

# ÉLÉMENTS RÉSISTANTS DE STRUCTURE EN BÉTON

## Prédalles en béton précontraint

### Document Technique

#### DT 02-02

Document Technique DT 02-02 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 02-02

## Table des matières

<b>1. Contrôles des matières premières</b> .....	<b>4</b>
1.1 Inserts de levage .....	4
<b>2. Contrôles en cours de fabrication</b> .....	<b>4</b>
2.1 Armatures passives.....	4
2.1.1 Positionnement .....	4
2.2 Armatures actives pour béton précontraint.....	5
2.2.1 Mise en tension .....	5
2.2.2 Détension des armatures.....	6
2.2.3 Rentrée des armatures.....	6
2.2.4 Coupe des armatures après détension.....	6
2.3 Béton.....	6
2.3.1 Matériel de fabrication .....	7
2.3.2 Confection du béton.....	7
2.3.3 Manutention et mise en place du béton .....	7
2.3.4 Contrôle du béton frais.....	7
2.3.5 Traitement thermique du béton .....	7
2.3.6 Résistance en compression à la détension des armatures.....	8
<b>3. Contrôles des produits finis</b> .....	<b>10</b>
3.1 Caractéristiques géométriques.....	10
3.1.1 Géométrie béton.....	10
3.1.2 Géométrie des armatures visibles .....	10
3.2 Fissurations.....	11
3.3. Justification de la résistance du béton à 28 jours, $f_{ck}$ .....	11

## 1. Contrôles des matières premières

### 1.1 Inserts de levage

Les inserts de levage doivent être conformes aux spécifications du chapitre VIII.2.2 du Fascicule 65 ou système visé dans un DTU, un Avis Technique ou à toute évaluation technique collégiale d'un procédé de construction.

Ils sont en acier rond lisse de nuance B 235 ou système visé dans les Avis Techniques (ou DTA) des produits.

Le fabricant conserve dans ses registres les bordereaux de livraison des fabricants.

Les inserts de levage doivent être employés selon le cahier des charges du fabricant et conformes aux stipulations de l'OPPBTP (fiches pratiques) lorsqu'elles existent.

L'emplacement théorique des boucles et inserts de levage, forme et diamètre, doit être indiqué sur la fiche de fabrication.

Les spécifications techniques des inserts de levage doivent être vérifiées (matériaux, dimensions géométriques, tolérances...)

## 2. Contrôles en cours de fabrication

### 2.1 Armatures passives

#### 2.1.1 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 et/ou raidisseurs métalliques incorporés aux prédalles :

- ± 10 cm en longitudinale
  - ± 10 cm en transversale
  - ± 5 cm en verticale

- Armatures de répartition, aciers de couture et boucles de levage :

Le contrôle consiste à vérifier une fois par jour, sur une prédalle au moins, si leur nombre est suffisant et si leur positionnement et leur fixation sont corrects.

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

### 2.2.1 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.

### 2.2.2 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'OPPBTP lorsqu'elles existent) doivent être respectées.

### 2.2.3 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 :

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

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

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

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

### 2.2.4 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.

Les tolérances sur le dépassement des aciers seront de  $\pm 20$  mm sauf prescription particulière sur les plans d'exécution.

## 2.3 Béton

### **2.3.1 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).

### **2.3.2 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.

### **2.3.3 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.

### **2.3.4 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 utilisées.

### **2.3.5 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.



### 2.3.6 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 :

	<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

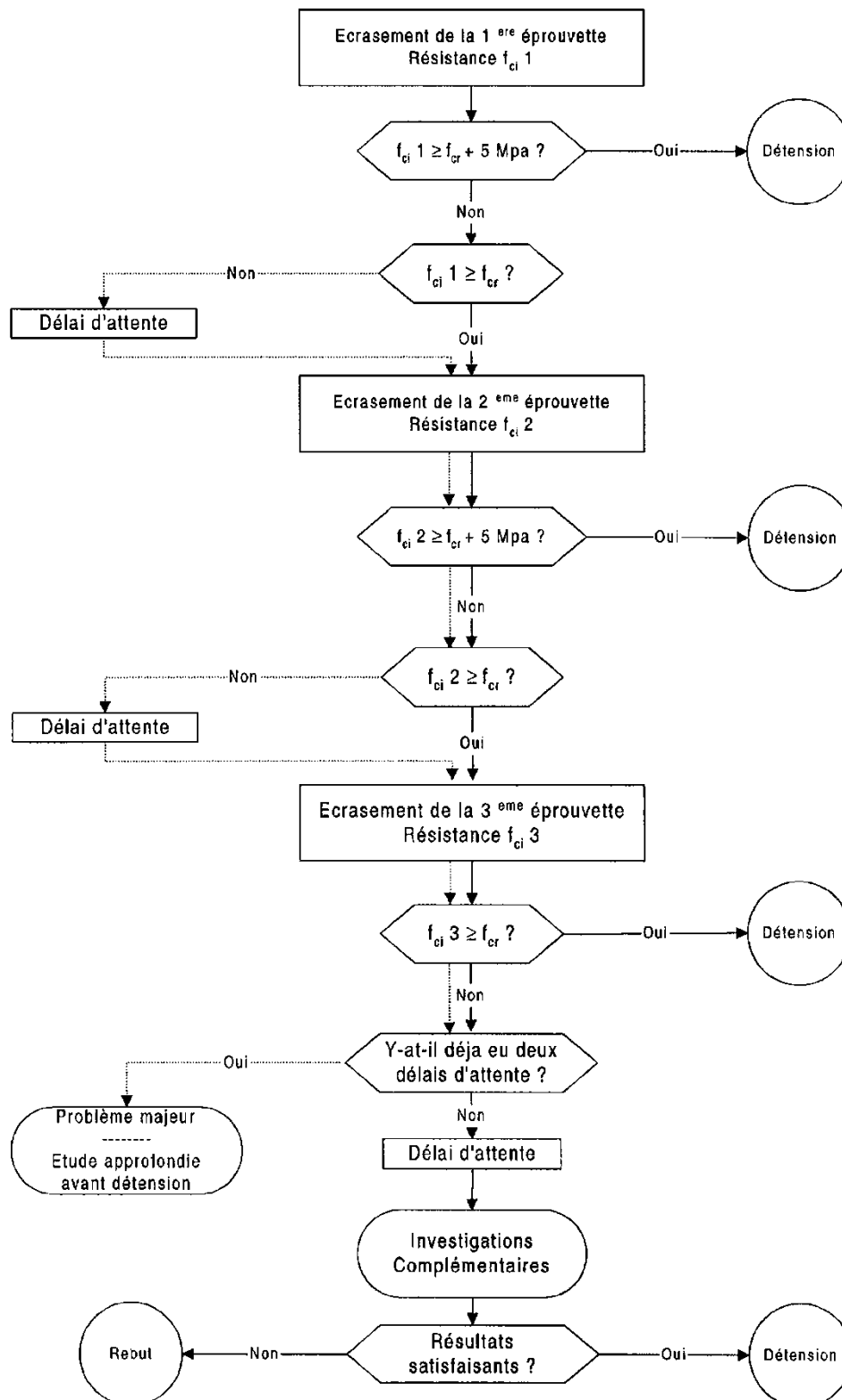
Les résistances obtenues sur chaque éprouvette sont appelées  $f_{ci}$  en MPa.

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 et à la résistance minimale à la compression obtenue selon les prescriptions du § 4.2.3.2.3 de la NF EN 13747.

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. Contrôles des produits finis

Un contrôle est effectué sur un produit par jour en alternant les bancs s'il y a lieu.

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

#### 3.1 Caractéristiques géométriques

##### 3.1.1 Géométrie béton

Mesures sur le produit	Tolérances Prédalle standard	Tolérances Prédalle démodulée
Longueur sur deux cotés	$\pm 20$ mm	$\pm 20$ mm
Equerrage et diagonales	$\pm 20$ mm	$\pm 20$ mm
Largeur sur les 2 abouts pour une prédalle	$\pm 10$ mm	$\pm 20$ mm
Epaisseur sur chaque rive à proximité des abouts et à mi-portée de chaque côté	chaque valeur $\leq \pm 10$ mm Moyenne $\pm 5$ mm	chaque valeur $\leq \pm 10$ mm Moyenne $\pm 5$ mm
Dimensions et positions des trémies	$\pm 30$ mm	$\pm 30$ mm
Rugosité de surface	Appréciation En fonction de l'échantillon témoin	Appréciation En fonction de l'échantillon témoin
Rectitude des bords droits par rapport à la droite joignant leurs extrémités	$\pm 5$ mm	$\pm 10$ mm

##### 3.1.2 Géométrie des armatures visibles

Mesures sur le produit	Tolérances (la plus exigeante lorsqu'il y a 2 possibilités)
Armatures de précontrainte	
verticalement	$\pm 3$ mm
dépassements	$\pm 20$ mm
Armatures passives	
Armatures longitudinales ou treillis raidisseurs	
longitudinalement	$\pm 100$ mm
transversalement	$\pm 100$ mm
verticalement	$\pm 5$ mm
dépassements	$\pm 20$ mm
Armatures de coutures	
nature	Conformité au plan
Positionnement	Conformité au plan
Boucles de levage	
Positionnement prescrit par le BE	$\pm 100$ mm
Nature et diamètre	Conformité au plan

## 3.2 Fissurations

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. Justification de la résistance du béton 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 prédalles. 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-dessous :

	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 :  $f_{ck} / 0,9 \times f_{ck} / LR / LA$  (qui sont celles obtenues dans le trimestre précédent (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
$k_1$ (m inconnu, $\sigma$ connu)	1,95	1,92	1,91	1,89	1,86	1,82
$q = k_1 - (1,64 / \sqrt{3})$	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  $f_{cm} \geq f_{ck} + q_0 \cdot s$ , avec  $s$  l'écart type des 3 mois de contrôles envoyés pour l'instruction et  $q_0$  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. (les valeurs pour d'autres  $n_i$  sont données dans la norme NF X 06-032 en vigueur).

### 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
$q_0 = k_2 - (1,64 / \sqrt{3})$	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  $\sigma$ .  $\sigma$  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

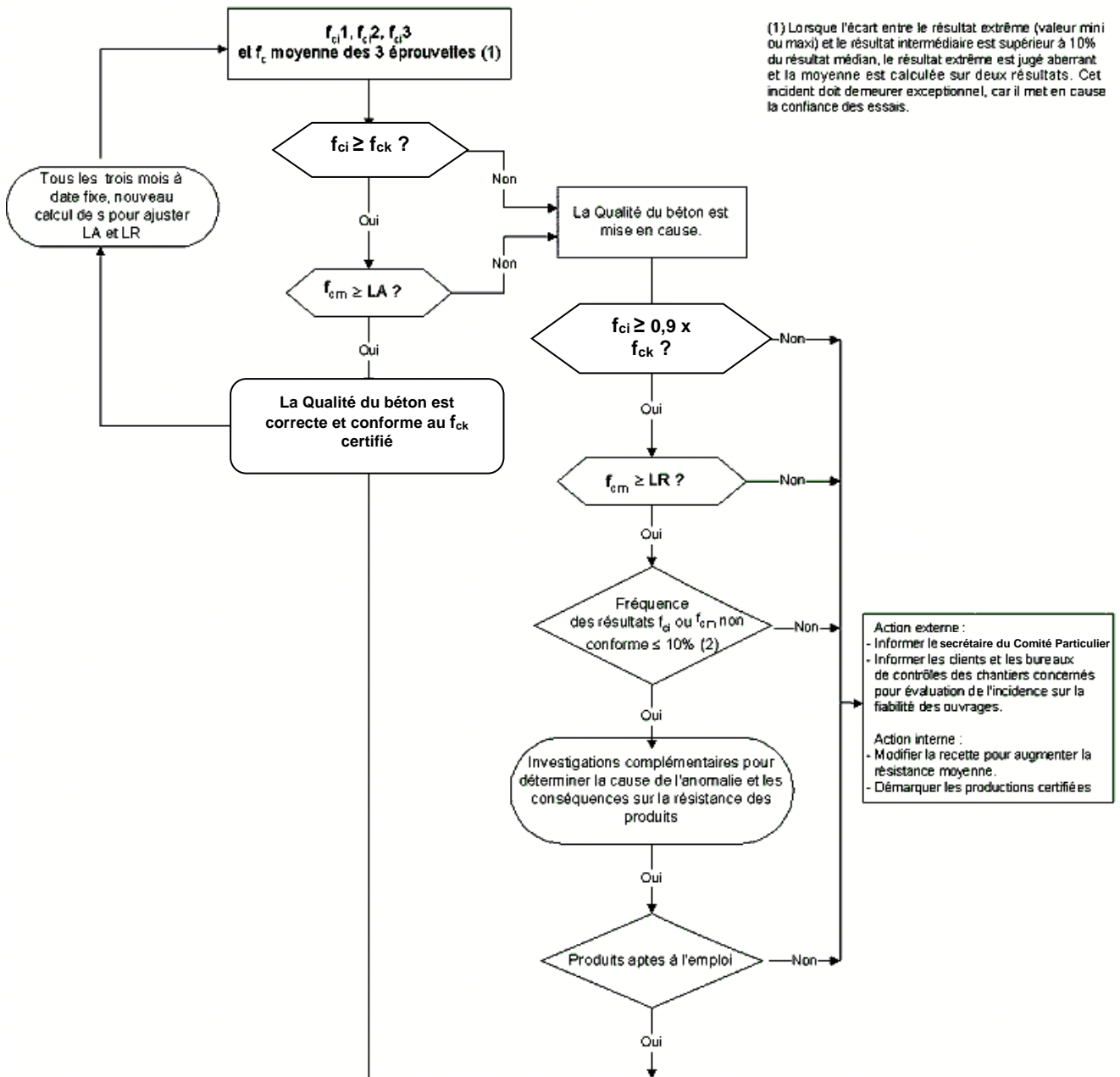
**Nota** : en période de démarrage et lors de l'instruction on exige  $f_{ci} \geq f_{ck}$  et  $f_{cm} \geq f_{ck} + q'_0 \cdot s$ , avec  $s$  écart type des 3 ou 6 mois de contrôles envoyés pour l'instruction et  $q'_0$  dépend du nombre  $n_i$  d'éprouvettes confectionnées dans la classe du béton considéré.

**Période de démarrage**

ni	30	35	40	45	60	90
k2 (m et $\sigma$ inconnus)	2,22	2,17	2,13	2,09	2,02	1,94
$q'0 = k2 - (1,96 / \sqrt{3})$	1,09	1,04	1,00	0,96	0,89	0,81

- Si  $f_{ci} \geq 0,9 \times f_{ck}$  ou  $f_{cm} \geq f_{ck} + q'.\sigma$  (limite de refus LR) n'est pas vérifié :
  - l'information doit être transmise au rapporteur du Comité Particulier de certification QB02 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.