

ÉLÉMENTS RÉSISTANTS DE STRUCTURE EN BÉTON

Dalles alvéolées en béton précontraint

Document Technique DT 02-03

Document Technique DT 02-03 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 02-03

TABLE DES MATIERES

1.	Contrôles sur les matières premières	4
1.1	Inserts de levage	4
2.	Contrôles en cours de fabrication	4
2.1	Armatures actives pour béton précontraint.....	4
2.1.1	Mise en tension	4
2.1.2	Détension des armatures.....	5
2.1.3	Rentrée des armatures	5
2.1.4	Coupe des armatures après détension.....	6
2.2	Béton.....	6
2.2.1	Matériel de fabrication.....	6
2.2.2	Confection du béton.....	6
2.2.3	Manutention et mise en place du béton	7
2.2.4	Contrôle du béton frais	7
2.2.5	Traitement thermique du béton	7
2.2.6	Résistance en compression à la détension des armatures	7
3.	Contrôles sur les produits finis	10
3.1	Caractéristiques géométriques.....	10
3.1.1	Modalités	10
3.1.2	Exigences.....	10
3.1.3	Interprétation.....	10
3.2	Section transversale	11
3.2.1	Modalités	11
3.2.2	Exigences.....	11
3.2.3	Fissuration	11
3.3	Justification de la résistance garantie du béton à 28 jours, f_{ck}	12

1. Contrôles sur les 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 Techniques ou à toute évaluation technique collégiale d'un procédé de construction.

Elles 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'OPPBT (fiches pratiques) lorsqu'elles existent.

L'emplacement théorique des 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 actives pour béton précontraint

2.1.1 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'OPPBT 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.

2.1.2 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.

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

2.1.4 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 ± 20 mm sauf prescription particulière sur les plans d'exécution.

2.2 Béton

2.2.1 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).

2.2.2 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.

2.2.3 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.

2.2.4 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.

2.2.5 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.

2.2.6 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 :

	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

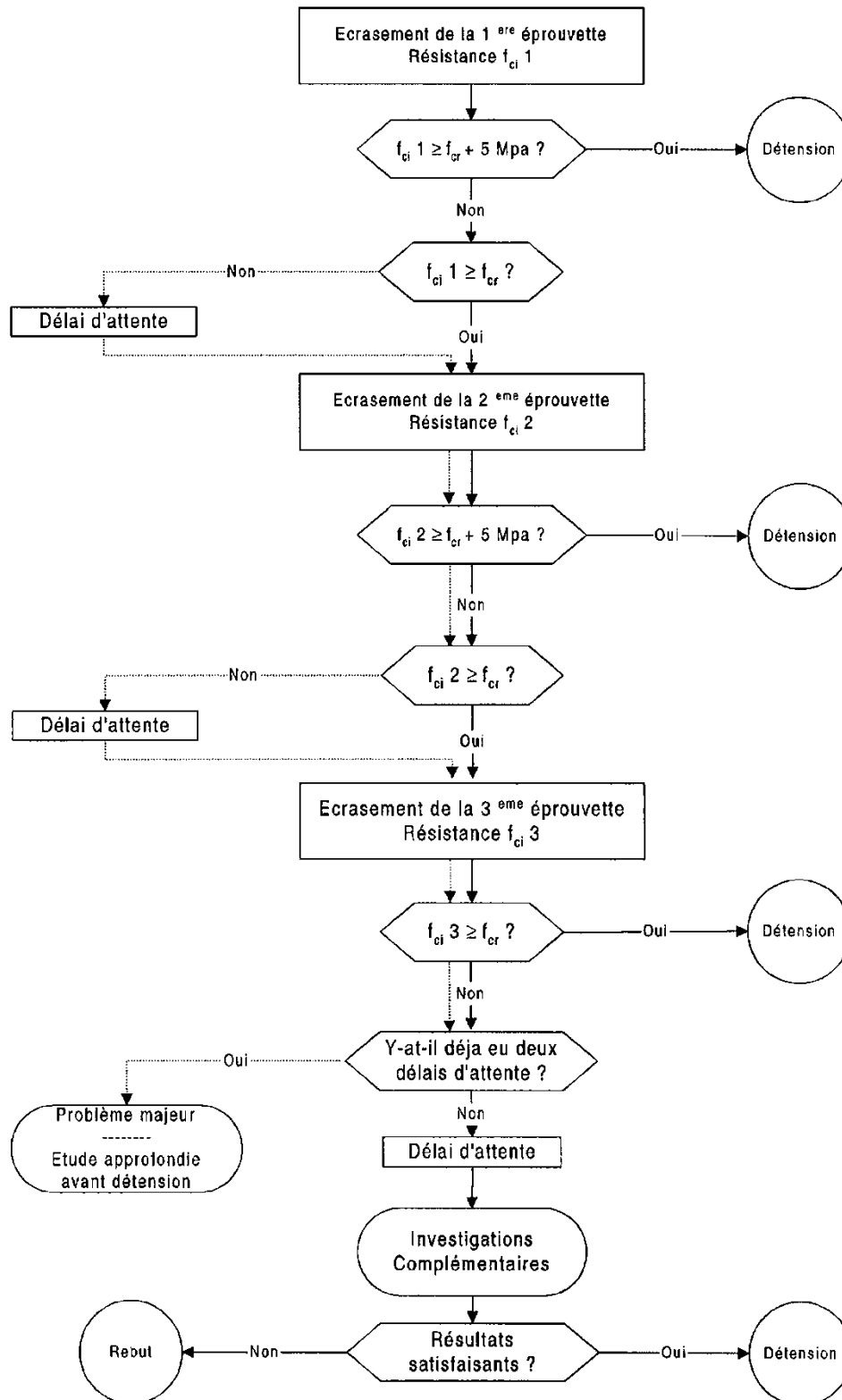
Les résistances obtenues sur chaque éprouvette sont appelées f_{ci} en MPa.

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 1168 en vigueur.

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 sur les produits finis

3.1 Caractéristiques géométriques

3.1.1 Modalités

Les vérifications à effectuer sont :

- a) la hauteur mesurée au droit d'une nervure intermédiaire ;
- b) la largeur supérieure mesurée près des extrémités ;
- c) la largeur inférieure mesurée à chaque extrémité ;
- d) la longueur mesurée en partie inférieure ;
- e) la longueur du dépassement des armatures en mesurant celui qui paraît le plus court ;
- f) l'implantation et les dimensions des réservations.
- g) les hauteur, largeur d'ouverture, espacement et profondeur des crans verticaux des flancs des éléments qui en sont pourvus.

Les mesures demandées en a) et b) sont effectuées à quelques centimètres des extrémités sans dépasser 30 cm, dans le cas d'une coupe sur béton frais, afin de s'affranchir de la zone localement perturbée par celle-ci.

3.1.2 Exigences

Les tolérances dimensionnelles suivantes doivent être respectées :

- sur la largeur (supérieure et inférieure): ± 10 mm
- sur la longueur: ± 20 mm
- sur la hauteur h :
 - o en plus $h/40$ sans dépasser 5 mm
 - o en moins : 5 mm

- sur la longueur de dépassement des armatures : - 10 % (aucune limitation en plus)

En outre, les nervures intermédiaires ne doivent présenter, à aucun niveau, une épaisseur effective inférieure à 25 mm.

- sur les hauteurs, largeur d'ouverture et espacement des crans verticaux des flancs des éléments qui en sont pourvus : ± 10 % sans excéder ± 5 mm. En outre la profondeur effective de ces crans ne doit pas être inférieure à 8 mm.

3.1.3 Interprétation

En cas de résultats hors tolérances, des vérifications complémentaires doivent être effectuées sur des dalles de même banc coulé.

Les dalles fabriquées hors tolérances (particulièrement en hauteur) doivent être recalculées avant utilisation.

Concernant le crantage latéral des flancs pour montages parasismiques, un dépassement des tolérances sur la hauteur, ou sur la largeur d'ouverture, ou sur l'espacement des crans doit être sanctionné par une diminution du VRd. Les éléments dont la profondeur effective des crans serait inférieure à 8 mm ne peuvent pas être utilisés en montage parasismique.

3.2 Section transversale

3.2.1 Modalités

Sur chaque dalle prélevée, on relève à une des extrémités la position (axe de l'armature, c'est-à-dire enrobage plus un 1/2 diamètre) de toutes les armatures par rapport à la face inférieure.

Chaque mois, un échantillon de chaque profil de dalle fabriquée est prélevé par sciage de façon à obtenir une tranche lisse.

Les vérifications à effectuer sur chaque échantillon portent sur :

- a) l'examen de la compacité du béton, table haute et basse, nervures ;
- b) la mesure de l'épaisseur de chaque nervure ;
- c) le cumul des épaisseurs des nervures (suivant la ligne de moindre résistance) ;
- d) l'enrobage des armatures.

Les cotes d'enrobage (d1, d3 et d4), définies à l'article A.101,4 du titre III du CPT « PLANCHERS » doivent être relevées pour chacune des armatures.

3.2.2 Exigences

- sur la position verticale du barycentre des armatures: $\pm h/40$
- sur l'épaisseur des nervures de rive : - 10 % (aucune limitation en plus)
- sur le cumul des épaisseurs des nervures (largeur de moindre résistance) : - 5 % (aucune limitation en plus)
- sur l'enrobage des armatures : les valeurs minimales effectives prescrites à l'article A.101.4 du titre III du CPT « PLANCHERS ». Les distances d'enrobage données par les tableaux de l'article A.101.42 sont des valeurs effectives, toutes tolérances épuisées. Il est toutefois admis qu'une armature par dalle alvéolée ne respecte pas accidentellement les prescriptions de cet article en ce qui concerne les distances d_i qui lui sont attachées. Cette situation est acceptable tant que l'écart par rapport aux valeurs prescrites n'excède pas 10 % de ces dernières (écart arrondi au mm supérieur).

3.2.3 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 Justification de la résistance garantie 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 dalles.

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 individuelles 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 $f_{cm} \geq f_{ck} + q_0 \cdot s$, avec s écart type des 3 mois de contrôles envoyés pour l'instruction.

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.

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
$q_0 = k2 - (1,64 / \sqrt{3})$	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
k_1 (m inconnu, σ 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 $f_{cm} \geq f_{ck} + q'0.s$, 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.

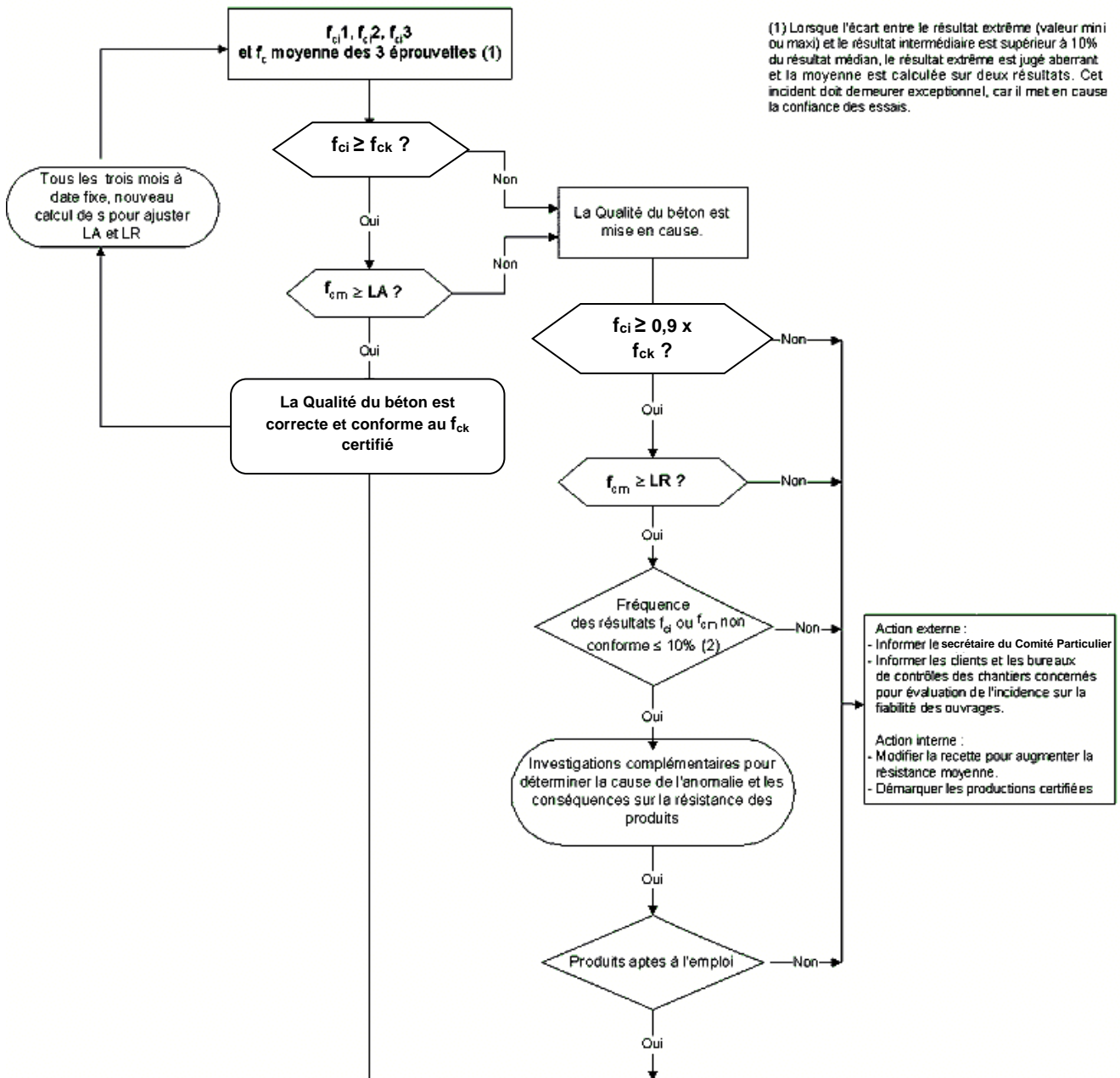
Période de démarrage

N_i	30	35	40	45	60	90
k_2 (m et σ 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 rapporteur 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.