



# Journée technique

## CONSTRUIRE DES OUVRAGES EN BETON AVEC LE NOUVEAU FASCICULE 65 DU CCTG

Laval - 26 septembre 2017





**Cerema**

Centre d'études et d'expertise sur les risques,  
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

# Journée CoTITA – fasc. 65

## RAG, RSI et Gel

Michel MENGUY, CEREMA / DterOuest  
Laboratoire de St BRIEUC

Le 26 septembre 2017



# Sommaire

- **FD P18-464**

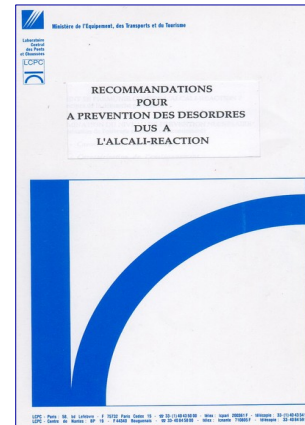
  - Dispositions pour prévenir les phénomènes de d'alcali-réaction RAG**

- **Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne RSI**

- **Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel**

# FD P18-464

Le **FD P18-464** (2014) remplace et actualise les recommandations LCPC de Juin 94



- Vise à optimiser la gestion des ressources de granulats en accord avec une démarche de **développement durable**.

Il ne privilégie pas la solution restrictive « Granulats **NR** »

- Démarche par « **partie d'ouvrage** »
- Actualisation normative



La démarche se fait en deux temps :

- Détermination du **niveau de prévention** à atteindre parmi 3 niveaux (**A**, **B** ou **C**), le choix étant fonction de :
  - La **catégorie de l'ouvrage**
  - La **classe d'exposition** du béton à l'environnement climatique
- Orientation vers la (ou les) **solution(s) possible(s)** au regard des précautions liées au **niveau de prévention** retenu.

# FD P18-464

## Catégorie d'ouvrage (ou partie d'ouvrage)

### – Catégorie I :

- Eléments non porteurs à l'intérieur des bâtiments
- ouvrages provisoires ou facilement remplaçables
- produits préfabriqués non structurels

### – **Catégorie II :**

- La plupart des bâtiments et des **ouvrages de génie civil**

### – Catégorie III :

Ouvrages de génie civil où le risque de RAG est jugé inadmissible : centrales nucléaires, **ponts ou viaducs exceptionnels**, barrages, tunnels, bâtiments de prestige.



# FD P18-464

## Classes d'exposition (ouvrage ou partie d'ouvrage)

LRPC 94	FD P18-464	Description de l'environnement
Classe 1	<b>XAR1</b>	Sec ou peu humide (Hr < 80%) <sup>a)</sup>
Classe 2	<b>XAR2</b>	Hr > 80 % ou en contact avec l'eau, avec ou sans gel
Classe 3	<b>XAR3</b>	Hr > 80 % avec gel et fondants
Classe 4		Marin



**OA**

# FD P18-464

## Détermination du niveau de prévention

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

LCPC 94

		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



# Dispositions à prendre en fonction du niveau de prévention

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

➤ **niveau B** :

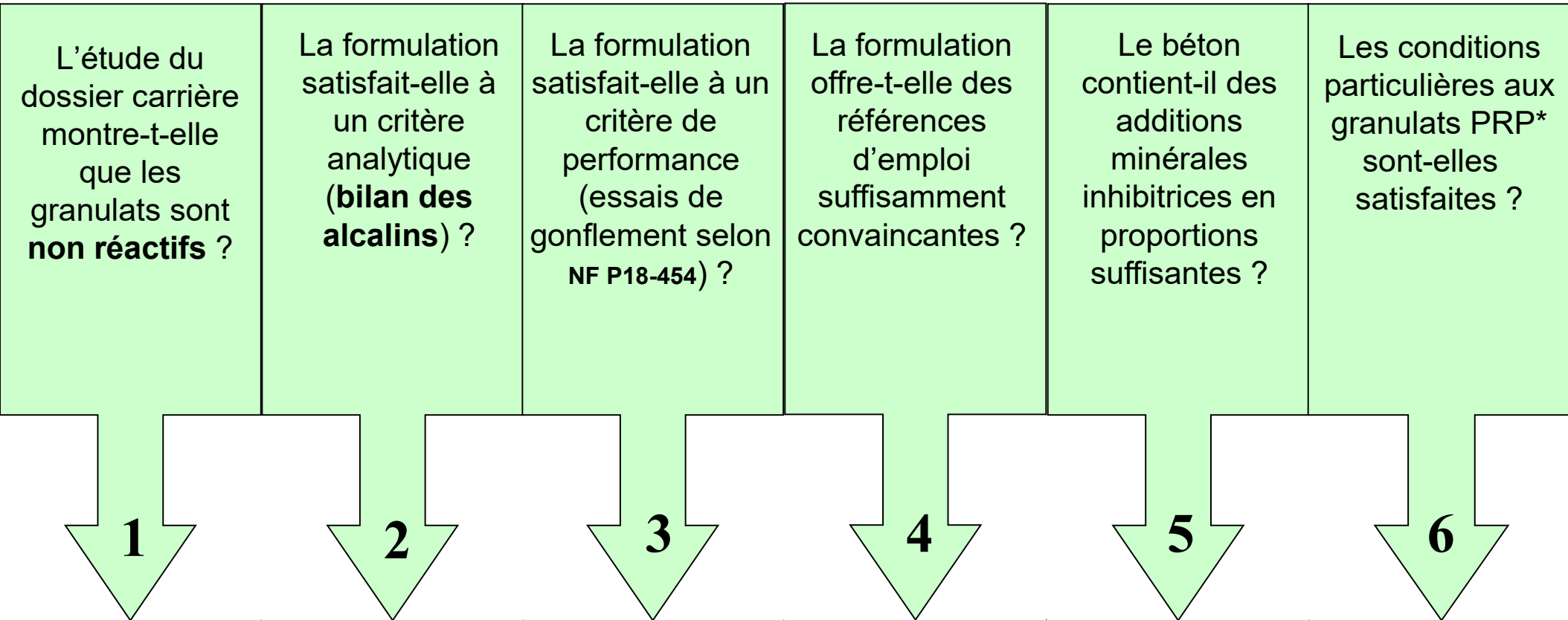
---

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 les conditions particulières à leur emploi sont satisfaites

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

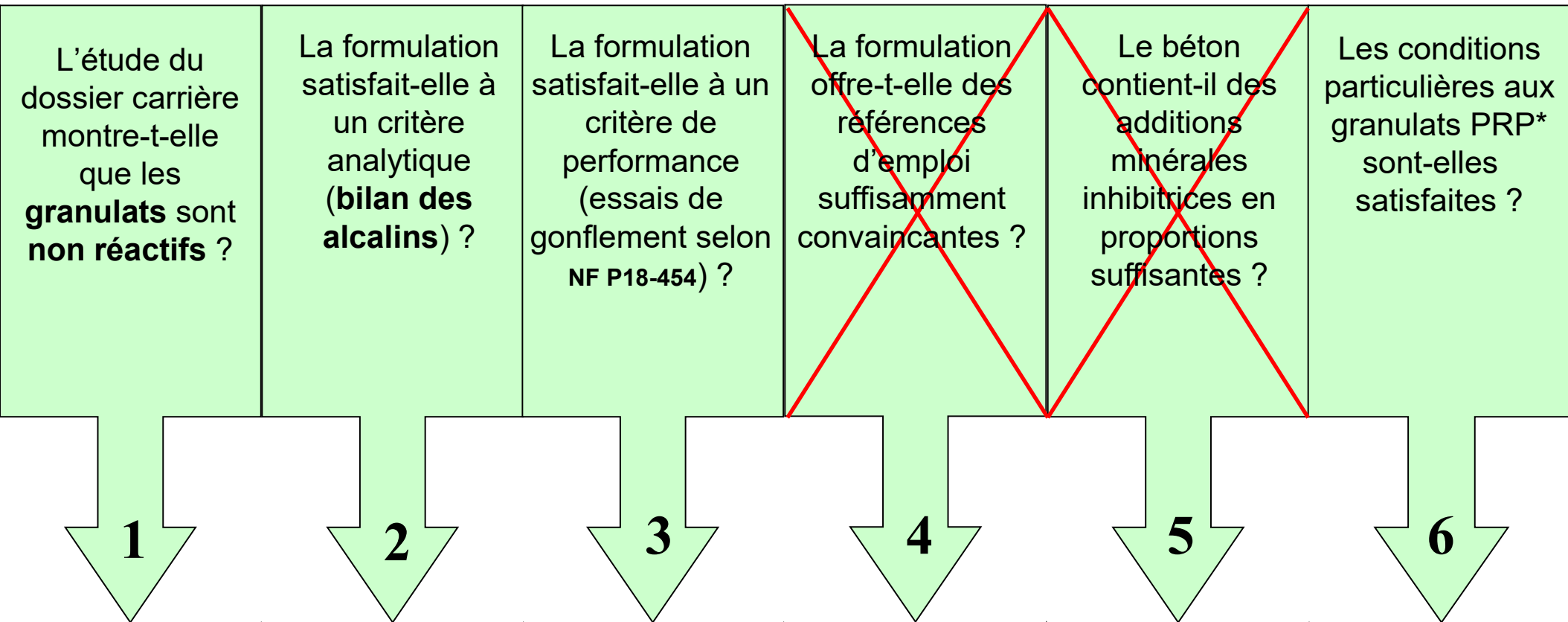


OUI à une des questions: la formulation du béton est acceptée

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/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> 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**

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 :

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

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

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

$T_{\text{moy}}$  = teneur moyenne en alcalins du béton (tableau 5)

$T_{\text{max}}$  = 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 PR 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: La démarche préventive

---

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



techniques et méthodes  
des laboratoires des ponts et chaussées



Guide technique

**Recommandations  
pour la prévention des désordres  
dus à la réaction sulfatique interne**

**Révision en cours**

# ✓ RSI: La 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: La démarche préventive

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

# ✓ RSI: La démarche préventive

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

# ✓ RSI: La 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: La démarche préventive

## Principe de prévention (en rouge = pas de changement)

Niveau de prévention	Précaution prioritaire	Précaution 2
<b>As</b>	<b>T<sub>max</sub> &lt; 85°C</b>	<b>T<sub>max</sub> &lt; 90°C</b> et durée (>85°C) < 4 heures
<b>Bs</b>	<b>T<sub>max</sub> &lt; 75°C</b>	<b>T<sub>max</sub> &lt; 85°C</b> et respecter une des 6 conditions
<b>Cs</b>	<b>T<sub>max</sub> &lt; 70°C</b>	<b>T<sub>max</sub> &lt; 80°C</b> et respecter une des 6 conditions
<b>Ds</b>	<b>T<sub>max</sub> &lt; 65 °C</b>	<b>T<sub>max</sub> &lt; 75°C</b> et respecter la condition 2 et validation de la formulation béton par expert indépendant

# ✓ RSI: La démarche préventive

---

## Les révisions actuelles concernent notamment:

- la mise à jour des normes et références
- l'estimation de la température maximale atteinte au cœur des pièces critiques (annexe IV)
- les précautions à prendre en fonction des niveaux de prévention définis: nature du ciment, nature et teneur des additions minérales,
- etc

# ✓ RSI: La démarche préventive

---

Les recommandations de 2007 sont toujours d'actualité, avec prises en compte des modifications de 2010:

**Amendement pour la condition 2 des niveaux de prévention Bs, Cs et Ds portant sur le choix du ciment:**

Utilisation d'un ciment conforme à la norme NF P 15-319 (ES)

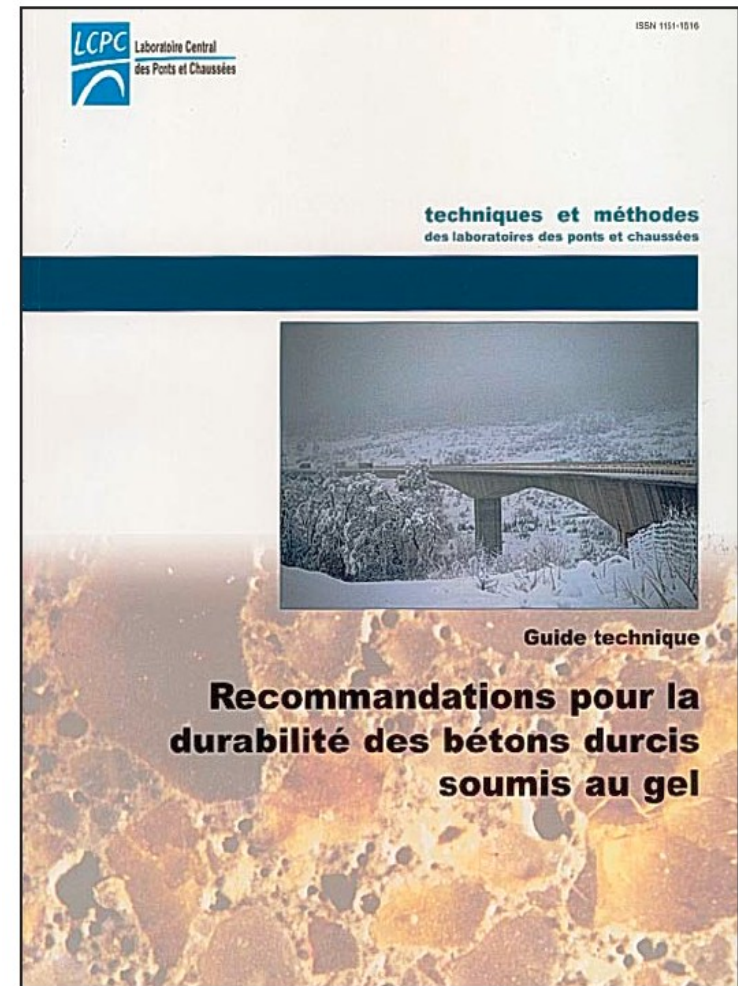
**Modifications apportées:**

**Exclusion des ciments de type CEM I, CEM II/A-L et CEM II/A-LL pour les bétons de pièces critiques coulés en place**

# Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel

**Guide LCPC de 2003**

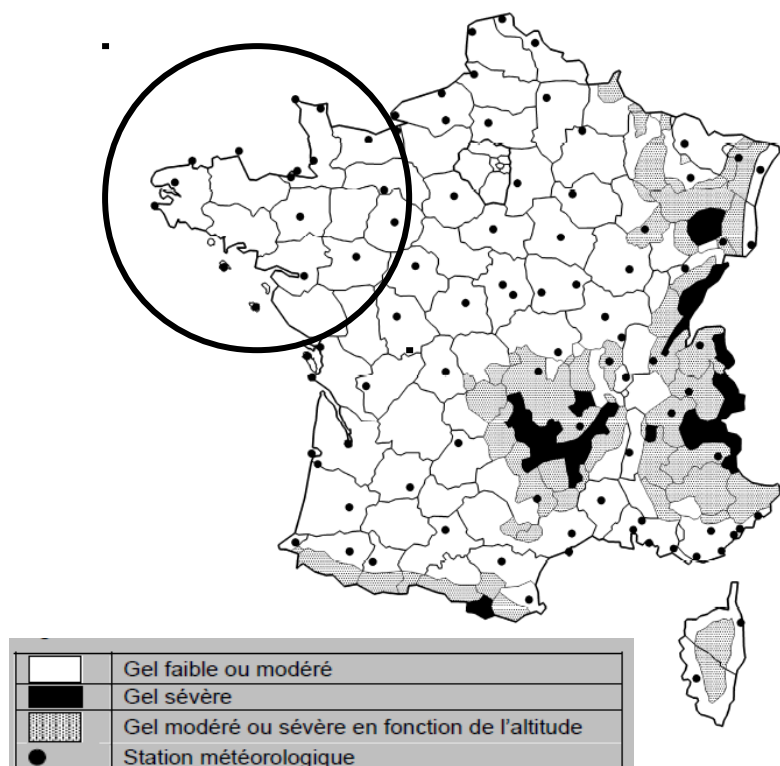
**(en révision)**



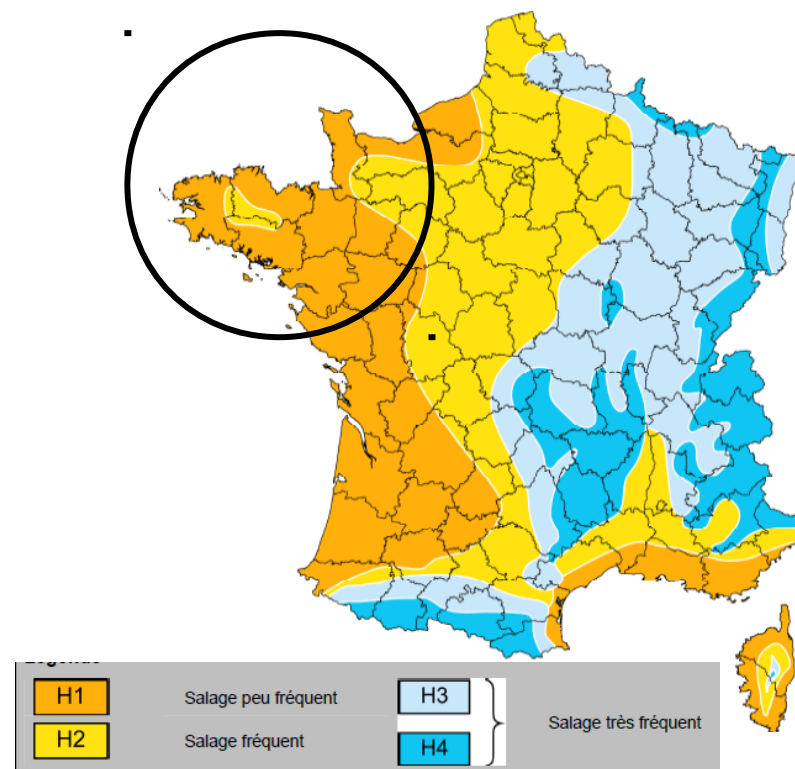
# Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel

- Fonction de l'intensité du gel et de la fréquence de salage

## Carte de gel



## Carte de salage





# Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel

Seuls les bétons figurant dans les cases bleues sont concernés par les présentes recommandations.

Choix du type de béton		Type de gel	
		Modéré	Sévère
Type de salage	Peu fréquent	Conforme XF1	Béton G
	Fréquent	Conforme XF2	Béton G + S
	Très fréquent	Béton G + S	Béton G + S

# Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel

## Pour les bétons G et G+S :

Limitation dans le choix des constituants  
Granulats et type de liant

Le ciment et son dosage doivent respecter les caractéristiques suivantes :

Caractéristiques	Béton G	Béton G+S
Type et classe	CEM I ou CEM II/A et B sauf cendres volantes 42,5 N - 42,5 R <sup>oo</sup> et supérieure	CEM I ou CEM II/A (S, D) PM ou ES ou SR-LH <sup>o</sup> 42,5 N - 42,5 R <sup>oo</sup> et supérieure
Dosage minimal	385 kg/m <sup>3</sup>	385 kg/m <sup>3</sup>

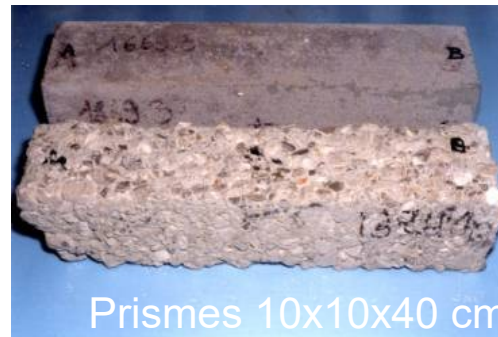
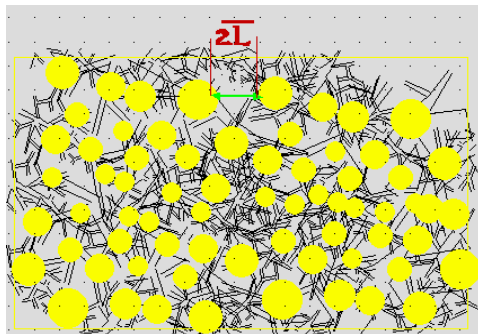
# Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel

## Pour les bétons G et G+S :

Essais **supplémentaires** lors des épreuves :

- Etudes
- Convenances
- Contrôles

Facteur d'espacement, essais de gel, allongement relatif, fréquence de résonance, écaillage.  
(essais longs + de 3 mois)



Merci