résultats doit être représentée sous forme d'une carte de contrôle et les résultats sont interprétés comme suit :

- Les moyennes de chaque paire de poutrelles ($M_{R,moy}$) sont notamment comparées aux valeurs L_A et L_R établies comme indiqué ci-avant sur la période précédente (de démarrage ou courante).

Nota : il est loisible de conserver L_A et L_R de la période précédente si celles-ci sont supérieures à celles déterminées comme indiqué ci-avant.

-Si $M_{R,ind} < M_{R,v}$ ou si $M_{R,moy} < L_A$: examen des causes de dérive possibles.

-Si $M_{R,ind} < 0.9 M_{R,v}$ ou $M_{R,moy} < L_R$ ou $M_{R,moy,2} < L_A$: après analyse des causes, une décision d'acceptation ou refus de la production doit être prise. Le cas échéant, le certificateur et les chantiers concernés sont informés. La documentation du CPU doit définir les modalités de contrôle et les critères pour l'acceptation ou le refus de la production.

Avec $M_{R,moy,2}$ la valeur moyenne sur deux prélèvements successifs

Dans le cadre de l'analyse des causes, la dispersion réelle est vérifiée par le calcul de la moyenne et de l'écart type sur 12 mois ou au moins 20 résultats. Il est alors vérifié que le moment fléchissant caractéristique M_{Rk} est supérieur ou égal au moment fléchissant visé M_{Rv} ; dans le cas contraire, ou si le nombre de résultats non conformes est supérieur à 10%, $M_{R,v}$ doit être réévalué en conséquence et la valeur résultante de M_{Rd} doit être déclarée.

Pour la période courante, la valeur caractéristique M_{Rk} est estimée à partir des coefficients k suivants (la variance étant connue et le coefficient de confiance pour la moyenne étant de 0.75) :

N	14	16	18	20	24	30	36
k	1,83	1,81	1,80	1,79	1,78	1,77	1,76

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 σ .

σ 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, σ 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 σ 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 $f_{ci} \geq 0,9 \times f_{ck}$ et $f_{cm} \geq f_{ck} + q' \cdot \sigma$ (limite de refus LR).

Cette formule nécessite de connaître q' et σ .

σ 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
$k1$ (m inconnu, σ connu)	1,95	1,92	1,91	1,89	1,86	1,82
$q' = k1 \cdot (1,96 / \sqrt{3})$	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.

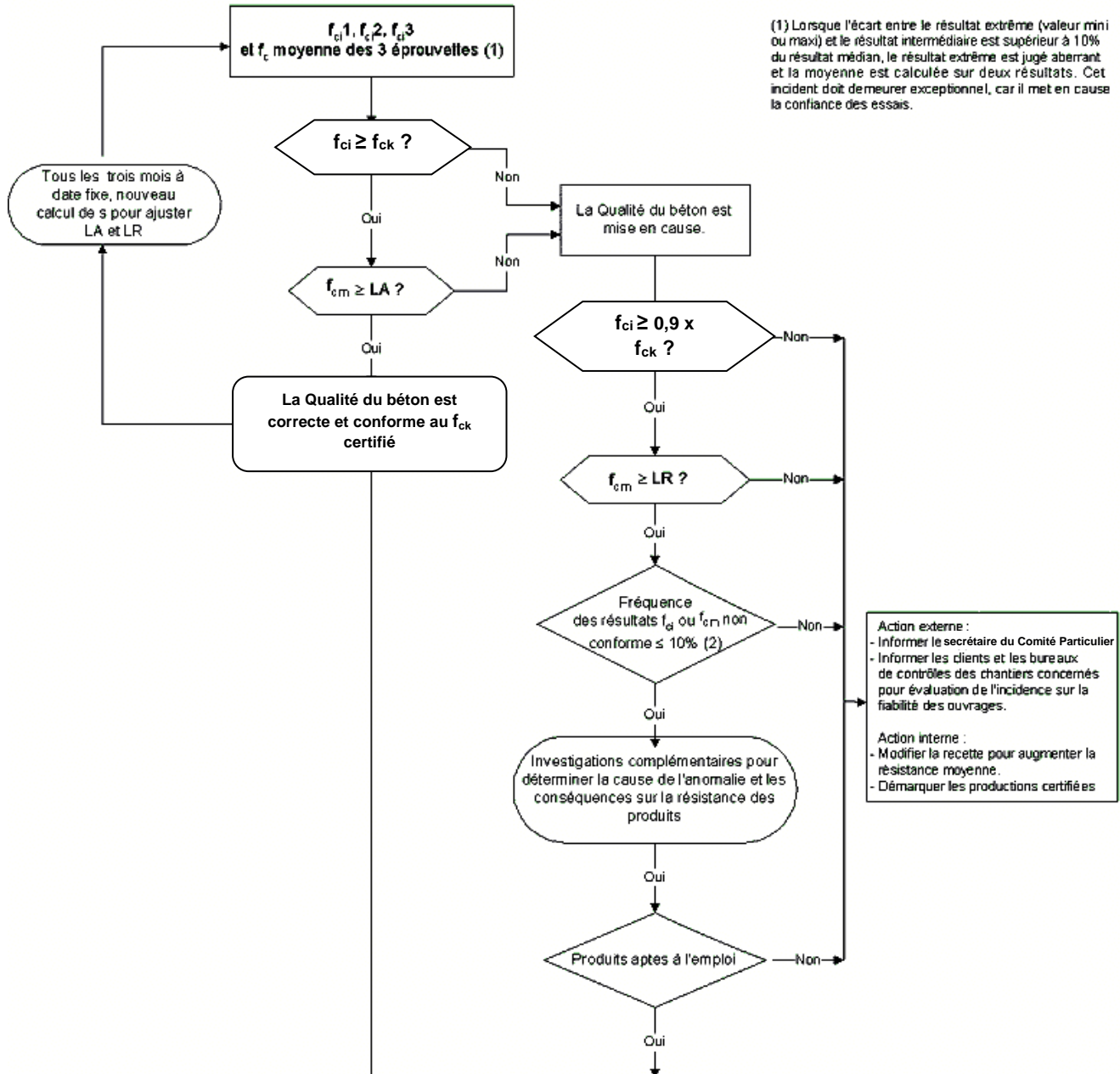
Période de démarrage

N_i	30	35	40	45	60	90
$k2$ (m et σ inconnus)	2,22	2,17	2,13	2,09	2,02	1,94
$Q'0 = k2 \cdot (1,96 / \sqrt{3})$	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 de 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.