

Journée CoTITA – fasc. 65

réactions de gonflement interne

DIERKENS Michaël, CEREMA / DTer

25 septembre 2017

Préparé par Stéphane LAVAUD – IFSTTAR / MAST/CPDM
Adapté par M. Dierkens – Cerema (RSI)

✓ RAG : démarche préventive

La démarche préventive concernant l'alcali-réaction (RAG) est définie dans :

« Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction » - LCPC – juin 1994

Remplacées par

FD P 18-464 « Béton – dispositions pour prévenir les phénomènes d'alcali-réaction » - avril 2014

✓ RAG : démarche préventive

Principe

1 – Déterminer le niveau de prévention à atteindre en fonction de:

1-a Catégorie de l'ouvrage

1-b Classe d'exposition en fonction des actions dues à l'environnement

2 – Appliquer la (ou les) solution(s) possible(s) au regard des précautions liées au niveau de prévention retenu

✓ Catégorie de l'ouvrage

✓ **3 catégories** représentatives du niveau de risque vis-à-vis de l'alcali-réaction que l'on est prêt à accepter pour un ouvrage donné (ou des parties d'ouvrage)

➔ **choix décidé par le maître d'ouvrage**

Catégorie	Exemples d'ouvrages ou parties d'ouvrages
I	ouvrages provisoires, éléments aisément remplaçables, ...
II	la plupart des bâtiments et des ouvrages du génie civil
III	les ouvrages exceptionnels (barrages, centrales nucléaires, ...)

✓ Classe d'exposition (Recommandations LCPC)

✓ ~~4 classes~~ d'environnement représentatives des conditions environnementales jouant un rôle important dans l'initiation et le développement de l'alcali-réaction

Classe	Environnement
Classe 1	environnement sec ou peu humide (hygrométrie < 80%)
Classe 2	environnement avec hygrométrie > 80% ou en contact avec l'eau
Classe 3	environnement avec hygrométrie > 80% et avec gel et fondants
Classe 4	environnement marin

✓ Classe d'exposition (FD P 18-464)

✓ **3 classes** d'exposition représentatives des conditions environnementales jouant un rôle important dans l'initiation et le développement de l'alcali-réaction

Classe	Environnement
Classe XAR1	environnement sec ou peu humide (hygrométrie $\leq 80\%$)*
Classe XAR2	environnement avec hygrométrie $> 80\%$ sans fondants salins ou en contact avec l'eau hors environnement marin
Classe XAR3	environnement avec hygrométrie $> 80\%$ Et avec fondants salins ou en environnement marin

*: certaines pièces de forte épaisseur peuvent être classées en XAR2 selon leur humidité interne (fonction de l'exposition)

✓ Niveaux de prévention (Recommandations LCPC)

Classe d'environnement	1	2	3	4
Catégorie d'ouvrage				
I	A	A	A	A
II	A	B	B	B
III	C	C	C	C

Détermination du niveau de prévention

✓ Niveaux de prévention (FD P 18-464)

Classe d'exposition	XAR1	XAR2	XAR3
Catégorie d'ouvrage			
I	A	A	A
II	A	B	B
III	C	C	C

Détermination du niveau de prévention

✓ Détermination du niveau de prévention

✓ 3 niveaux de prévention : A, B et C

➤ **niveau A** : pas de précaution spécifique

➤ **niveau B** :

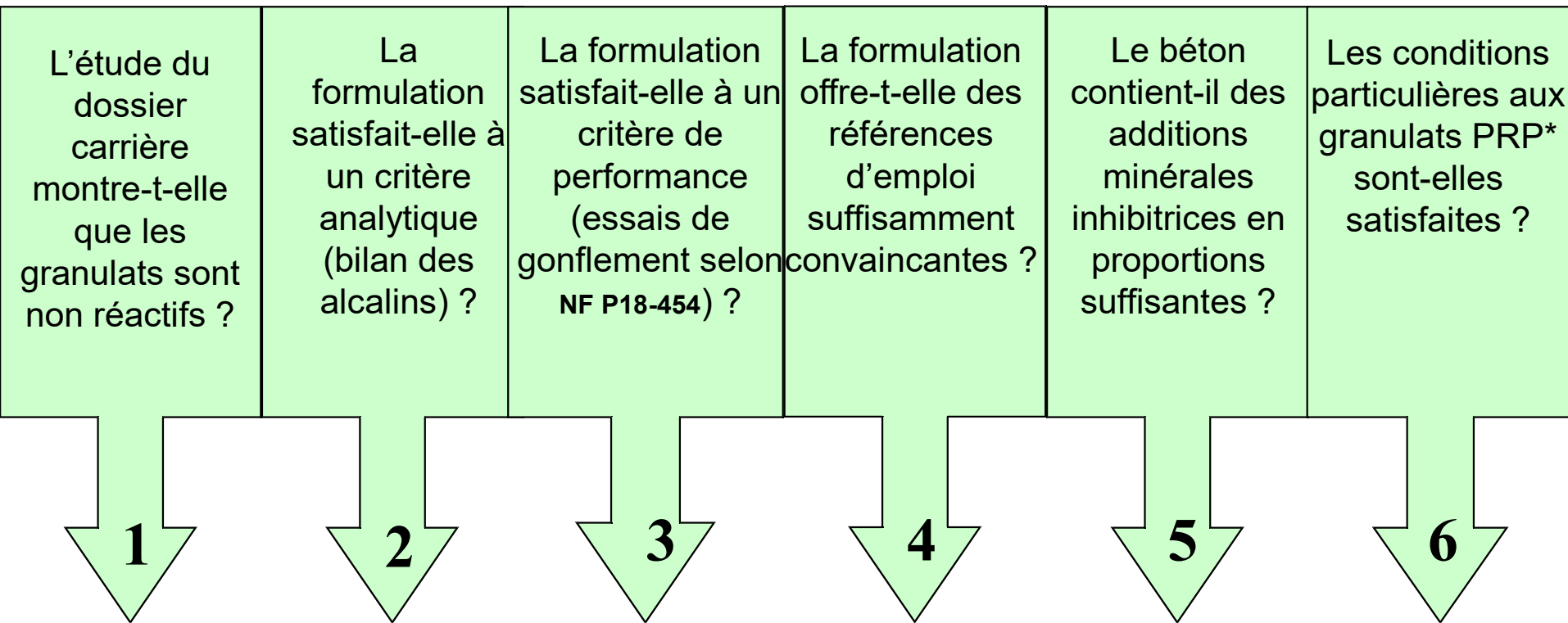
~~réponse positive au moins à UNE des **six questions** du schéma 1~~

réponse positive au moins à UNE des **quatre questions** de la figure 1

➤ **niveau C** : niveau maximum de précaution

Granulats non réactifs ou PRP si conditions particulières à leur emploi sont satisfaites (ou PR avec étude approfondie (§6.2.3))

✓ **Méthodologie à utiliser pour le niveau B**
→ **Schéma 1 (Recommandations LCPC)**

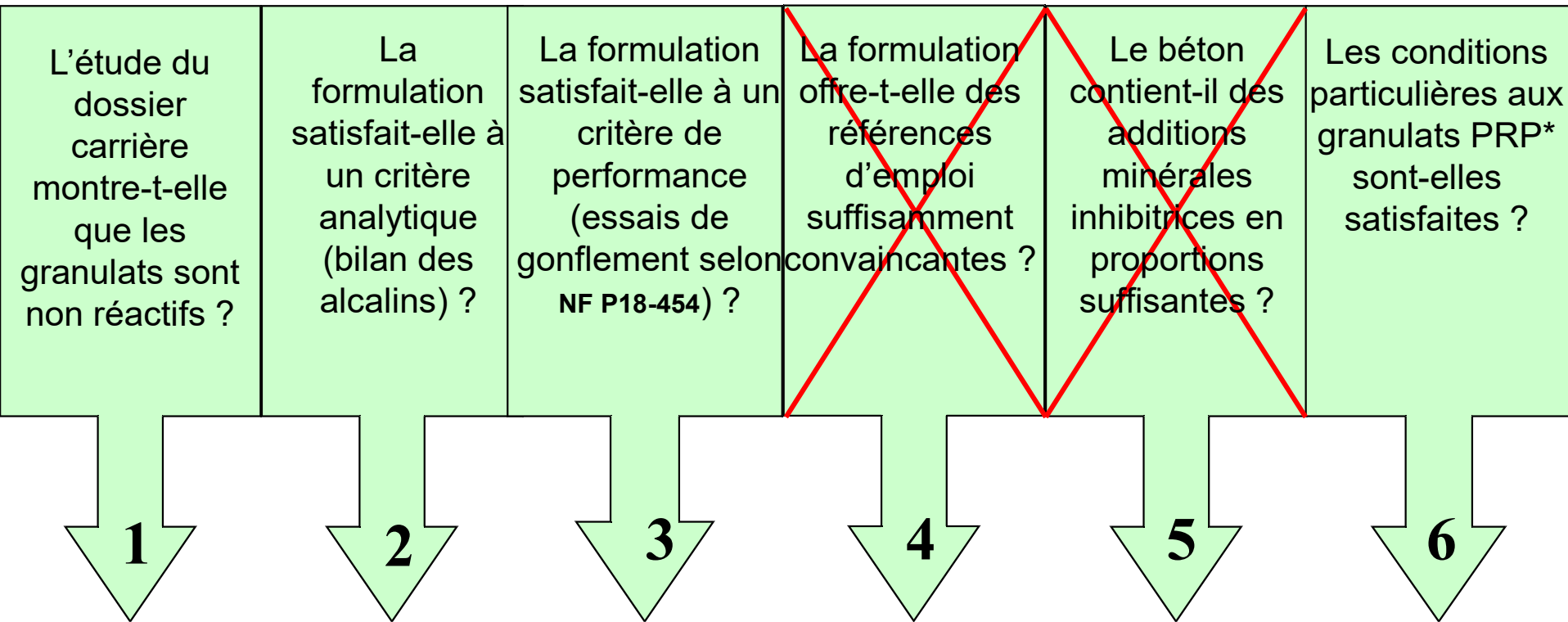


OUI à une des questions: la formulation du béton est acceptée
NON à toutes les questions: la formulation du béton doit être modifiée

* PRP = Potentiellement réactif à effet de pessimum

✓ Méthodologie à utiliser pour le niveau B

→ Figure 1 (FD P 18-464)



OUI à une des questions: la formulation du béton est acceptée

NON à toutes les questions : la formulation du béton doit être modifiée

* PRP = Potentiellement réactif à effet de pessimum

✓ Bilan des alcalins

Teneur en alcalins ACTIFS du béton = T (kg/m³ du béton)

$$T = C.A_C + B.A_B + U.A_U + E.A_E + H.A_H$$

Ciment **Granulats** **Adjuvants** **Eau** **Additions**

Ex: C: quantité de en ciment (kg/m³ de béton) et A_c: teneur en alcalins actifs du ciment (% en masse)

méthodes de calcul des teneurs :

~~Recommandations LCPC~~ : en annexe

NF P 18-464 : références normatives et méthodes regroupées
dans le tableau 4

✓ Bilan des alcalins

**Béton de CEM I, CEM II et CEM V
et CEM III/A avec S < 60% ou béton avec additions de
composition similaire**

Lorsque les données statistiques des teneurs en alcalins actifs du ciment, **des cendres volantes et du laitier** sont disponibles, on utilisera la règle suivante :

$$T_{\text{moy}} < \frac{3,5}{1 + 2 \left(\frac{\sqrt{C^2 \sigma_C^2 + S^2 \sigma_S^2 + V^2 \sigma_V^2}}{CA_{C,\text{moy}} + SA_{S,\text{moy}} + VA_{V,\text{moy}}} \right)} \quad \text{et} \quad T_{\text{max}} < 3,5 \text{ kg/m}^3$$

En l'absence de données sur les dispersions des teneurs en alcalins, on admet qu'une formule de béton convient à l'emploi de granulats potentiellement réactifs si :

$$T_m < 3,0 \text{ kg/m}^3 \quad \text{et} \quad T_{\text{max}} < 3,3 \text{ kg/m}^3$$

T_m = teneur moyenne en alcalins du béton (tableau 5)

T_{max} = teneur maximale

✓ Bilan des alcalins

Béton de CEM III avec S > 60%

Dans ce cas, il convient de :

- ✓ s'assurer que le laitier est en quantité suffisante
- ✓ limiter le taux d'alcalins TOTAUX des ciments CEM III

Une formule de béton convient à l'emploi de granulats potentiellement réactifs si :

CEM III/A ou CEM III/B

$$a_m < 1,1 \%$$

CEM III/C

$$a_m < 2,0 \%$$

a_m = teneur moyenne en alcalins totaux du **ciment**

S = teneur en laitier de haut fourneau dans le **ciment**

✓ RSI : démarche préventive

- ✓ La norme NF EN 206/CN garantit la durabilité de la structure vis-à-vis des agressions dues à l'environnement via le choix des classes d'exposition mais ne prend pas en compte la RSI (pas de classes d'exposition adaptées).
- ✓ La démarche préventive concernant la réaction sulfatique interne (RSI) est définie dans :

**« *Recommandations pour la prévention des désordres
dus à la réaction sulfatique interne* »
LCPC – août 2007**

Révision en cours de publication

✓ RSI : démarche préventive

Principe

1 – Déterminer le niveau de prévention à atteindre en fonction de :

1-a : Catégorie de l'ouvrage (ou la partie d'ouvrage)

1-b : Classe d'exposition en fonction des actions dues à l'environnement

2 – Appliquer la (ou les) solution(s) possible(s) au regard des précautions liées au niveau de prévention retenu

✓ RSI : démarche préventive

Catégorie	Exemples d'ouvrages ou d'éléments d'ouvrage
I conséquences faibles ou acceptables	<ul style="list-style-type: none">- Ouvrages de classe de résistance inférieure à C16/20 (dont les bétons de bouchon)- Éléments non porteurs des bâtiments- Éléments aisément remplaçables- Ouvrages provisoires- La plupart des produits préfabriqués non structurels
II conséquences peu tolérables	<ul style="list-style-type: none">- Les éléments porteurs de la plupart des bâtiments et les ouvrages de génie civil (dont les ponts courants)- La plupart des produits préfabriqués structurels (y compris les canalisations sous pression)
III conséquences inacceptables ou quasi inacceptables	<ul style="list-style-type: none">- Bâtiments réacteurs des centrales nucléaires et aéroréfrigérants- Barrages- Tunnels- Ponts ou viaducs exceptionnels- Monuments ou bâtiments de prestige- Traverses de chemin de fer

✓ RSI : démarche préventive

Classes d'exposition	Description de l'environnement	Exemples informatifs illustrant le choix des classes d'exposition
XH1	sec ou humidité modérée	<ul style="list-style-type: none">- Partie d'ouvrage située à l'intérieur de bâtiments où le taux d'humidité de l'air ambiant est faible ou moyen- Partie d'ouvrage située à l'extérieur et abritée de la pluie
XH2	alternance humidité-séchage, humidité élevée	<ul style="list-style-type: none">- Partie d'ouvrage située à l'intérieur de bâtiments où le taux d'humidité de l'air ambiant est élevé- Partie d'ouvrage non protégée par un revêtement et soumis aux intempéries, sans stagnation d'eau à la surface- Partie d'ouvrage non protégée par un revêtement et soumise à des condensations fréquentes
XH3	en contact durable avec l'eau : -immersion permanente -stagnation d'eau à la surface -zone de marnage	<ul style="list-style-type: none">- Partie d'ouvrage submergée en permanence dans l'eau- Éléments de structures marines- Un grand nombre de fondations- Partie d'ouvrage régulièrement exposée à des projections d'eau

✓ RSI : démarche préventive

→ de la responsabilité du maître d'ouvrage

Classe d'exposition Catégorie d'ouvrage	XH1	XH2	XH3
I Risque faible ou acceptable	As	As	As
II Risque peu tolérable	As	Bs	Cs
III Risque inacceptable	As	Cs	Ds

✓ RSI : révision en cours

- **maintien des définitions et caractéristiques** des catégories, classes d'exposition et niveau de prévention
- **maintien des Tmax**
- mise à jour normes et références
- suppression condition 6 : ~~références d'utilisation produits préfa~~
- modification condition 4 : utilisation des **additions**.
- niveau Ds :
 - ~~suppression validation par un laboratoire expert~~
 - conditions 4 (additions) et 5 (essais de performance) autorisées.

✓ RSI : révision en cours

Modification calcul d'estimation des températures : annexe 4

- prise en compte du Q120 (non standardisé) et nouveau calcul du Qm :
 - CEM I et CEM II : $Q_m = 1,05.Q_{120}$
 - CEM III et CEM V : $Q_m = 1,15.Q_{120}$si Qm non disponible, calcul possible avec le Q41
- prise en compte métakaolin pour le calcul du Lech, avec $K' = 1$
- modification de la manière de prendre en compte le coefficient α traduisant l'influence du degré d'hydratation

✓ RSI : révision en cours

Modification des critères d'interprétation du test de performance

- ~~suppression critères relatifs aux variations mensuelles~~
- modification critère 2

Critère 1 :

La déformation longitudinale moyenne de 3 éprouvettes est inférieure à 0,04% et aucune valeur individuelle ne dépasse 0,06% à l'échéance de 12 mois ;

Critère 2 :

Si la déformation longitudinale moyenne des 3 éprouvettes est supérieure à 0,04% à l'échéance de 12 mois, il est nécessaire de prolonger l'essai jusqu'au 15ème mois.

Dans ce cas, la déformation longitudinale moyenne des 3 éprouvettes doit être inférieure à 0,06% à l'échéance de 15 mois, et **la variation cumulée entre le 12ème mois et le 15ème mois doit être inférieure à 0,01%, et en outre aucune valeur individuelle ne doit dépasser 0,07% à l'échéance de 15 mois.**

✓ RSI : révision en cours

Liste des 6 conditions : Bs

- Le traitement thermique est maîtrisé (note 1), la durée de maintien de la température du béton au-delà de 75°C ne doit pas excéder 4 heures et les alcalins équivalents actifs du béton doivent être en quantité inférieure à 3 kg/m³. (La durée de maintien est définie comme la période pendant laquelle la température est supérieure à 75°C).
- Utilisation d'un ciment conforme à la norme NF P15-319 (ES) ou d'un ciment SR selon la norme NF EN 197-1 **excepté les ciments CEM I SR3 et SR5, pour les bétons devant être soumis à une température supérieure à 75°C pendant une durée supérieure à 10 heures**. Ces ciments SR3 et SR5 sont autorisés pour les bétons lorsque la durée de maintien de la température au-delà de 75°C est inférieure à 10 heures, à condition que la teneur en alcalins équivalents actifs du béton soit inférieure à 3 kg/m³.
- Utilisation d'un ciment **CEM I SR3 ou SR5** conforme à la marque NF Liants hydrauliques et qualifié selon la **méthodologie donnée en annexe 5**, dans le cas où la durée de maintien de la température au-delà de **75°C est supérieure à 10 heures**.

✓ RSI : révision en cours

Liste des 6 conditions : Bs

- Utilisation de ciments non conformes à la norme NF P 15-319 (ES) de type CEM II/B-V, CEM II/B-Q, CEM II/B-M (S-V) sous réserve d'avoir plus de 20% de cendres volantes, CEM III/A ou CEM V, tous ces ciments devant avoir une teneur en SO_3 qui ne doit pas excéder 3%, et être fabriqués à partir d'un clinker dont la teneur en C3A ne doit pas excéder 8 %.
- Utilisation, en combinaison avec du CEM I ou du **CEM II/A**, de cendres volantes conformes à la norme NF EN 450-1, de laitiers de haut fourneau moulus conformes à la norme NF EN 15167-1, de fumées de silice conformes à la norme NF EN 13263-1 ou de métakaolins conformes à la norme NF P18-513. Leur proportion dans le liant (combinaison ciment + additions) doit être **d'au moins 20 % pour les cendres volantes, 35 % pour les laitiers de haut fourneau, 10 % pour la fumée de silice (note 2) et 20 % pour le métakaolin**. Le liant utilisé doit respecter les exigences suivantes : C3A (rapporté au clinker) 8% et SO_3 (rapporté au liant) 3%.
- Vérification de la durabilité du béton vis-à-vis de la RSI à l'aide de l'essai de performance et par la satisfaction aux critères décisionnels.