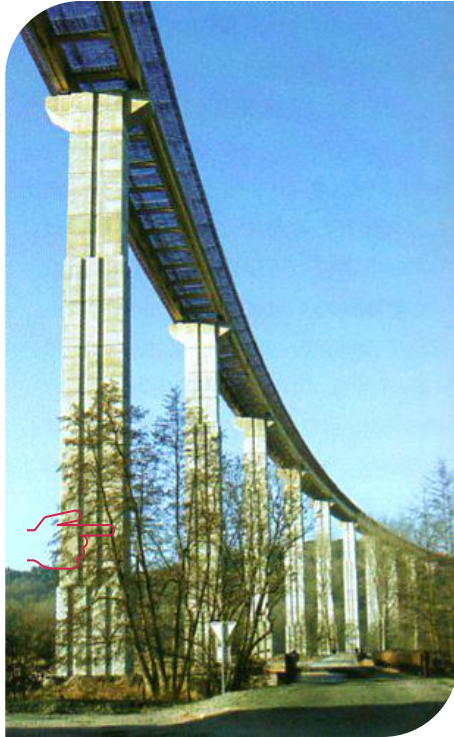


CHOIX DES CLASSES D'EXPOSITION SELON LA NORME NF EN 206+A2/CN



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

BIEN PRESCRIRE LES BETONS



Pour chaque partie d'ouvrage en béton il est nécessaire de prendre en compte son **environnement** (géographique, climatique...), **sa destination** (pont routier, bassin...) **et ses conditions d'exploitation** pendant la durée totale d'utilisation attendue.

On va pouvoir ainsi définir les classes d'exposition permettant aux bétons mis en œuvre de mieux résister aux différentes agressions identifiées :

- ❖ Localisation de l'ouvrage. Exemples :
 - montagne (risques hivernaux),
 - bord de mer (résistance aux chlores)
 - ...
- ❖ Fondations de l'ouvrage : agressivité chimique des sols et des eaux souterraines éventuelles. Ces analyses doivent être incluse aux pièces de l'Appel d'Offre
- ❖ Usage plus ou moins fréquent de sels de déverglaçage en phase exploitation
- ❖ Etc...

Le choix des classes d'exposition de chaque partie d'ouvrage est de la responsabilité du maître d'ouvrage.

Ces classes d'exposition pour chaque partie d'ouvrage doivent être prescrites dans le CCTP par son rédacteur.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

La classe d'exposition a une forte incidence sur :

Le béton

- Le choix des constituants (ciment, granulats, additions, adjuvants)
- Le dosage en ciment (ou en liant équivalent) et le rapport E/C (Eau efficace / Liant eq.)
- Sa classe de résistance



L'enrobage et le dimensionnement des armatures

Nota : Les agressions peuvent être différentes d'une face à l'autre d'un élément béton. Il convient de choisir :

- ❖ *La classe d'exposition la plus protectrice pour le béton mis en oeuvre*
- ❖ *La classe d'exposition différenciée pour chaque face d'un élément pour le calcul des enrobages*



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Les classes d'expositions traduisent l'influence de l'environnement sur les bétons de l'ouvrage, mais aussi sur l'ouvrage lui-même, via une potentielle dégradation des armatures.

Deux types d'agressions peuvent ainsi être distingués :

- Les **attaques sur le matériau béton**,
- Les **agressions sur les armatures du béton**.



Cette partie ne traite que des classes d'exposition définies par la norme NF EN 206+A2/CN.

**Les classes XH et XAR sont traitées respectivement
dans les recommandations relatives à la RSI et à la RAG.**

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les **attaques du matériau béton** :

- X0** Béton non armé ne subissant aucune agression
- XF** Béton exposé, soumis à des cycles gel/dégel
- XA** Béton soumis à des attaques chimiques

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les attaques du matériau béton : **X0** Béton non armé ne subissant aucune agression

Pour le béton non armé et sans pièces métalliques noyées :

- toutes les expositions sauf l'attaque chimique ou le gel-dégel.

Pour le béton armé ou avec des pièces métalliques : en milieu très sec.

Nota : Un béton est réputé non armé au sens de la classe X0, s'il ne contient aucune armature ou s'il est faiblement armé avec un enrobage d'au moins 5 centimètres.



Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les attaques du matériau béton : **XF** Béton soumis à des cycles gel/dégel

En France, le choix de la classe d'exposition au gel-dégel est déterminé

- Par rapport à l'intensité de gel et à la fréquence de salage

Et non par l'état de saturation du béton (version EU)

Tableau NA.1 — Classes d'expositions 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 ^a
Sévère	XF3	XF3	XF4	XF4
^a À l'exception des chaussées en béton et des éléments d'ouvrages d'art très exposés qui seront classés en XF4.				

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les attaques du matériau béton : **XF** Béton soumis à des cycles gel/dégel

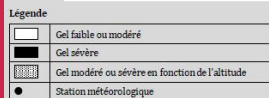
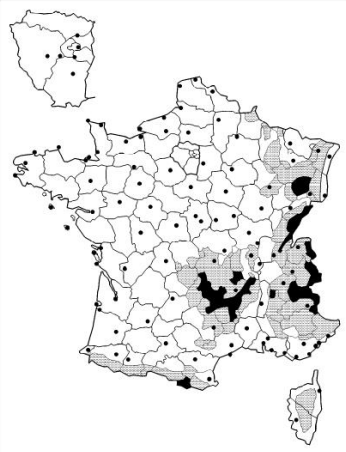


Figure NA.2 — Carte des zones de gel en France

Les niveaux de gel sont définis dans le Fascicule de Documentation FD P 18-326

La carte de la norme NF EN 206/CN donne une indication du niveau de salage recommandé, mais il conviendra de prendre en compte les pratiques réelles.

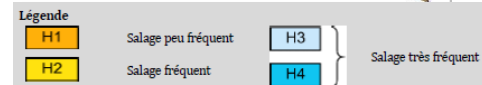
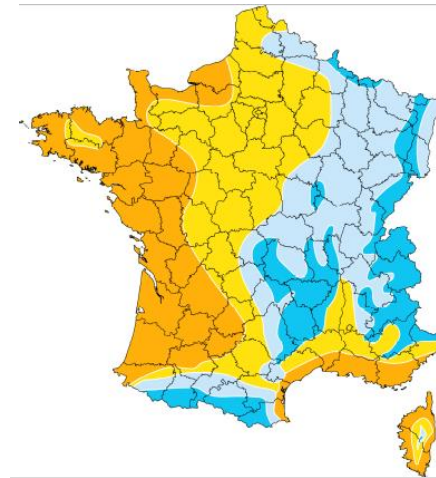


Figure NA.3 — Carte des zones de salage en France

Peu fréquent :
- de 10 jours de salage
Très fréquent
+ 30 jours de salage
« fréquent »
entre ces deux cas

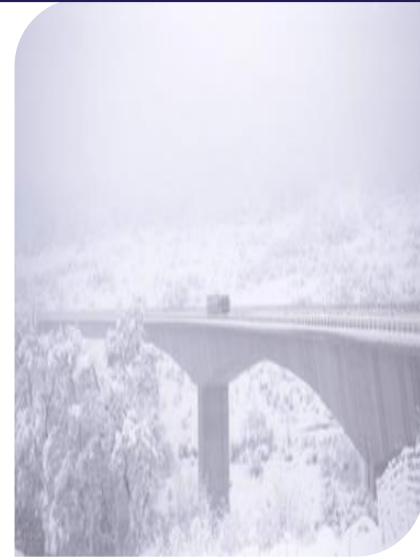
Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les attaques du matériau béton : **XF** Béton soumis à des cycles gel/dégel

Dans le cas d'ouvrages d'art, l'appréciation du salage se réfère à la voie franchie par l'ouvrage sauf :

- pour les dalles de transition, solins de joints de dilatation, barrières de sécurité en béton, 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**.



Note : Pour des ouvrages particuliers, des prescriptions complémentaires peuvent être trouvée dans la recommandation « prescriptions complémentaires vis-à-vis de la durabilité au gel »

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

BIEN PRESCRIRE LES BETONS

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les attaques du matériau béton : **XA** Béton soumis à des attaques chimiques

Le Fascicule de Documentation FD P 18-011

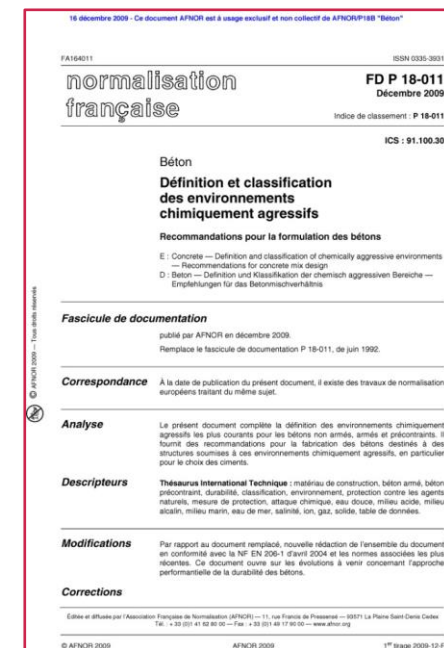
« *Bétons – Définitions et classification des environnements chimiquement agressifs - Recommandations pour la formulation des bétons* » donne les règles de classification de ces environnements.

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

La norme NF EN 206/CN définit 3 classes d'exposition correspondant à 3 niveaux d'agressivité chimique :

- **XA1** Environnement à faible agressivité chimique
- **XA2** Environnement d'agressivité chimique modérée
- **XA3** Environnement à forte agressivité chimique

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre



DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant les attaques du matériau béton : **XA Béton soumis à des attaques chimiques**

Agressivité chimique liée aux eaux et autres effluents

Pour les parties d'ouvrages en contact avec la nappe, la détermination de la classe d'exposition se fait à partir de l'analyse de l'eau souterraine

Agressivité chimique liée aux sols hors présence de la nappe

Pour les parties d'ouvrages enterrés hors présence de la nappe, la détermination de la classe d'exposition se fait à partir de l'analyse du sol.

Agressivité chimique liée aux gaz

Nota : si le degré d'agressivité des solutions, des sols et des gaz dépasse les concentrations de la classe XA3, il est nécessaire de prévoir une protection externe (enduits, revêtements) ou interne (imprégnation).

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant **l'agression des armatures** :

- XC** Béton soumis à la carbonatation
- XS** Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer
- XD** Corrosion induite par des chlorures ayant une origine autre que marine

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant l'agression des armatures:

XC

Corrosion par carbonatation

XC1 : les parties d'ouvrages à l'abri de la pluie. C'est le cas notamment des bétons en intérieur des bâtiments ;

XC2 : les parties d'ouvrages au contact de l'eau à long terme. C'est le cas notamment des fondations en zone humide, des réservoirs, etc. ;

XC3 : les parties d'ouvrages à l'abri de la pluie mais non closes, ou exposées à des condensations importantes à la fois par leur fréquence et leur durée ;

XC4 : les parties aériennes d'ouvrages d'art et les parties extérieures des bâtiments non protégées de la pluie, comme par exemple les façades, les pignons et les parties saillantes à l'extérieur



CLASSES D'EXPOSITION	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT
XC1	Sec ou Humide en permanence
XC2	Humide, rarement sec
XC3	Humidité modérée
XC4	Alternance d'humidité et de séchage

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant l'agression des armatures:

XS

Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer *

XD

Corrosion induite par des chlorures ayant une origine autre que marine *

* Nouvelles sous-classes pour l'approche performantielle : XD3f & XD3tf ; XS3m & XS3e

Non exposés aux embruns mais directement exposés à l'air salin - En général situés à moins de 1 km de la côte

CLASSES D'EXPOSITION	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT
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 soumises à des projections ou à des embruns
XD1	Humidité modérée
XD2	Humide, rarement sec
XD3	Alternance d'humidité et de séchage



En général situés à moins de 100 m de la côte

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

DEFINITION DES CLASSES D'EXPOSITION

Classes concernant l'agression des armatures:

XS Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer *

XD Corrosion induite par des chlorures ayant une origine autre que marine *

* Nouvelles sous-classes pour l'approche performantielle : XD3f & XD3tf ; XS3m & XS3e

Les classes XS2 et XS3 couvrent l'attaque chimique du béton par l'eau de mer par l'imposition d'un ciment de **caractéristique complémentaire PM**.

Les éléments en béton non armé (habituellement classés en X0) situés en zone de marnage et/ou exposés aux embruns (<100 m de la côte) sont à classer en XA1 pour prendre en compte l'agressivité chimique de l'eau de mer.

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

IMPACT DU CHOIX DE LA CLASSE D'EXPOSITION SUR LE CHOIX DES MATERIAUX

CHOIX DES CEMENTS

- **Classes XA : Attaques chimiques**

- Une recommandation pour le choix des ciments et des additions éventuelles est donnée dans le Fascicule de Documentation FD P 18-011 « *Bétons – Définitions et classification des environnements chimiquement agressifs - Recommandations pour la formulation des bétons* ».



- **Classes XF : Attaque gel/dégel**

- Pour la classe XF4 (et pour la classe XD3 si celle-ci provient de l'utilisation d'un sel de déverglage), utiliser un ciment SR conforme à la NF EN 197-1 (+ caractéristiques complémentaires Françaises) ou un ciment conforme à la norme NF P 15-317 (PM) ou à la norme NF P 15-319 (ES).

- **Classes XS : Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer**

- Pour les classes XS2 et XS3 utiliser un ciment PM.

IMPACT DU CHOIX DE LA CLASSE D'EXPOSITION SUR LE CHOIX DES MATERIAUX

CHOIX DES GRANULATS

Pour les bétons XF4 et XA3 les granulats doivent :

- présenter une absorption d'eau* (WA24 pour les gravillons, Ab pour les sables) indiquée A (< 2,5 %),
- autres caractéristiques au minimum indicées B.



Pour les classes XF3 et XF4, les granulats doivent :

- être non gélifs au sens de la norme NF P 18-545.



*** L'attention du rédacteur du CCTP est attirée sur la disponibilité locale du granulat qui doit être vérifiée**



CHOIX DES ADDITIONS


Taux de substitution défini par tableaux NA.F1, NA.F2, NA.F3 et NA.F4 de la norme NF EN 206+A2/CN.

BIEN PRESCRIRE LES BETONS

LE ROLE DES CLASSES D'EXPOSITION

Incidence de la classe d'exposition sur la composition du béton:
Les tableaux NA F de la norme NF EN 206+A2/CN



<div></div>		CLASSES D'EXPOSITION																	
		Aucun risque de corrosion ou	Corrosion induite par la carbonatation				Corrosion induite par les chlorures						Attaque gel / dégel				Environnements chimiquement agressifs		
							Eau de mer			Autres que l'eau de mer									
			X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
Rapport E _p /liant éq maximal		-	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 minimale en liant éq (kg/m ³)		150	260	260	280	280	330	330	350	280	330	350	280	300	315	340	330	350	360
Teneur minimale en air (%)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	-	-	-	-
Essai(s) de performances		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NF P18-425 et	NF P18-425 (ou)	NF P18-425 (ou)	-	-	-
Combinaison CEM I + addition	Rapport maximal A / (A+C)	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	0,30	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
		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
		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	0,15	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	0,30	0,25	0,25	0,05	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	0,25	0,25	0,25	0,05	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	0,25	0,20	0,20	0,00	0,20	0,20
Combinaison CEM II/A + addition	Rapport maximal A / (A+C)	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	0,00	0,20	0,20	0,20
		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
		Métakaolin type A	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	0,00	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	0,10	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
Nature du ciment		-	-	-	-	-	-	PM	PM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

LE ROLE DES CLASSES D'EXPOSITION

Incidence de la classe d'exposition sur la composition du béton:

Les tableaux NA F de la norme NF EN 206+A2/CN



		CLASSE D'EXPOSITION									
		Aucun risque de corrosion ou X0	Corrosion induite par la carbonatation				Corrosion induite par les chlorures				
							Eau de mer			Autres que	
			XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	
Rapport $E_{\text{tr}}/\text{liant éq}$ maximal		-	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	0,60	
Classe de résistance minimale		-	C20/25	C20/25	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C25/30	
Teneur minimale en liant éq (kg/m ³)		150	260	260	280	280	330	330	350	280	
Teneur minimale en air (%)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Essai(s) de performances		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Combinaison CEM I + addition	Rapport maximal A / (A+C)	Cendres volantes	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	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	
		Métakaolin type A	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	
		Addition calcaire catégorie A	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,05	0,05	0,05	0,30
		Addition calcaire catégorie B	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,05	0,05	0,05	0,25
		Addition siliceuse de minéralogie QZ	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,15	0,15	0,15	0,25
Combinaison CEM II/A + addition	Rapport maximal A / (A+C)	Cendres volantes	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	
		Fumées de silice	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
		Métakaolin type A	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	
		Addition calcaire catégorie A	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10
		Addition siliceuse de minéralogie QZ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nature du ciment		-	-	-	-	-	-	PM	PM	-	

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

**Merci de
votre
attention**