

FICHE CERTIFICATION DES PRODUITS ET DES ENTREPRISES

N° 353 - DERNIÈRE MODIFICATION LE 30/05/2021 PAR CJG

Auteur : Yann Rouillé

CARTE DE CONTRÔLE DES RÉSISTANCES MÉCANIQUES À 28 JOURS (f_{ck}) DES PRODUITS DE STRUCTURE EN BÉTON ARMÉ ET EN BÉTON PRÉCONTRAIT

Modifications par rapport à la précédente édition : remplacement de la marque CSTBat par la marque QB ; Actualisation des définitions extraites de la norme NF EN 13369, suppression de la référence à la fiche 67.

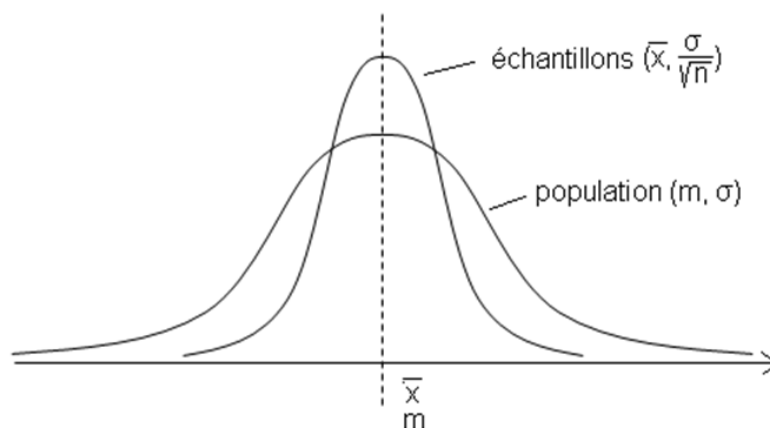
OBJET

L'objet de la présente fiche est de détailler les règles d'utilisation de la carte de contrôle pour le suivi de la résistance caractéristique en compression du béton à 28 jours f_{ck} des produits de structure en béton armé et en béton précontraint dans le cadre :

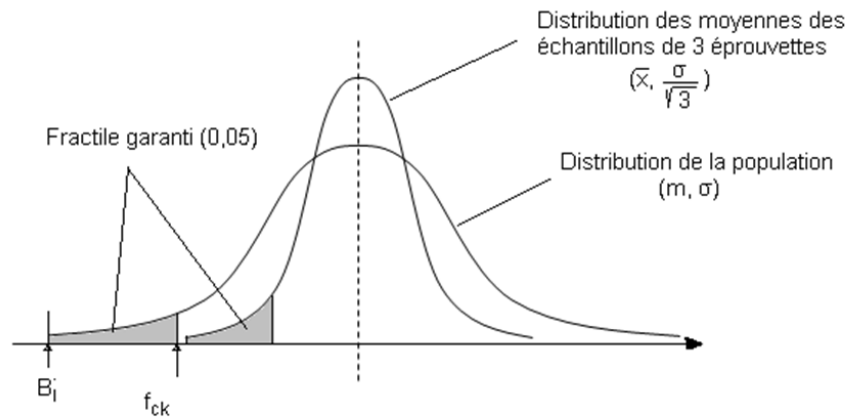
- Du marquage réglementaire CE
- De la certification volontaires NF

PRINCIPE

Considérons une population ayant pour la grandeur x une répartition normale de moyenne m et d'écart type σ . Si nous y prélevons plusieurs échantillons de taille n , les valeurs moyennes \bar{x} de chacun de ces échantillons se répartissent selon une loi normale de même moyenne m et d'écart type $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$



L'application de cette propriété de la loi normale au suivi de la résistance du béton à 28 jours permet de vérifier rapidement (c'est-à-dire dès l'obtention des résultats de chaque série d'essais de 3 éprouvettes) que la résistance du béton est stable (formulation de béton, processus de production, méthode d'essai).



DÉFINITIONS

(Extraites de la norme NF EN 13369:2018)

Résistance potentielle du béton

Résistance du béton à la compression déduite d'essais sur éprouvettes cubiques ou cylindriques moulées et protégées contre la dessiccation dans les conditions de laboratoire conformément à l'EN 12390-2 Résistance du béton telle que déduite d'essais sur des éprouvettes cubiques ou cylindriques conformes à l'EN 12390-3, confectionnées et conservées dans des conditions de laboratoire conformément à l'EN 12390-2.

Résistance structurale directe

Résistance du béton à la compression déduite d'essais sur éprouvettes (carottes ou éprouvettes parallélépipédiques obtenues par découpage) prélevées sur le produit préfabriqué en béton. Résistance du béton telle que déduite d'essais sur éprouvettes prélevées sur le produit fini (carottes ou éprouvettes parallélépipédiques obtenues par découpage).

Résistance structurale indirecte

Résistance du béton à la compression déduite d'essais sur des éprouvettes moulées protégées contre la dessiccation dans les mêmes conditions ambiantes que celles du produit lui-même. Résistance du béton telle que déduite d'essais sur éprouvettes normalisées (comme pour la résistance potentielle) mais protégées contre la dessiccation dans les conditions de l'usine, aussi près que possible du produit de structure considéré.

Résistance caractéristique

Valeur de la résistance en dessous de laquelle 5 % de toutes les déterminations possibles de la résistance du volume de béton considéré sont attendues se trouver.

NOTATIONS

f_{ci} : résistance individuelle obtenue à 28 jours sur une éprouvette dans le cadre du contrôle continu

f_{cj} : moyenne arithmétique des résistances d'un échantillon ; un échantillon étant composé de 3 éprouvettes

$$f_{cj} = (f_{c1} + f_{c2} + f_{c3})/3$$

N : nombre total d'éprouvettes sur une période considérée (ex. $N = 30$ au bout de 10 échantillons prélevés) ;

- Pour que l'estimation soit significative, il est préférable que $N \geq 30$;
- Pour qu'elle soit représentative il ne faut éliminer aucun résultat individuel f_{ci} (excepté les éventuels résultats aberrants, dont la fréquence doit être très faible, voir ci-après dans la partie Etablissement et interprétation de la carte de contrôle) ;
- Dans le cas de production de petites séries, N peut être limité à 15.

f_{cm} : moyenne arithmétique de N résultats individuels f_{ci}

σ : écart type des résistances à 28 jours de l'ensemble de la production (une formulation de béton) sur une période considérée

; σ est estimé par s

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_{ci} - f_{cm})^2}{N - 1}}$$

s : écart-type de l'ensemble des éprouvettes sur la période considérée

f_{ck} : résistance caractéristique déclarée du béton à 28 jours, garantie en période courante (écart type connu)

$$f_{ck} = f_{cm} - k1.s$$

f_{cv} : valeur visée en période de démarrage (écart type inconnu)

$$f_{cv} \leq f_{cm} - k2.s$$

B_i : borne inférieure applicable aux résultats f_{ci}

LA : limite d'acceptation des moyennes, fixée au fractile 5 % des moyennes

LR : limite de rejet des moyennes, fixée au fractile 2,5 % des moyennes

	LA	LR	B_i
Période de démarrage	$LA = f_{cv} + q_0.s$	$LR = f_{cv} + q'_0.s$	$B_i = 0,9.f_{cv}$
Période courante	$LA = f_{ck} + q.s$	$LR = f_{ck} + q'.s$	$B_i = 0,9.f_{ck}$

TABLE DES COEFFICIENTS

Les coefficients donnés dans la table ci-après correspondent à :

- Un fractile de 0,05 (soit une garantie de 95 % des résistances supérieures à f_{ck}),
- Avec une probabilité de 95 % (il y a une garantie de 95 % que l'estimation de m et σ , donc de f_{ck} , à partir de l'échantillonnage soit juste)

N (nombre total d'éprouvettes)	15	20	25	30	35	40	45	50	60
Période de démarrage : Écart type inconnu									
k_2	2,57	2,40	2,29	2,22	2,17	2,13	2,09	2,07	2,02
q_0	1,62	1,45	1,34	1,27	1,22	1,18	1,14	1,12	1,07
q'_0	1,44	1,27	1,16	1,09	1,04	1,00	0,96	0,94	0,89
Période courante : Écart type connu									
k_1	2,07	2,01	1,97	1,95	1,92	1,91	1,89	1,88	1,86
q	1,12	1,06	1,02	1,00	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91
q'	0,94	0,88	0,84	0,82	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73

MODALITÉS PARTICULIÈRES À LA CERTIFICATION NF

- 1- La résistance certifiée est la résistance structurale indirecte caractéristique, déterminée par essais sur cylindre 16 x 32 cm pour le fractile 0,05 ;
- 2- Si l'essai est réalisé à partir d'autres formats que le cylindre 16 x 32 cm, il y a lieu de corriger le résultat sur la base des coefficients du tableau ci-après (NB : la résistance obtenue sur cylindre 16 x 32 cm est équivalente à celle mesurée sur cylindre 15 x 30 cm, soit un coefficient de conversion égal à 1) ;
- 3- Les éprouvettes sont conservées à l'extérieur du laboratoire jusqu'à 27 jours d'âge dans un bac à sec (surface du bac > double de celle des éprouvettes et hauteur du bac < 1,5 fois celle des éprouvettes) puis dans le laboratoire 24 heures avant l'essai ;
- 4- La fréquence des essais est d'un échantillon de 3 éprouvettes par semaine et par type de béton.

Coefficients de conversion entre formats d'éprouvettes :

Ces coefficients sont applicables pour des bétons de résistance $f_{c28} \leq 60$ MPa (et légèrement pénalisants pour des bétons de résistance supérieure)

Cubes (cm)	Rapport f_c cylindre 16 x 32 / f_c cube
10 x 10	0,90
14,1 x 14,1	0,92
15 x 15	0,925
15,8 x 15,8	0,93
20 x 20	0,95
Cylindres (d x h, cm)	Rapport f_c cylindre 16 x 32 / f_c cylindre
11 x 22	1,02
15 x 30	1,00

ÉTABLISSEMENT ET INTERPRÉTATION DE LA CARTE DE CONTRÔLE

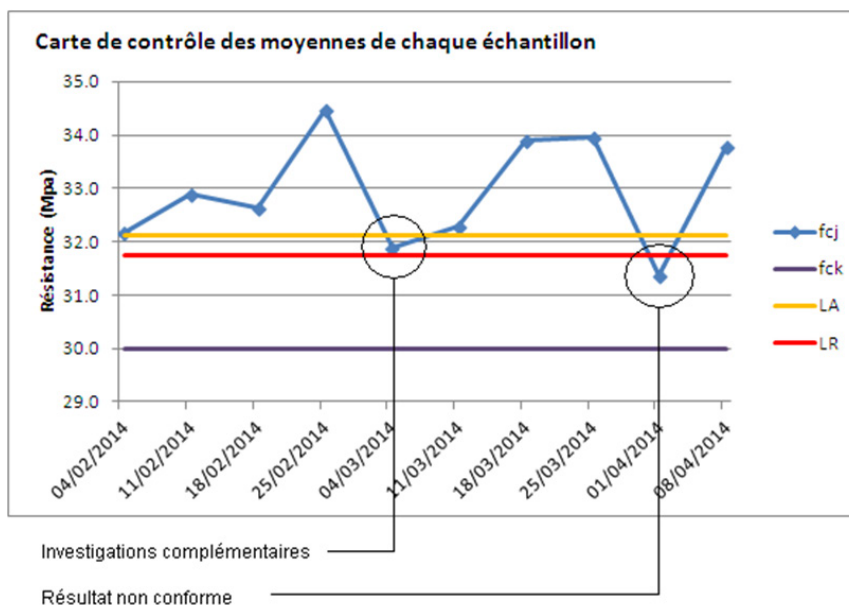
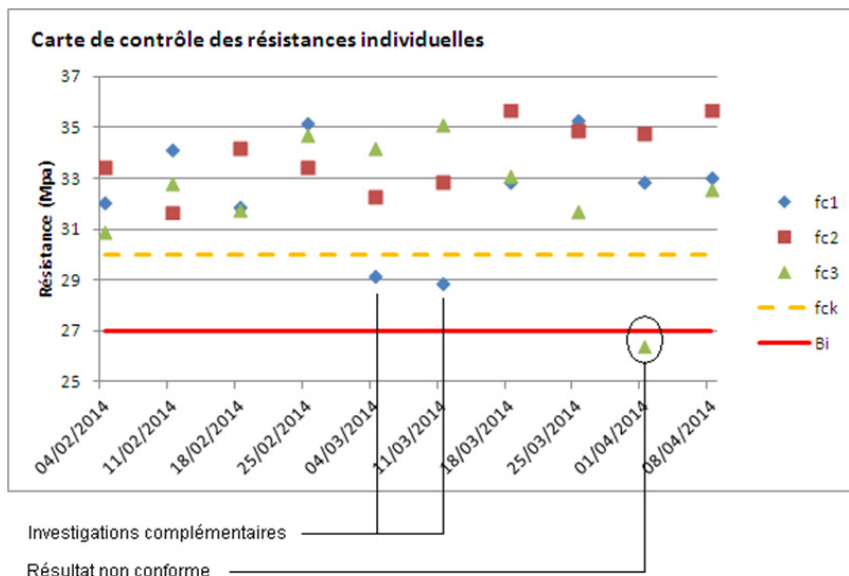
La carte de contrôle est établie de manière à vérifier respectivement la conformité :

- Des résultats individuels f_{ci} par rapport à B_i
- Des moyennes f_{cj} de chaque prélèvement par rapport à L_A et L_R

Un prélèvement ne peut être déclaré conforme que si les deux conditions sont satisfaites simultanément.

Lorsque l'écart entre l'un des résultats extrêmes (valeur mini ou maxi) et le résultat intermédiaire est supérieur à 10 % de la moyenne des trois, le résultat extrême est jugé aberrant et la moyenne est recalculée sur les deux autres résultats. Cet incident doit demeurer exceptionnel, car il met en cause la confiance dans les essais.

NB : pour une meilleure lisibilité, il est préférable de séparer les deux graphiques



PÉRIODE DE DÉMARRAGE (ÉCART TYPE INCONNU)

À cette étape, f_{ck} est définie a priori selon l'expérience de l'usine. C'est une f_{ck} «visée», notée f_{cv} pour la distinguer de la f_{ck} garantie par la suite.

Lors de chaque série d'essais, l'usine compare ses trois résultats individuels f_{ci} avec f_{cv} et B_i .

Au terme d'une période de trois mois, et sous réserve que le nombre de résultats individuels soit ≥ 30 (ou ≥ 15 dans le cas de petites séries), et après élimination des résultats aberrants éventuels comme indiqué ci-avant, l'usine calcule l'écart-type, détermine f_{ck} réelle et les limites L_A et L_R par rapport à f_{cv} . Elle fait ensuite un contrôle à rebours des moyennes f_{cj} en les comparant aux limites L_A et L_R .

Elle vérifie que la dispersion obtenue est compatible avec f_{cv} visée (cf. logigramme ci-après).

Si la compatibilité est acquise :

- Soit l'usine considère qu'elle a identifié sa dispersion ; auquel cas f_{cv} devient la valeur garantie f_{ck} et l'usine en demande la certification ; durant cette phase de précertification, l'écart-type étant réputé connu, l'usine adopte les valeurs L_A et L_R calculées avec les coefficients k_1 , q et q' (cf. période courante ci-après)
- Soit l'usine décide d'appliquer à blanc la carte de contrôle sur une nouvelle période de trois mois avant de considérer que f_{ck} est stable ; dans ce cas, l'écart-type étant réputé inconnu, l'usine utilise les valeurs L_A et L_R qu'elle a déjà calculées

Si la compatibilité n'est pas acquise, l'usine analyse ses résultats pour identifier :

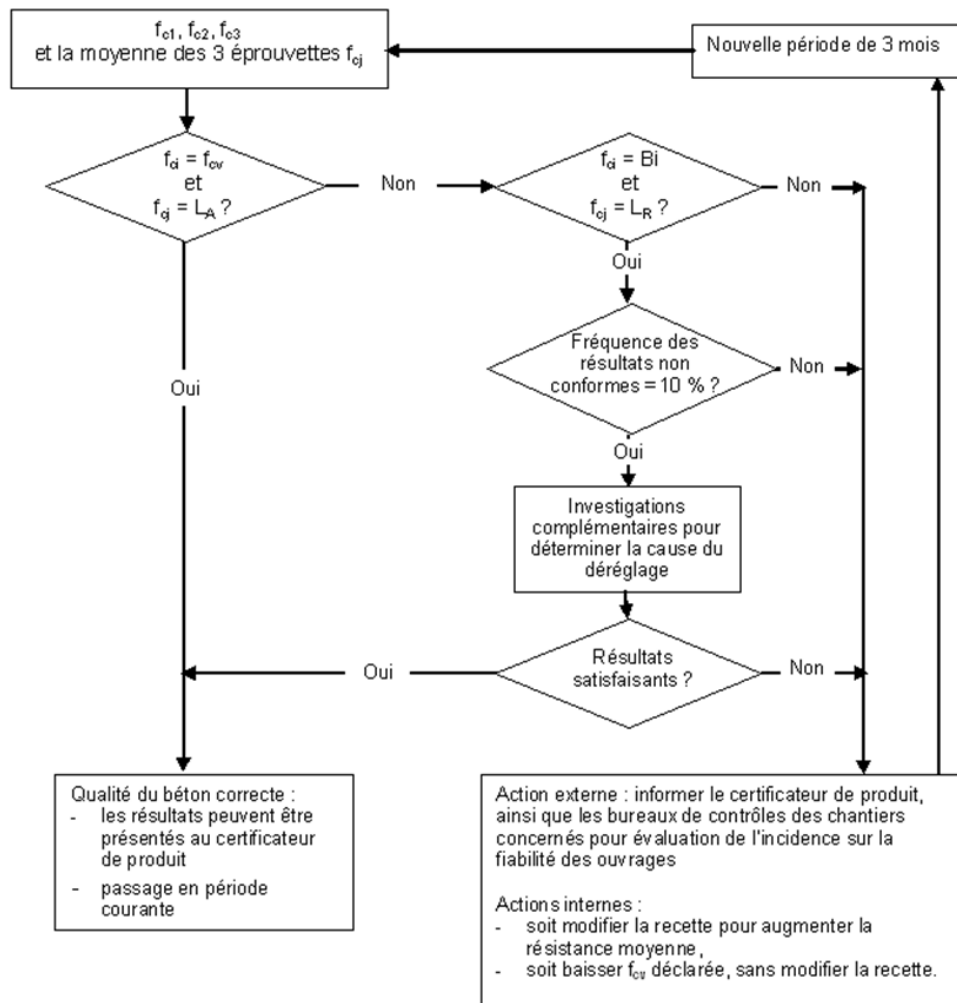
- S'il s'agit d'un problème de moyenne visée trop faible ou d'une dispersion trop forte
- Si les causes d'anomalies sont exceptionnelles ou non

Si $B_i \leq f_{ci} < f_{cv}$ ou $L_R \leq f_{cj} < L_A$, il y a un doute sur la qualité du béton. Ce cas est admissible à la double condition :

- Que la fréquence de ces non conformités soit inférieure à 10 % de l'ensemble des essais de la période considérée (soit pour $N = 30 : NC \leq 3$) ;
- Que les résultats des investigations complémentaires permettent de conclure d'une part que les produits demeurent aptes à l'usage prévu et d'autre part que l'anomalie est corrigée.

En fonction de ces analyses, l'usine décide d'actions correctives et applique la carte de contrôle sur une nouvelle période de trois mois.

La démarche applicable en période de démarrage est récapitulée dans le logigramme suivant :



PÉRIODE COURANTE (ECART TYPE CONNU)

À l'issue de la période de démarrage et lorsque f_{ck} est définie, l'écart type est réputé connu et les valeurs limites B_i , L_A et L_R sont calculées par rapport à f_{ck} .

Dans un premier temps, il faut vérifier que les nouvelles valeurs de B_i , L_A et L_R ne remettent pas en cause la conformité des résultats de la période précédente.

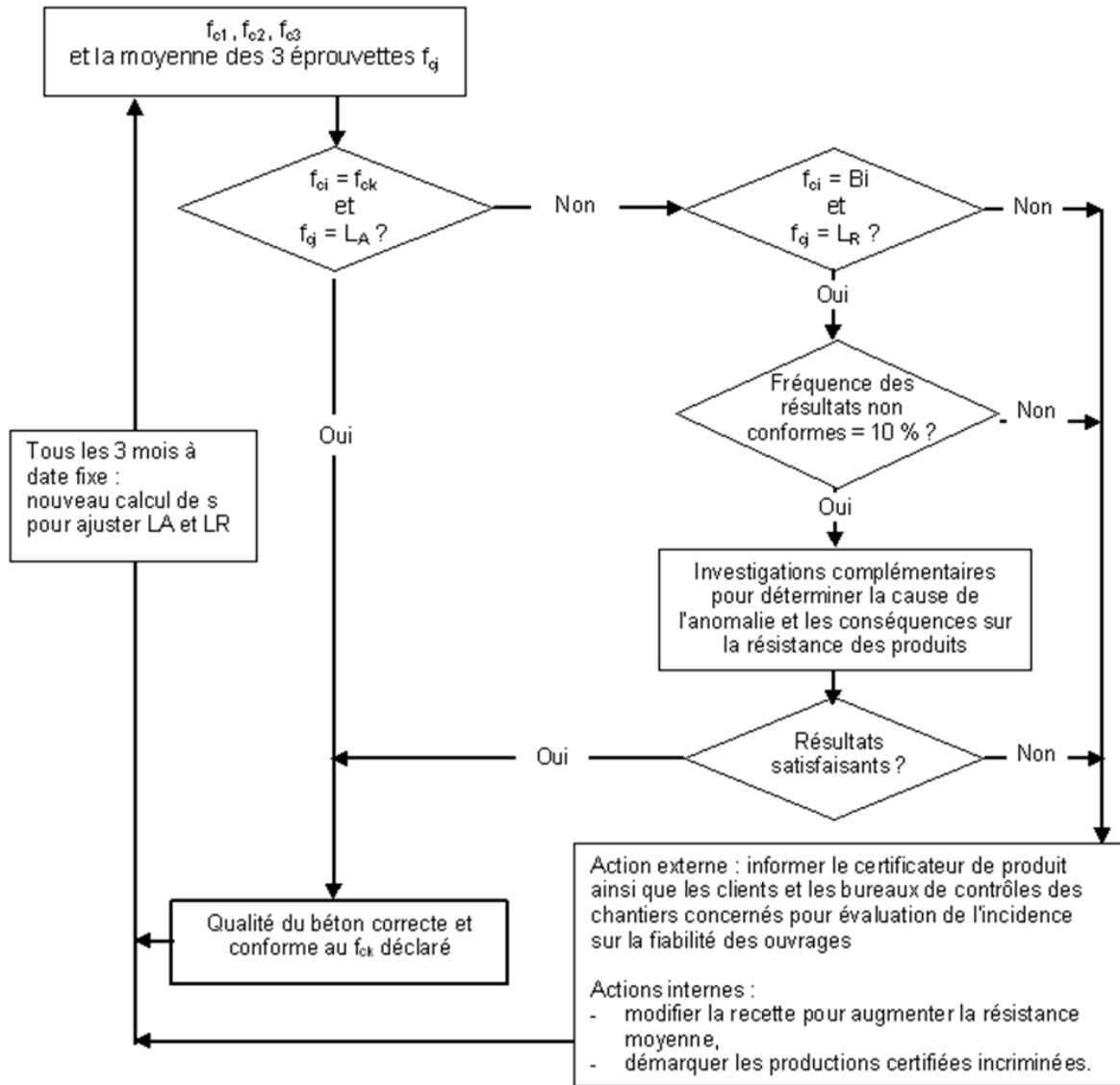
Pour les périodes suivantes, les résultats individuels sont comparés à B_i et les moyennes à L_A et L_R .

Si $B_i \leq f_{ci} < f_{ck}$ ou $L_R \leq f_{cj} < L_A$, il y a un doute sur la qualité du béton. Ce cas est admissible à la double condition :

- Que la fréquence de ces non conformités soit inférieure à 10 % de l'ensemble des essais de la période considérée (soit pour $N = 30 : NC \leq 3$) ;
- Que les résultats des investigations complémentaires permettent de conclure d'une part que les produits demeurent aptes à l'usage prévu et d'autre part que l'anomalie est corrigée.

L'écart type est recalculé à la fin de chaque période de trois mois. En cas d'augmentation, L_A et L_R doivent être recalculés.

La démarche applicable en période courante est récapitulée dans le logigramme suivant :



EXEMPLE D'APPLICATION

L'exemple de carte de contrôle suivant montre le passage de la période de démarrage à la période courante :

