

RECOMMANDATIONS : BIEN PRESCRIRE LES BÉTONS

ALCALI-RÉACTION (RAG)

Le choix des catégories d'ouvrage, des classes d'exposition de chaque partie d'ouvrage vis-à-vis des risques d'alcali-réaction et des niveaux de prévention à mettre en œuvre est de la responsabilité du maître d'ouvrage.

Les catégories d'ouvrage, les classes d'exposition associées pour chaque partie d'ouvrage dont découlent les niveaux de prévention doivent être prescrits dans le CCTP par le rédacteur du CCTP.

Exemple de rédaction de CCTP :

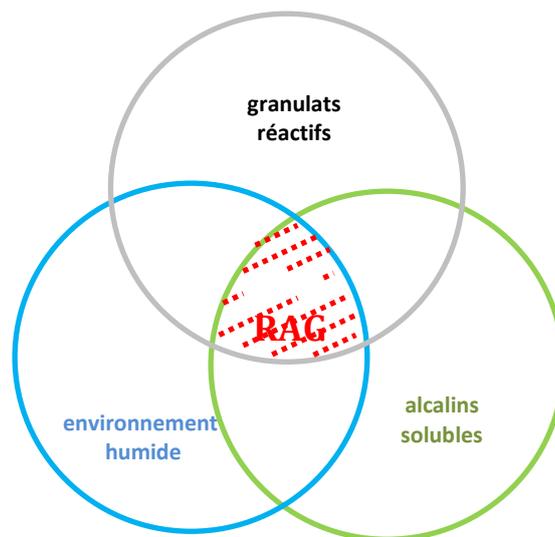
Le titulaire doit mettre en œuvre les recommandations destinées à prévenir l'alcali-réaction des bétons données dans l'article 5.2.3.5 et NA 5.2.3.5 de la norme NF EN 206/CN et dans le fascicule de documentation FD P 18-464.

Pour l'application de ce document :

- L'ouvrage est de catégorie II à l'exception des éléments provisoires qui relèvent de la catégorie I
- Les parties d'ouvrages relevant de la classe d'exposition XAR2/XAR3 sont les suivants : [...]. Les autres parties d'ouvrages relèvent de la classe d'exposition XAR1.

GÉNÉRALITÉS

L'alcali-réaction est une réaction chimique qui peut se produire entre les **alcalins** présents dans la solution interstitielle du béton et certaines formes **de silice** dites **réactives** (silice amorphe, opale...) présentes dans les granulats, **en présence d'eau**. Cette réaction peut se traduire par la formation de gels gonflants pouvant conduire à la fissuration de la partie d'ouvrage concernée. Il s'agit d'une réaction lente, pouvant s'étaler sur des dizaines d'années.



Les alcalins sont apportés par les constituants du béton (essentiellement le ciment) et l'environnement extérieur (exposition à l'eau de mer ou aux embruns marins, aux sels de déverglaçage).

La présence de silice réactive en quantité délétère est appréhendée par la notion de réactivité des granulats.

L'apport d'eau est piloté essentiellement par l'environnement dans lequel est placée la partie d'ouvrage concernée.

Nota : cette réaction est aussi dénommée réaction alcali-granulat (RAG) ou alkali-silica-réaction (ASR).

TEXTES DE RÉFÉRENCE

La démarche de prévention est prescrite par le Fascicule de Documentation **FD P18-464 (juin 2021) « Béton - Dispositions pour prévenir les phénomènes d'alcali-réaction »**, qui remplace les Recommandations LCPC de juin 1994. **Ce document doit être prescrit dans les pièces du marché pour être applicable.**

La **classification des granulats** est définie dans le Fascicule de Documentation **FD P 18-542**.

Le cas échéant, **un essai de performance** sur béton est défini dans la norme **NF P 18-454**, complétée par le Fascicule de Documentation **FD P 18-456** (durées d'essai et interprétation des résultats).

Des éléments de ces textes de référence sont repris partiellement dans la suite du document mais le lecteur est invité à s’y reporter chaque fois que nécessaire.

Principe général de prévention

La démarche de prévention vis-à-vis de l’alcali-réaction passe par la définition :

- D’une Catégorie d’Ouvrage, qui prend en compte l’acceptabilité du risque de dégradation par le maître d’ouvrage pendant la durée d’utilisation de l’ouvrage.
- D’une Classe d’Exposition spécifique à l’alcali-réaction, pour chaque partie d’ouvrage, qui prend en compte l’influence de l’environnement sur la probabilité de déclenchement de la réaction.

Le croisement de ces deux paramètres conduit à la définition du Niveau de Prévention (A, B ou C), correspondant à un ensemble de précautions à prendre pour se prémunir du risque d’alcali-réaction. Le Maître d’Ouvrage pourra s’aider du tableau suivant pour déterminer ce niveau de prévention :

		Classes d’Exposition	
		XAR1	XAR2 ou XAR3
Catégorie d’Ouvrage	I	A	A
	II	A	B
	III	C	C

Détermination du niveau de prévention en fonction de la catégorie d’ouvrage et de la classe d’exposition spécifique à l’alcali-réaction (cf. Tabl. 3 du FD P 18-464)

LES TROIS CATÉGORIES D’OUVRAGE

Les éléments non porteurs à l’intérieur des bâtiments, les ouvrages provisoires ou facilement remplaçables, les éléments préfabriqués non structurels relèvent plutôt de la catégorie I.

La plupart des bâtiments (éléments porteurs...) et des ouvrages de Génie Civil (ouvrages courants...) relèvent de la catégorie II.

La catégorie III concerne essentiellement les ouvrages exceptionnels (centrales nucléaires, barrages, tunnels, bâtiments de prestige...).

CLASSES D'EXPOSITION SPÉCIFIQUES À L'ALCALI-RÉACTION

La classe d'exposition traduit l'influence de l'environnement sur la probabilité d'avoir le déclenchement de la réaction. Elle est directement liée à :

- L'exposition à l'eau ou à l'humidité de la partie d'ouvrage concernée (pas d'alcali-réaction sans eau)
- L'apport éventuel d'alcalins.

Classe d'exposition	Description de l'environnement (avec hygrométrie = humidité relative)
XAR1	Sec ou peu humide (hygrométrie \leq 80%)
XAR2	Hygrométrie > 80 % sans fondant salin ou en contact avec l'eau hors environnement marin
XAR3	Hygrométrie > 80 % et avec fondants salins, ou en environnement marin

Détermination de la classe d'exposition vis-à-vis de l'alcali-réaction (cf. Tabl. 2 du FD P 18-464)

Nota : les pièces de forte épaisseur (> 50 cm si une seule face de séchage, de l'ordre de 1 m pour des pièces ayant 2 faces de séchage) situées en environnement sec ou d'hygrométrie inférieure à 80 % peuvent garder une humidité interne à long terme amenant à les classer en XAR2.

Impact du niveau de prévention sur la prise en compte du risque RAG dans la formulation des bétons

A titre d'information, les implications du choix de niveau de prévention sont résumées ci-dessous. Elles donnent une indication des conséquences en termes de coût et de délai.

Sauf exception, le Maître d'Œuvre n'a pas à intervenir dans le choix des dispositions à respecter pour répondre au niveau de prévention (choix des matériaux et notamment réactivité des granulats...).

Niveau A : pas de prise en compte spécifique du risque RAG.

Niveau B, une au moins des quatre dispositions suivantes doit être respectée :

1. Granulats Non Réactifs (NR) ;
2. OU granulats (sables ET gravillons) Potentiellement Réactifs à effet de *Pessimum* (PRP) avec conditions particulières d'utilisation (cf. §6.3.1.2 du FD P 18-464) ;
3. OU bilan des alcalins conforme ;
4. OU essai de performance conforme.

Le délai de réponse est immédiat dans les cas 1 à 3 ; compris entre 3 mois et 1 an (délai moyen de 5 mois) dans le cas 4.

Le Niveau C permet l'utilisation :

1. De granulats Non Réactifs (NR), généralement recommandés ;
2. OU de granulats (sables ET gravillons) Potentiellement Réactifs à effet de *Pessimum* (PRP), avec conditions particulières d'utilisation (cf. §6.3.1.2 du FD P 18-464).
3. OU, si l'approvisionnement en granulats Non Réactifs (NR) ou Potentiellement Réactifs à effet de *Pessimum* (PRP) est particulièrement difficile, de granulats Potentiellement Réactifs (PR) à condition de respecter l'une des deux conditions suivantes (cf. §6.2.3 du FD P 18-464) :
 - a) Taux moyen en alcalins actifs du béton $T_{moy} \leq 1,4 \text{ kg/m}^3$;
 - b) OU essais de performance selon NF P18-454 avec respect des critères du FD P18-456.

Le délai de réponse est immédiat dans les cas 1 et 3a ; compris entre 3 mois et 1 an (délai moyen de 5 mois) dans le cas 3b.

Nota : les granulats Non Qualifiés (NQ) ne sont pas autorisés en niveau C.

Compléments d'informations utiles pour la Prescription

Comment le maître d'ouvrage fait-il pour choisir le bon niveau de prévention ?

Sauf dans le cas où le maître d'ouvrage aurait une compétence technique forte dans le domaine de la prévention de l'alcali-réaction, la démarche recommandée est celle exposée dans le tableau 3 du FD P 18-464.

Dans quel cas un bilan d'alcalin est-il suffisant ?

Pour le niveau de prévention B, en cas d'utilisation de granulats PR ou PRP, il n'est pas nécessaire de prescrire un essai de performance lorsque la formule de béton satisfait aux critères du bilan des alcalins défini au §6.3.2 du FD P 18-464.

Pour le niveau de prévention C, en cas d'utilisation de granulats PR du fait de la difficulté d'approvisionnement en granulats NR ou PRP, il n'est pas nécessaire de prescrire un essai de performance lorsque la formule de béton satisfait aux critères portant sur le taux moyen en alcalins équivalents actifs défini au §6.2.3 du FD P 18-464.

Comment lire un bilan en alcalins ?

On attirera l'attention du Maître d'Œuvre sur le fait que, dans le calcul du bilan des alcalins, des terminologies proches peuvent recouvrir des notions très différentes. Exemples : %Na₂O et %Na₂O_{eq} ; alcalins actifs et alcalins totaux ; teneurs maximales et teneurs moyennes (cf. FD P 18-464).

Le bilan des alcalins permettant de valider la composition se base sur :

- Dans le cas des CEM III/A ayant plus de 60% de laitier, des CEM III/B et des CEM III/C : par une limitation des alcalins totaux dans le ciment uniquement.
- Dans tous les autres cas : par une limitation des alcalins actifs apportés par tous les constituants du béton.

Qu'implique la réalisation d'un essai de performance ?

A partir du moment où la réalisation d'un essai de performance est prévue sur une (ou des) formule(s) du chantier, il est nécessaire de bien intégrer la durée de l'essai dans les phasages du projet : entre 3 mois et 1 an (délai moyen de 5 mois) selon la composition du béton et l'évolution des résultats d'essais.

Quelles sont les implications d'un niveau de prévention C ?

La prescription d'un niveau de prévention C implique des contraintes fortes sur le choix des granulats avec pour conséquences des impacts importants sur les délais de mise au point des formules (délai de l'essai de performance si granulats PR avec formulation ne répondant pas au

critère sur le taux moyen en alcalins équivalents actifs ou pour les PRP lorsque le critère portant sur la teneur en silex n'est pas satisfait) et sur les coûts.

Pour le niveau de prévention C, faut-il prescrire des granulats NR ?

Le FD P 18-464 indique qu'il est généralement recommandé d'utiliser des granulats Non Réactifs (NR). Toutefois, ce même fascicule permet d'utiliser d'autres types de granulats (PRP, voire PR) sous réserve de respecter leurs conditions d'utilisation. Dans ces conditions, il est raisonnable que le CCTP n'impose pas systématiquement l'utilisation de granulats NR.

En effet, la prescription de granulats NR peut conduire à transporter des granulats sur de très grandes distances en cas d'indisponibilité de la ressource localement, d'où des coûts largement supérieurs et un impact non négligeable sur l'empreinte environnementale de l'ouvrage.

Qu'implique une modification de formule béton en cours de chantier ?

En cours de chantier, toute modification de la composition du béton (qualité ou quantité des constituants) doit conduire à s'interroger sur le maintien des conditions de non-réactivité du béton. La validation en amont d'une composition de béton « enveloppe », avec une teneur en alcalins dépassant largement les variations envisagées en cours de chantier, permet de traiter facilement ce type de problématique.

Nota : l'attention est attirée en particulier sur les granulats PRP, dont une modification de l'origine (vers un granulat non PRP) peut conduire à ne plus respecter les conditions d'usage.