

# Classes d'exposition des bétons

Jean-Marie DEGAUGUE  
CETE Nord Picardie

**CETE Nord-Picardie**

Polytech' Lille

16 octobre 2013



# Classes d' exposition des bétons

Elles sont définies dans la  
norme  
NF EN 206-1  
avril 2004

NF EN 206-1 / CN  
application nationale  
parution décembre 2012



# Classes d'exposition des bétons

## Norme NF EN 206-1 Termes et définitions

### 3.1.45

#### actions dues à l'environnement

les actions physiques et chimiques auxquelles le béton est exposé, qui entraînent des effets sur le béton, les armatures ou les inserts métalliques, et qui ne sont pas considérées comme des charges pour la conception de la structure

### 3.1.46



# Classes d'exposition des bétons

## Norme NF EN 206-1

### Aucun risque de corrosion ni d'attaque

X0

Béton non armé et sans pièces métalliques noyées : toutes les expositions sauf en cas de gel/dégel, d'abrasion et d'attaques chimiques

Pour le béton armé, ou avec des pièces métalliques noyées : Très sec

### Carbonatation

XC1

Sec ou humide en permanence

XC2

Humide, rarement sec

XC3

Humidité modérée

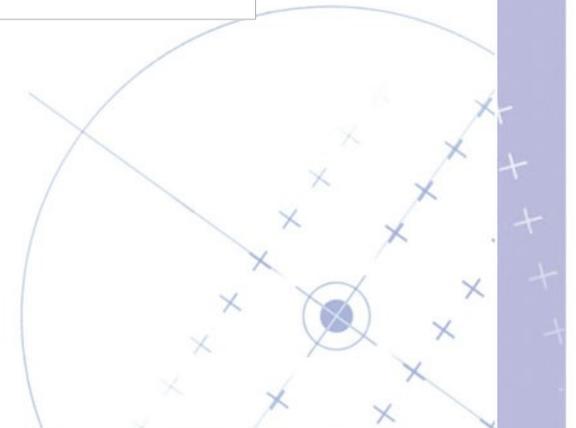
XC4

Alternance d'humidité et de séchage

# Classes d'exposition des bétons

Norme NF EN 206-1

Chlorures ayant une origine autre que marine	
XD1	Humidité modérée
XD2	Humide, rarement sec
XD3	Alternance d'humidité et de séchage



# Classes d' exposition des bétons

## Norme NF EN 206-1

Chlorures présents dans l' eau de mer	
XS1	Exposé à l' air véhiculant du sel marin, mais pas en contact direct avec l' eau de mer
XS2	Immergé en permanence
XS3	Zones de marnage, zones soumises à des projections ou à des embruns



# Classes d'exposition des bétons

## Norme NF EN 206-1

Attaque gel / dégel avec ou sans sels de déverglaçage	
XF1	Saturation modérée en eau sans agent de déverglaçage
XF2	Saturation modérée en eau avec agents de déverglaçage
XF3	Forte saturation en eau, sans agent de déverglaçage
XF4	Forte saturation en eau, avec agents de déverglaçage ou eau de mer

# Classes d'exposition des bétons

## Norme NF EN 206-1

Attaques chimiques	
XA1	Environnement à faible agressivité chimique, selon tableau 2 ci après de la norme
XA2	Environnement d'agressivité chimique modérée, selon tableau 2
XA3	Environnement à forte agressivité chimique, selon tableau 2

la norme NF EN 206-1 / CN donne les valeurs limites pour les classes d'exposition correspondant aux attaques chimiques des sols naturels et eaux souterraines

- sol ou eau polluée chimiquement ;
- présentant une vitesse d'écoulement de l'eau élevée, en combinaison avec certaines substances chimiques du Tableau 2.

XA1	Environnement à faible agressivité chimique, selon le Tableau 2	
XA2	Environnement d'agressivité chimique modérée, selon le Tableau 2	
XA3	Environnement à forte agressivité chimique, selon le Tableau 2	

**Tableau 2 — Valeurs limites pour les classes d'exposition correspondant aux attaques chimiques des sols naturels et eaux souterraines**

Les environnements chimiques agressifs classés ci-dessous sont fondés sur des sols et eaux souterraines naturels à une température eau/sol comprise entre 5 °C et 25 °C et où la vitesse d'écoulement de l'eau est suffisamment faible pour être assimilée à des conditions statiques.

Le choix de la classe se fait par rapport à la caractéristique chimique conduisant à l'agression la plus élevée.

Lorsqu'au moins deux caractéristiques agressives conduisent à une même classe, l'environnement doit être classé dans la classe immédiatement supérieure, sauf si une étude spécifique démontre que ce n'est pas nécessaire.

Caractéristique chimique	Méthode d'essai de référence	XA1	XA2	XA3
<b>Eaux de surfaces et souterraines</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en mg/l	EN 196-2	≥ 200 et ≤ 600	> 600 et ≤ 3 000	> 3 000 et ≤ 6 000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 et ≥ 5,5	< 5,5 et ≥ 4,5	< 4,5 et ≥ 4,0
CO <sub>2</sub> agressif, en mg/l	prEN 13577:1999	≥ 15 et ≤ 40	> 40 et ≤ 100	> 100 jusqu'à saturation
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , en mg/l	ISO 7150-1 ou ISO 7150-2	≥ 15 et ≤ 30	> 30 et ≤ 60	> 60 et ≤ 100
Mg <sup>2+</sup> , en mg/l	ISO 7980	≥ 300 et ≤ 1 000	> 1 000 et ≤ 3 000	> 3 000 jusqu'à saturation
<b>Sol</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/kg <sup>a)</sup> total	EN 196-2 <sup>b)</sup>	≥ 2 000 et ≤ 3 000 <sup>c)</sup>	> 3 000 <sup>c)</sup> et ≤ 12 000	> 12 000 et ≤ 24 000
Acidité ml/kg	DIN 4030-2	> 200 Baumann Gully	N'est pas rencontré dans la pratique	
<p>a) Les sols argileux dont la perméabilité est inférieure à 10<sup>-5</sup> m/s peuvent être classés dans une classe inférieure.</p> <p>b) La méthode d'essai prescrit l'extraction du SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> à l'acide chlorhydrique ; alternativement il est possible de procéder à cette extraction à l'eau si c'est l'usage sur le lieu d'utilisation du béton.</p> <p>c) La limite doit être ramenée de 3 000 mg/kg à 2 000 mg/kg, en cas de risque d'accumulation d'ions sulfate dans le béton due à l'alternance de périodes sèches et de périodes humides, ou par remontée capillaire.</p>				

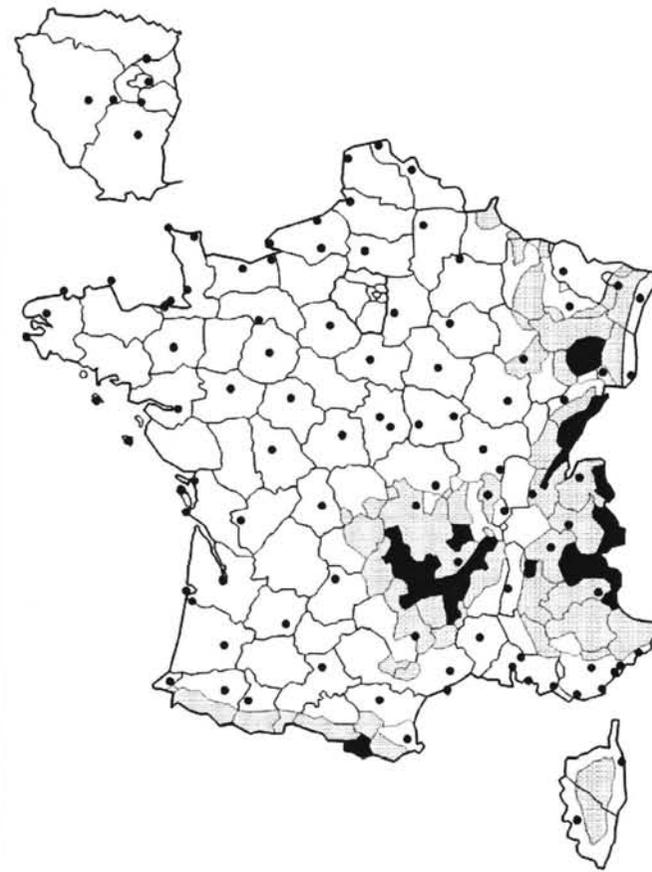
## NF EN 206-1 / CN

### Carte des zones de gel en France

**classes de gel XF1, XF2, XF3 et XF4**

**déterminées par :**

- intensité du gel
  - salage ou non salage
- en 1 ère approche



#### Légende

	Gel faible ou modéré :	}	XF1 (sans agent de déverglaçage <sup>1)</sup>
			XF2 (avec agent de déverglaçage <sup>2)</sup>
	Gel sévère :	}	XF3 (sans agent de déverglaçage <sup>3)</sup>
			XF4 (avec agent de déverglaçage <sup>4)</sup>
	Gel modéré ou sévère :		suivant l'altitude
	Station météorologique		

- 1) Absence de salage ou salage peu fréquent
- 2) Salage fréquent ou très fréquent
- 3) Absence de salage ou salage peu fréquent
- 4) Salage fréquent ou très fréquent

**Figure NA.2 — Carte des zones de gel en France**

NOTE Saint-Pierre et Miquelon et les Terres Australes et Antarctiques Françaises sont classées en zone de gel sévère.

## NF EN 206-1 / CN

### Carte des zones de salage en France

classes de gel XF1, XF2, XF3 et XF4

déterminées par :

- intensité du gel
- fréquence de salage

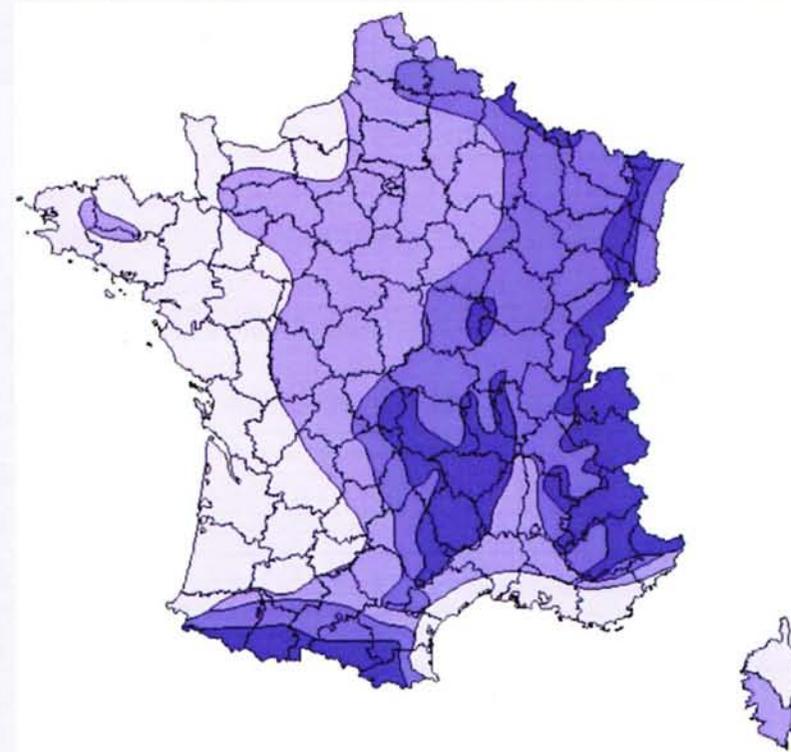
notion de partie très exposée au sel qui fait passer de XF2 à XF4 (gel faible ou modéré et salage très fréquent)

A défaut d'indication plus précise dans les spécifications du projet, le type de salage peut être déterminé à l'aide des Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel (LCPC décembre 2003) qui reproduisent un extrait du guide pratique d'élaboration du Dossier d'Organisation Viabilité Hivernale (DOVH) SETRA novembre 1994 (voir Figure NA.3).

Tableau NA.1 — Classes d'exposition en fonction de l'intensité du gel et de la fréquence de salage

Gel \ Salage	Aucun	Peu fréquent	Fréquent	Très fréquent
Faible ou modéré	XF1	XF1	XF2	XF2 <sup>a</sup>
Sévère	XF3	XF3	XF4	XF4

<sup>a</sup> A l'exception des chaussées béton et des éléments d'ouvrages d'art très exposés qui seront classés en XF4.



#### Légende

Zones climatiques

-  H1 : Zone à hiver clément
-  H2 : Zone à hiver peu rigoureux
-  H3 : Zone à hiver assez rigoureux
-  H4 : Zone à hiver rigoureux

Figure NA.3 — Carte des zones de salage en France

## NF EN 206-1 / CN

### XF2 :

la norme permet de retenir la classe d'exposition XD3 pour un béton classé XF2 qui n'est pas très exposé aux sels, en zone de gel modéré

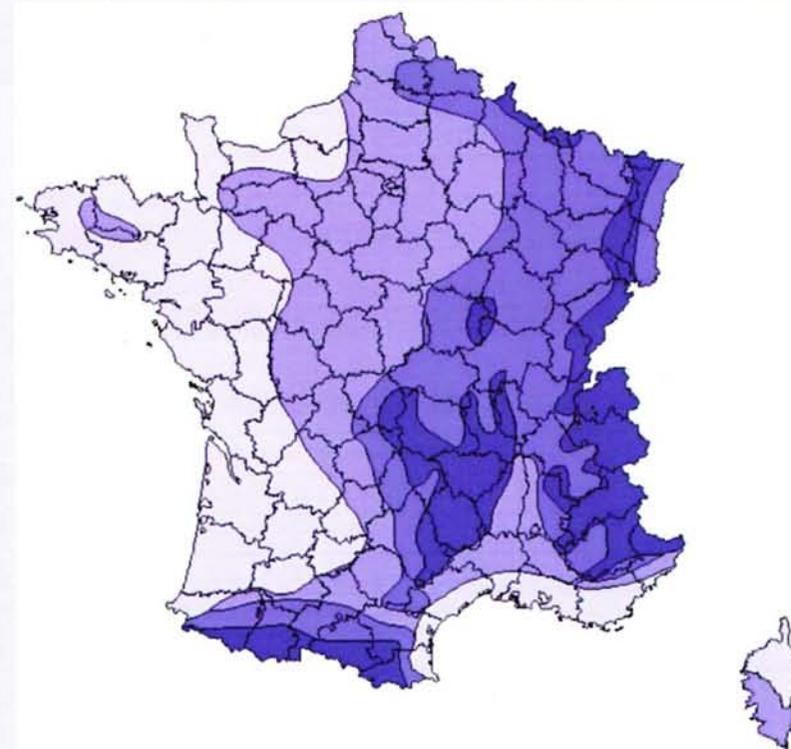
Ceci permet d'obtenir un béton sans air occlus moins perméable aux agressions

A défaut d'indication plus précise dans les spécifications du projet, le type de salage peut être déterminé à l'aide des Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel (LCPC décembre 2003) qui reproduisent un extrait du guide pratique d'élaboration du Dossier d'Organisation Viabilité Hivernale (DOVH) SETRA novembre 1994 (voir Figure NA.3).

Tableau NA.1 — Classes d'exposition en fonction de l'intensité du gel et de la fréquence de salage

Gel \ Salage	Aucun	Peu fréquent	Fréquent	Très fréquent
Faible ou modéré	XF1	XF1	XF2	XF2 <sup>a</sup>
Sévère	XF3	XF3	XF4	XF4

<sup>a</sup> A l'exception des chaussées béton et des éléments d'ouvrages d'art très exposés qui seront classés en XF4.



#### Légende

Zones climatiques

-  H1 : Zone à hiver clément
-  H2 : Zone à hiver peu rigoureux
-  H3 : Zone à hiver assez rigoureux
-  H4 : Zone à hiver rigoureux

Figure NA.3 — Carte des zones de salage en France

# Classes d'exposition des bétons

XF2 :

## NA.5.3.2.2 Bétons soumis aux sels de déverglaçage en zone de gel modéré

Les bétons des parties d'ouvrage soumises à la classe d'exposition XF2 peuvent être formulés de deux façons différentes (voir Tableaux NA.F.1, note k), NA.F.2, note l), NA.F.3, note i) et NA.F.4, note j)) :

- avec une teneur en air occlus égale ou supérieure à 4 % ;
- avec une teneur en air occlus inférieure à 4 % et les spécifications correspondant à la classe d'exposition XD3.

Les formulations selon les spécifications correspondant à la classe d'exposition XD3 ne s'appliquent pas aux bétons pour éléments très exposés aux sels de déverglaçage (éléments saturés en eau et soumis aux projections directes de sels de déverglaçage : corniches, solins d'ancrage des joints de chaussée, longrines d'ancrage des dispositifs de retenue).



# Classes d' exposition des bétons

NF EN 206-1 / CN

Pour XF2, XF3, XF4

il peut être utilisé un béton sans entraîneur d' air si :

- le béton est un BHP satisfaisant aux dispositions des recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel

ou

- essais de performance : satisfaction aux essais gel interne, écaillage



# Classes d' exposition des bétons

Lien classes d' expositions – spécifications du béton

Tableau NAF1 (béton coulé en place)  
de la norme NF EN 206-1 / CN :

Valeurs limites applicables en France pour la  
composition et les propriétés du béton en fonction de la  
classe d' exposition

Présentation et mode de lecture du tableau



# Classes d' exposition des bétons

Lien classes d' expositions – spécifications du béton

## Généralités

Les bétons soumis à une classe d' exposition sévère doivent être compacts, résistants à la compression

Lorsqu' il est fait usage d' un entraîneur d' air (classes de gel), la compacité est toutefois amoindrie

Le dosage en ciment est élevé

Le rapport eau / liant est faible

Une classe d' exposition sévère couvre d' autres classes d' exposition

Examen du tableau NAF1 (béton coulé en place)



**Tableau NA.F.1 — Valeurs limites applicables en France pour la composition et les propriétés du béton en fonction de la classe d'exposition**

		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1 <sup>a)</sup>	XF2 <sup>a)</sup>	XF3 <sup>a) b)</sup>	XF4 <sup>a) b)</sup>	XA1	XA2	XA3	
Combinaison CEM I + addition	Rapport $E_{eff}/\text{liant}$ éq maximal <sup>c)</sup>	-	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	0,60	0,55	0,50	0,60	0,55	0,55	0,45	0,55	0,50	0,45	
	Classe de résistance minimale	-	C20/25	C20/25	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C25/30	C30/37	C35/45	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C40/50	
	Teneur mini en liant éq (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>c) d)</sup>	150	260	260	280	280	330	330	350	280	330	350	280	300	315	340	330	350	360	
	Teneur minimale en air (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4 <sup>e) k)</sup>	4 <sup>e)</sup>	4 <sup>e)</sup>	-	-	-	
Combinaison CEM I/A + addition	Essai(s) de performances <sup>m)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	XP P 18-425 et XP P 18-420	XP P 18-425 (ou XP P 18-424)	XP P 18-425 (ou XP P 18-424) et XP P 18-420	-	-	-	
	Cendres volantes	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,15 <sup>f)</sup>	0,30	0,30	0,30
	Fumées de silice	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	Métakaolin type A	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Laitier moulu	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,15	0,30	0,30	0,30
	Addition calcaire catégorie A	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,05	0,05	0,05	0,30	0,05	0,05	0,05	0,30	0,25	0,25	0,05	0,00	0,00	0,00
	Addition calcaire catégorie B	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,05	0,05	0,05	0,25	0,05	0,05	0,05	0,25	0,25	0,25	0,05	0,00	0,00	0,00
Addition siliceuse de minéralogie QZ	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,15	0,15	0,15	0,25	0,15	0,15	0,15	0,25	0,20	0,20	0,05	0,00	0,00	0,00	
Combinaison CEM II/A + addition	Cendres volantes	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20
	Fumées de silice <sup>g)</sup>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	Métakaolin type A <sup>g)</sup>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	Laitier moulu	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20
	Addition calcaire catégorie A	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Addition siliceuse de minéralogie QZ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nature du ciment	-	-	-	-	-	-	PM <sup>h)</sup>	PM <sup>h)</sup>	-	-	-	i)	-	-	-	i)	j) o)	j) n) p)	j)	

- a) Pour les classes XF3 et XF4, les granulats doivent être non gélifs au sens de NF P 18-545.
- b) Pour les classes XF3 et XF4, l'attention du prescripteur du béton est attirée sur le fait que dans le cas d'ouvrages importants, sensibles ou particulièrement exposés, il est souhaitable d'avoir recours à des essais complémentaires (pour l'environnement XF3 : XP P 18-424 ou XP P 18-425, ASTM C457-98,... et de plus, pour l'environnement XF4, XP P 18-420) afin de s'assurer de l'adéquation du béton aux performances attendues.
- c) Exigence applicable à la charge telle que définie en 3.1.20.
- d) Ces valeurs sont définies pour  $D_{max} = 20$  mm. La quantité de liant équivalent à ajouter (+) ou à déduire (-) en pourcentage de la valeur indiquée, en fonction de la dimension nominale supérieure du plus gros granulats, exprimée en millimètre est  $D \leq 12,5$  : + 10 % ;  $D = 14$  : + 7,5 % ;  $D = 16$  : + 5 % ;  $D = 22,4$  : - 2,5 % ;  $D \geq 31,5$  : - 10 %. En cas de béton précontraint, la teneur minimale en liant équivalent ne pourra pas être inférieure à 280 kg/m<sup>3</sup> pour XC1 et XC2 et à 300 kg/m<sup>3</sup> pour les autres cas (soit XC3, XC4, XF1 et XD1).
- e) Le respect de cette valeur nécessite l'utilisation d'un agent entraîneur d'air. Il est possible de déroger à la teneur minimale en air pour les bétons à haute performance en appliquant les Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel.
- f) Pour l'environnement XF4, l'utilisation de cendres volantes peut induire des difficultés à entraîner de l'air dans le béton. Il est recommandé de n'utiliser dans ce cas que des cendres de catégorie A selon NF EN 450-1 et de renforcer le contrôle de la quantité d'air occlus.
- g) Les ciments de type CEM II/A-D, CEM II/A-Q ou CEM II/A-M contenant des fumées de silice ou des pouzzolanes naturelles calcinées ne doivent pas être utilisés.
- h) La composition de l'addition (teneur en sulfures, en sulfates, etc.) doit être telle que le liant respecte les exigences de NF P 15-317.
- i) En cas d'utilisation de sels de déverglaçage, utiliser un ciment conforme à NF P 15-317 (PM) ou à NF P 15-319 (ES). S'il est prévu de n'utiliser que des sels de déverglaçage conformes aux classes A ou B de NF P 98-180, ou conformes à NF P 98-181, pendant toute la vie de l'ouvrage, il est possible de déroger à cette exigence.
- j) Pour le choix du ciment et des additions, se référer à FD P 18-011
- k) Il est possible de déroger à la teneur minimale en air occlus pour les bétons conformes aux spécifications de la classe d'exposition XD3, dans les conditions définies en NA.4.1.
- l) Ce rapport est défini en NA.5.2.5.2.1.
- m) Pour la résistance au gel avec ou sans sels de déverglaçage (classes XF2, XF3 et XF4), l'utilisation des essais de performance (XP P 18-424 ou XP P 18-425, XP P 18-420 le cas échéant) et le respect des seuils associés à ces essais peuvent se substituer aux obligations concernant la teneur minimale en air (pour les classes XF2, XF3 et XF4).
- n) Lorsque la classe d'agressivité résulte de la présence de sulfates, si la teneur en sulfates est comprise entre 600 et 1500 mg/l, utiliser un ciment conforme à NF P 15-317 (PM) et si la teneur en sulfates excède 1500 mg/l, utiliser un ciment conforme à NF P 15-319 (ES).
- o) En cas d'utilisation d'un CEM II/A en classe d'agressivité résultant de la présence d'acide, utiliser un CEM II/A conforme à NF P 15-317 (PM) ou NF P 15-319 (ES).
- p) En cas d'utilisation d'un CEM II/A en classe d'agressivité résultant de la présence d'acide, utiliser un CEM II/A conforme à NF P 15-319 (ES).

NOTE Pour le choix de la classe d'exposition, voir 4.1 et NA.4.1.

## Fascicule 65 (2008)

	Zones de gel modéré	Zones de gel sévère
Salage peu fréquent	XF1	XF3
Salage fréquent	XD3 + XF2 pour les éléments très exposés (***)	XF4
Salage très fréquent	XF4	XF4

### Classes d' exposition gel et sels de déverglaçage

Vis à vis de la carbonatation, le fascicule 65 classe les bétons exposés à l' air libre en classe C4

# Fascicule 65 (2008)

SPECIFICATIONS	TYPE DE BETON	CLASSES D'EXPOSITION				
		XC1- XC2-XC3	XC4  XS1-XS2 XD1-XD2	XF3	XS3 XD3	XF4
$E_{\text{eff}}$ / Liant équiv. Rapport maximal	BA-BP	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45
Classe minimale de résistance	BA	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45
	BP	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C35/45
Teneur minimale en liant équivalent (Kg/m <sup>3</sup> ) [1]	BA-BP	280	330	385	350	385
Caractère du ciment	BP	CP	CP	CP	CP	CP

Spécifications liées à la classe d' exposition

Les exigences sont renforcées / Norme

# Bétons G et G+S

**techniques et méthodes**  
des laboratoires des ponts et chaussées

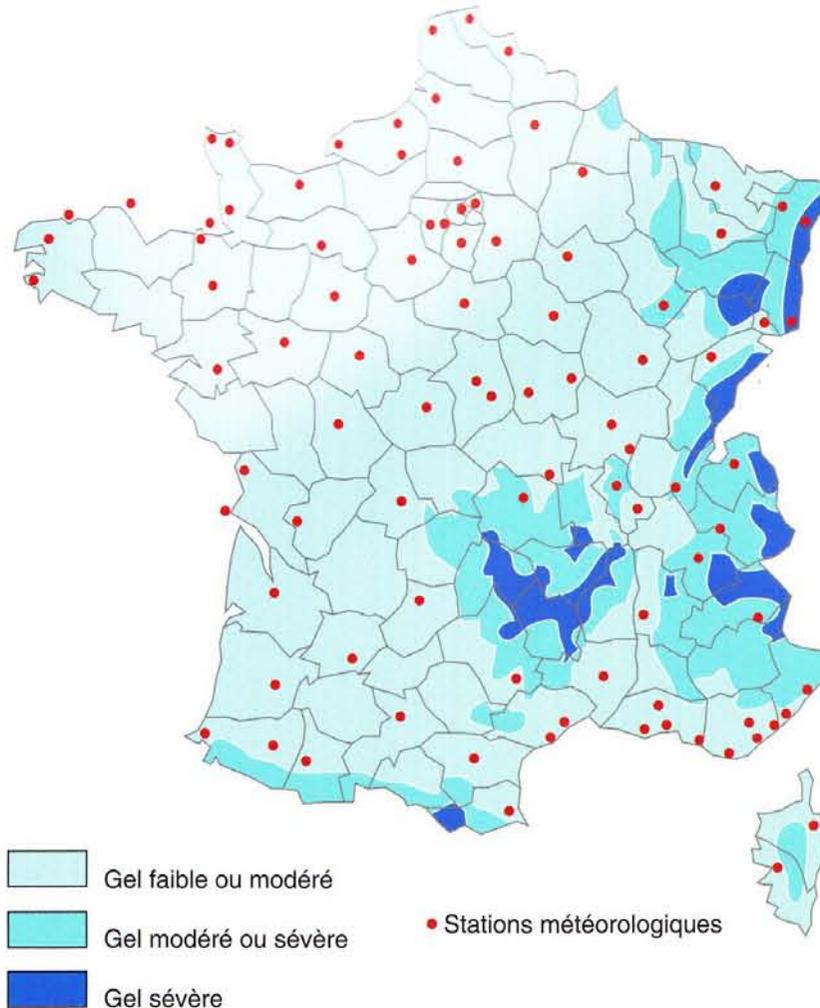


**Guide technique**

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

# Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel

Décembre 2003



## Carte des zones de gel en France

Document extrait de l'annexe nationale à la norme NF EN 206-1 (indice de classement P 18-325-1).

La carte des zones de gel en France a été établie suivant un classement : gel faible, gel modéré, gel sévère à partir de données statistiques de stations météorologiques de Météo France couvrant le territoire national.

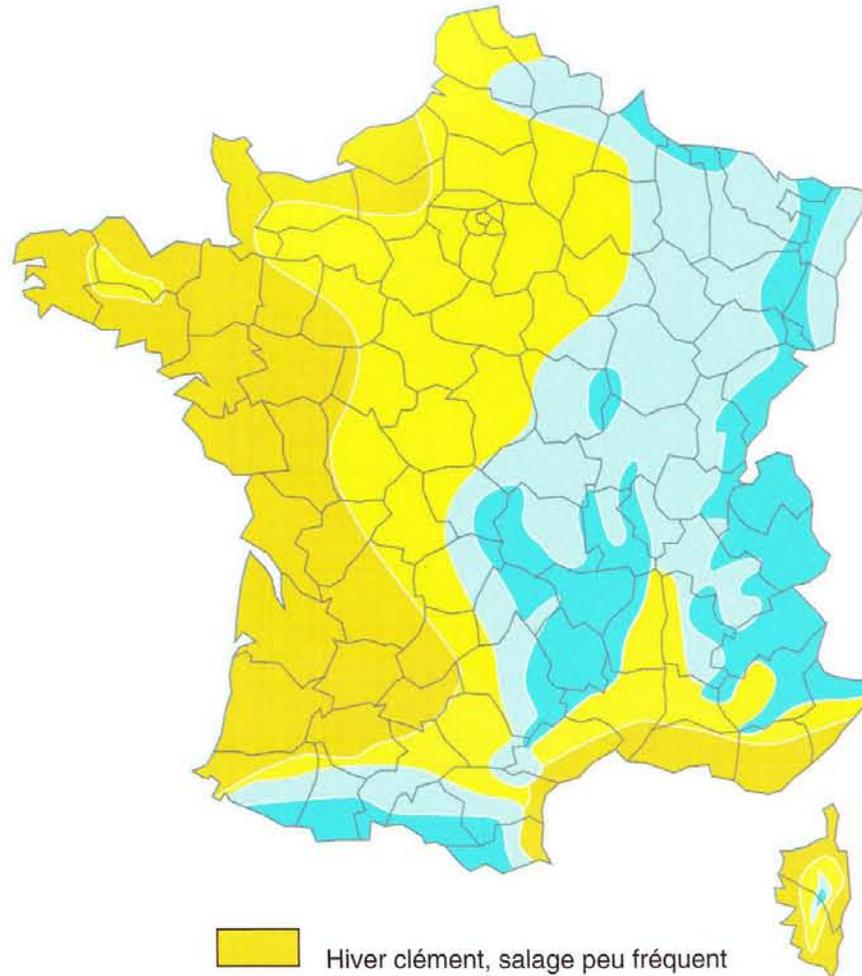
En tout état de cause, le classement qui est fait, à partir de températures mesurées sous abri, ne prend pas en compte le facteur exposition. De même, étant fait à partir d'un nombre limité de stations d'observations, le classement ne considère pas non plus les phénomènes micro-climatiques. Ainsi il est nécessaire de prendre en compte les conditions particulières existantes là où le béton est mis en œuvre.

Pour certains départements, en particulier alpins, les altitudes de référence entre gel modéré et gel sévère, pris en compte dans le fascicule de documentation FD P 18-326, ne tiennent pas compte des conditions locales d'environnement.

Toutefois à défaut de spécifications particulières indiquées dans le marché, on se référera au classement de la carte ci-contre.



Recommandations  
pour la durabilité  
des bétons durcis  
soumis au gel  
Décembre 2003



-  Hiver clément, salage peu fréquent
-  Hiver peu rigoureux, salage fréquent
-  Hiver assez rigoureux, salage très fréquent
-  Hiver rigoureux, salage très fréquent

Classement des zones  
de rigueur hivernale Hi  
ou  
carte de salage

Recommandations  
pour la durabilité  
des bétons durcis  
soumis au gel  
Décembre 2003

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	Béton approprié *	Béton G
	Fréquent	Béton approprié avec teneur en air minimale = 4 % ** ou essais de durabilité au gel	Béton G + S
	Très fréquent	Béton G + S	Béton G + S

Fascicule 65 (2008)

	Zones de gel modéré	Zones de gel sévère
Salage peu fréquent	XF1	XF3
Salage fréquent	XD3 + XF2 pour les éléments très exposés (***)	XF4
Salage très fréquent	XF4	XF4

### 3.1.2.3.2 Caractéristiques et spécifications exigées

Recommandations  
pour la durabilité des  
bétons durcis soumis  
au gel

Décembre 2003

(extrait)

Caractéristiques	Spécifications	
	Béton G	Béton G + S
Rapport E/C (E = eau efficace et C = ciment ou liant recomposé pour les bétons <b>G</b> )	≤ 0,50	≤ 0,45
Résistance caractéristique en compression $f_{c28}$	≥ 30 MPa	≥ 35 MPa
Facteur d'espacement $\bar{L}$ norme ASTM C457* - étude et convenance - contrôle	≤ 250 μm ≤ 300 μm	≤ 200 μm ≤ 250 μm
Écaillage norme XP P 18-420 - étude et convenance - contrôle	sans objet sans objet	≤ 600 g/m <sup>2</sup> ** ≤ 750 g/m <sup>2</sup> **

**Cas des bétons traditionnels**  
**Béton avec air entraîné**  
**Caractérisation de la durabilité du béton au gel et gel+ sel par les essais**





Recommandations  
pour la durabilité des  
bétons durcis soumis  
au gel  
Décembre 2003  
(extrait)

**Cas des bétons  
haute performance**  
- formulés avec  
entraîneur d'air  
- formulés sans  
entraîneur d'air

**Caractérisation de la  
durabilité du béton  
au gel et gel+ sel par  
les essais**

### 3.2.2.3.2 Caractéristiques et spécifications exigées

Caractéristiques	Spécifications	
	Béton G	Béton G + S
Résistance caractéristique en compression $f_{c28}$	$\geq 50$ MPa	
Deux méthodes de vérification sont proposées :		
<b>Méthode 1</b> - Utilisable uniquement pour <i>les bétons formulés avec un agent entraîneur d'air</i>		
Facteur d'espacement $\bar{L}$ norme ASTM C457*		
- étude et convenance	$\leq 250 \mu\text{m}$	$\leq 200 \mu\text{m}$
- contrôle	$\leq 300 \mu\text{m}$	$\leq 250 \mu\text{m}$
Écaillage norme XP P 18-420		
- étude et convenance	sans objet	$\leq 600 \text{ g/m}^2^{**}$
- contrôle	sans objet	$\leq 750 \text{ g/m}^2^{**}$
<b>Méthode 2</b> - Utilisable pour <i>les bétons formulés sans ou avec peu d'agent entraîneur d'air</i> ***		
Gel interne*** * normes P 18-424 ou P 18-425		
- étude et convenance		
allongement $\Delta l/l$ ,	$\leq 400 \mu\text{m/m}$	$\leq 400 \mu\text{m/m}$
rapport du carré des fréquences de résonance $f_1^2/f_0^2 \times 100$	$\geq 75$	$\geq 75$
- contrôle		
$\Delta l/l$ ,	$\leq 500 \mu\text{m/m}$	$\leq 500 \mu\text{m/m}$
$f_1^2/f_0^2 \times 100$	$\geq 60$	$\geq 60$
Écaillage norme XP P 18-420		
- étude et convenance	sans objet	$\leq 600 \text{ g/m}^2^{**}$
- contrôle	sans objet	$\leq 750 \text{ g/m}^2^{**}$

# Classes d' exposition des bétons

Classe d' abrasion  
Eurocode EN 1992-1-1 4.4.1.2 (13)

Classe d' abrasion	XM1	XM2	XM3
	<p>Abrasion modérée Exemple : Béton site industriel soumis à circulation véhicule à pneumatiques</p>	<p>Abrasion importante Exemple : Béton site industriel soumis à circulation de chariots élévateurs équipés de pneumatiques ou bandages en caoutchouc plein</p>	<p>Abrasion extrême Exemple : Béton site industriel soumis à circulation de chariots élévateurs équipés de bandages élastomère ou métalliques, ou d'engins à chenilles.</p>
Valeurs de l' épaisseur sacrificielle (recommandations)	k1 = 5 mm	K2 = 10 mm	K3 = 15 mm

## Aide pour le choix des classes d' exposition des bétons

Des documents ont été élaborés :

- Annexe II des recommandations pour la maîtrise de la durabilité
- Guides élaborés par l' Ecole Française du Béton



# Classes d' exposition des bétons

L'annexe III des recommandations fournit des tableaux (ci-après) d'aide au choix des classes d'exposition pour les ouvrages d'art.

Ouvrage en mer, ou à moins de 100m de la côte

Ouvrages situés à moins de 1 km de la côte

Ouvrages à l'intérieur des terres en zone de gel faible ou modéré

Ouvrages à l'intérieur des terres en zone de gel faible ou modéré



Tableau XIV - Ouvrages d'art à l'intérieur des terres en zone de gel faible ou modéré

Parties d'ouvrage	XC	XS	XD			XF			XA
			Salage peu fréquent*	Salage fréquent*	Salage très fréquent*	Salage peu fréquent*	Salage fréquent*	Salage très fréquent*	
<b>Fondations (pieux, barrettes, puits marocains, bétons de blocage, semelles, radiers...)</b>									
Fondations de tous types entièrement immergées (eau douce**)	XC1	-	-	-	-	-	-	-	Selon analyse sol et eau
Fondations de tous types en zone de marnage (eau douce**)	XC4	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	Selon analyse sol et eau
Fondations profondes enterrées hors eau de mer	XC2	-	-	Pas d'exposition XD, ou XD2 selon salage et distance de la voie franchie	XD2	-	-	-	Selon analyse sol et eau
Fondations superficielles non immergées (partie aérienne)	XC4	-	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XD3	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	XF2, XF4 si très exposé aux sels	-
Fondations superficielles non immergées (partie enterrée)	XC2	-	-	Pas d'exposition XD, ou XD2 selon salage et distance de la voie franchie	XD2	-	-	-	Selon analyse sol et eau
<b>Appuis (chevêtres sur pieux, piles, chevêtres sur piles, piédroits, culées y compris murs en retour...), parties d'ouvrages en contact avec le terrain, voûtes</b>									
Parties immergées (eau douce**)	XC1	-	-	-	-	-	-	-	Selon analyse sol et eau
Parties en zone de marnage (eau douce**)	XC4	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	Selon analyse sol et eau
Parties enterrées	XC2	-	-	Pas d'exposition XD, ou XD2 selon salage et distance de la voie franchie	XD2	-	-	-	Selon analyse sol et eau
Parties à l'air libre	XC4	-	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XD3	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	XF2, XF4 si très exposé aux sels	-
Faces intérieures des piles ou culées creuses	XC3	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	-
Dalles de transition	XC2	-	-	XD2	XD2	XF1	XF2	XF2	-
<b>Tablier (poutres, hourdis, dalles, caissons, traverses de ponts cadres, entretoises)</b>									
Face supérieure du hourdis protégée par l'étanchéité	XC3	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	-
Faces extérieures	XC4	-	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XF1	XF2	XF2, XF4 si très exposé aux sels	-
Faces intérieures des caissons	XC3	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	-
<b>Équipements et superstructures</b>									
Corniches	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF4	-
Solins de joints de dilatation	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF4	-
Contre-corniches et longrines d'ancrage de barrière de sécurité (non revêtues)	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF4	-
Barrières de sécurité en béton, garde-corps, écrans acoustiques	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF4	-
Massifs d'ancrage (non revêtus) des candélabres, PPHM et panneaux de signalisation	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF4	-
Corniches-caniveaux	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF4	-

\*\* En cas d'eau salée ou saumâtre cf. tableau XII pour la classe XS

\* L'appréciation du salage se réfère le cas échéant à la voie franchie, sauf :

- pour les dalles de transition, solins de joints de dilatation, barrières de sécurité, longrines d'ancrage, massifs d'ancrage d'équipements et garde-corps en béton où on l'apprécie par rapport à la voie portée,

- pour les corniches et corniches caniveaux où on l'apprécie à la fois par rapport à la voie portée et à la voie franchie.

Le salage est considéré comme « peu fréquent » lorsque la moyenne annuelle du nombre de jours de salage estimée sur les 10 dernières années est inférieure à 10, « très fréquent » lorsqu'elle est supérieure ou égale à 30, et « fréquent » entre ces deux cas. En application de la norme NF EN 1992-2 et de son annexe nationale, les parties extérieures d'ouvrages situées à moins de 6 m (horizontalement ou verticalement) d'une chaussée salée sont réputées (très) exposées aux projections de sels de déverglaçage. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties peuvent ne pas être exposées, on considèrera alors la colonne « salage peu fréquent ».

Exemple de tableau :

Ouvrages d'art à l'intérieur des terres en zone de gel faible ou modéré

# BÉTON solutions

## Guide pour le choix des classes d'exposition des ouvrages d'art en béton

>>> LES NOUVEAUX TEXTES NORMATIFS RELATIFS AUX OUVRAGES EN BÉTON PRENNENT EN COMPTE LA DURABILITÉ, EN S'APPUYANT SUR LA NOTION DE CLASSE D'EXPOSITION. CES CLASSES TRADUISENT LES ACTIONS DUES À L'ENVIRONNEMENT AUXQUELLES LE BÉTON ET LES ARMATURES DE L'OUVRAGE OU DE CHAQUE PARTIE D'OUVRAGE VONT ÊTRE EXPOSÉS PENDANT LA DURÉE DE SERVICE DE LA STRUCTURE. LES CLASSES D'EXPOSITION PERMETTENT AINSI D'OPTIMISER LA FORMULATION DES BÉTONS ET LA CONCEPTION DES OUVRAGES EN VUE DE LEUR DURABILITÉ.



→ **En mer**  
ou à moins de 100 m de la côte p.17



→ **Littoral**  
à moins de 1 km de la côte p.18



→ **Gel faible**  
ou modéré p.19



→ **Gel sévère** p.20

# BÉTON solutions

## Guide pour le choix des classes d'exposition des ouvrages divers de Génie Civil

>>> LES NOUVEAUX TEXTES NORMATIFS RELATIFS AUX OUVRAGES EN BÉTON PRENNENT EN COMPTE LA DURABILITÉ, EN S'APPUYANT SUR LA NOTION DE CLASSE D'EXPOSITION. CES CLASSES TRADUISENT LES ACTIONS DUES À L'ENVIRONNEMENT AUXQUELLES LE BÉTON ET LES ARMATURES DE L'OUVRAGE OU DE CHAQUE PARTIE D'OUVRAGE VONT ÊTRE EXPOSÉS PENDANT LA DURÉE DE SERVICE DE LA STRUCTURE. LES CLASSES D'EXPOSITION PERMETTENT AINSI D'OPTIMISER LA FORMULATION DES BÉTONS ET LA CONCEPTION DES OUVRAGES EN VUE DE LEUR DURABILITÉ.



→ **En mer**  
ou à moins de 100 m de la côte p.03



→ **Littoral**  
à moins de 1 km de la côte p.04



→ **Gel faible**  
ou modéré p.05



→ **Gel sévère** p.06

Guides rédigés par l' Ecole Française du Béton

# B É T O N solutions

## Guide pour le choix des classes d'exposition des ouvrages maritimes et fluviaux en béton

>>>> LES NOUVEAUX TEXTES NORMATIFS RELATIFS AUX OUVRAGES EN BÉTON

PRENNENT EN COMPTE LA DURABILITÉ, EN S'APPUYANT SUR LA NOTION

DE CLASSE D'EXPOSITION. CES CLASSES TRADUISENT LES ACTIONS DUES

À L'ENVIRONNEMENT AUXQUELLES LE BÉTON ET LES ARMATURES DE L'OUVRAGE

OU DE CHAQUE PARTIE D'OUVRAGE VONT ÊTRE EXPOSÉS PENDANT LA DURÉE

DE SERVICE DE LA STRUCTURE.

LES CLASSES D'EXPOSITION PERMETTENT AINSI D'OPTIMISER LA FORMULATION

DES BÉTONS ET LA CONCEPTION DES OUVRAGES EN VUE DE LEUR DURABILITÉ.



→ **Ouvrages portuaires**

p.04



→ **Ouvrages côtiers**

p.06



→ **Ouvrages fluviaux**

p.07

SB-0A 2010-2

CONSTRUCTION MODERNE • 1

# B É T O N solutions

## Guide pour le choix des classes d'exposition des tunnels routiers creusés

>>>> LES NOUVEAUX TEXTES NORMATIFS RELATIFS AUX OUVRAGES EN BÉTON

PRENNENT EN COMPTE LA DURABILITÉ, EN S'APPUYANT SUR LA NOTION

DE CLASSE D'EXPOSITION. CES CLASSES TRADUISENT LES ACTIONS DUES

À L'ENVIRONNEMENT AUXQUELLES LE BÉTON ET LES ARMATURES DE L'OUVRAGE

OU DE CHAQUE PARTIE D'OUVRAGE VONT ÊTRE EXPOSÉS PENDANT LA DURÉE

DE SERVICE DE LA STRUCTURE.

LES CLASSES D'EXPOSITION PERMETTENT AINSI D'OPTIMISER LA FORMULATION

DES BÉTONS ET LA CONCEPTION DES OUVRAGES EN VUE DE LEUR DURABILITÉ.



→ **En mer**

ou à moins de 100 m de la côte

p.03



→ **Littoral**

à moins de 1 km de la côte

p.04



→ **Gel faible**

ou modéré

p.05



→ **Gel sévère**

p.06

SB-0A 2010-3

CONSTRUCTION MODERNE • 1

Guides rédigés par l' Ecole Française du Béton

Tableau 3 - Ouvrages d'art à l'intérieur des terres en zone de gel faible ou modéré

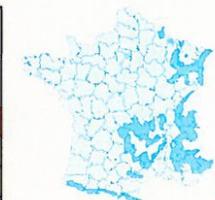
PARTIES D'OUVRAGE	XC	XS	XD			XF			XA
			salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage très fréquent*	salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage très fréquent*	
<b>FONDATIONS (PIEUX, BARRETTES, PUIITS MAROCAINS, BÉTONS DE BLOCAGE, SEMELLES, RADIER...)</b>									
Fondations de tous types entièrement immergées (eau douce**)	XC1	-	-	-	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
Fondations de tous types en zone de marnage (eau douce**)	XC4	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	selon analyse sol et eau
Fondations profondes enterrées hors eau de mer	XC2	-	-	pas d'exposition XD ou XD2 selon salage et distance de la voie franchie	XD2	-	-	-	selon analyse sol et eau
Fondations superficielles non immergées (partie aérienne)	XC4	-	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XD3	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	XF2, XF4 si très exposé aux sels	-
Fondations superficielles non immergées (partie enterrée)	XC2	-	-	pas d'exposition XD ou XD2 selon salage et distance de la voie franchie	XD2	-	-	-	selon analyse sol et eau
<b>APPUIS (CHEVÈTRES SUR PIEUX, CHEVÈTRES SUR PILES, PIÉDROITS, CULÉES Y COMPRIS MURS EN RETOUR...), PARTIES D'OUVRAGES EN CONTACT AVEC LE TERRAIN, VOUTES</b>									
Parties immergées (eau douce**)	XC1	-	-	-	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
Parties en zone de marnage (eau douce**)	XC4	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	selon analyse sol et eau
Parties enterrées	XC2	-	-	pas d'exposition XD ou XD2 selon salage et distance de la voie franchie	XD2	-	-	-	selon analyse sol et eau
Parties à l'air libre	XC4	-	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XD3	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	XF2, XF4 si très exposé aux sels	-
Faces intérieures des piles ou culées creuses	XC3	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	-
Dalles de transition	XC2	-	-	XD2	XD2	XF1	XF2	XF2	-
<b>TABLIER (POUTRES, HOURDIS, DALLES, CAISSONS, TRAVERSES DE PONTS CADRES, ENTRETOISES)</b>									
Face supérieure du hourdis protégée par l'étanchéité	XC3	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	-
Faces extérieures	XC4	-	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XF1	XF2	XF2, XF4 si très exposé aux sels	-
Faces intérieures des caissons	XC3	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	-
<b>ÉQUIPEMENTS ET SUPERSTRUCTURES</b>									
Corniches	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF4	-
Solins de joints de dilatation	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF4	-
Contre-corniches et longrines d'ancrage de barrière de sécurité (non revêtues)	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF4	-
Barrières de sécurité en béton, garde-corps, écrans acoustiques	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF4	-
Massifs d'ancrage (non revêtus) des candélabres, PPHM et panneaux de signalisation	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF4	-
Corniches-caniveaux	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF4	-

\* L'appréciation du salage se réfère le cas échéant à la voie franchie, sauf :

- pour les dalles de transition, solins de joints de dilatation, barrières de sécurité, longrines d'ancrage, massifs d'ancrage d'équipements et garde-corps en béton où on l'apprécie par rapport à la voie portée ;
- pour les corniches et corniches-caniveaux où on l'apprécie à la fois par rapport à la voie portée et à la voie franchie.

Le salage est considéré comme "peu fréquent" lorsque la moyenne annuelle du nombre de jours de salage estimée sur les 10 dernières années est inférieure à 10, "très fréquent" lorsqu'elle est supérieure ou égale à 30, et "fréquent" entre ces deux cas. En application de la norme NF EN 1992-2 et de son annexe nationale, les parties extérieures d'ouvrages situées à moins de 6 m (horizontalement ou verticalement) d'une chaussée salée sont réputées (très) exposées aux projections de sels de déverglaçage. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties peuvent ne pas être exposées, on considèrera alors la colonne "salage peu fréquent".

\*\* En cas d'eau salée ou saumâtre cf. tableau 1 pour la classe XS



Y compris Antilles et DOM-TOM.



Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme



RECOMMANDATIONS  
POUR  
LA PREVENTION DES DESORDRES  
DUS A  
L'ALCALI-REACTION



LCPC - Paris : 58, bd Lefebvre - F 75732 Paris Cedex 15 - ☎ 33-(1)40 43 50 00 - télex : lcpari 200361 F - télécopie : 33-(1)40 43 54 99  
LCPC - Centre de Nantes : BP 19 - F 44340 Bouguenais - ☎ 33-40 84 58 00 - télex : lcnant 710805 F - télécopie : 33-40 84 59 99



techniques et méthodes  
des laboratoires des ponts et chaussées



Guide technique

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

Les classes d'exposition sont également prises en compte pour la détermination du niveau de prévention contre la RAG (recommandations 1994) ou contre la RSI (recommandations 2007) où l'on croise catégorie d'ouvrage et classe d'exposition