

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

→ Des classes d'exposition conformes à l'Eurocode Béton et à la norme Béton NF EN 206-1

Depuis le 1^{er} avril 2010, les Eurocodes s'imposent comme normes pour les calculs des structures, et en particulier pour les structures en béton(*) :

Ces normes de conception, associées à l'Eurocode 0 (bases de conception) et aux normes définissant les actions (Eurocode 1), sont constituées du texte de la norme européenne et de l'Annexe Nationale correspondante, pour son application en France. Elles sont cohérentes avec l'application de la norme NF EN 206-1. Pour assurer une durabilité satisfaisante des constructions, c'est aux maîtres d'ouvrage et à leurs maîtres d'œuvre de définir, dès le stade de conception, outre la durée d'utilisation de projet, en cohérence avec les dispositions de la norme NF EN 1990, les classes d'exposition traduisant les attaques et risques de corrosion que subiront chaque partie d'ouvrage au cours de la durée d'utilisation de l'ouvrage.

Un groupe de travail a été créé au sein de l'École Française du Béton, afin de réaliser un guide pour aider les rédacteurs de cahiers des charges à choisir les classes d'exposition pour différentes catégories d'ouvrages ou de constructions. Ce fascicule synthétise, en quatre tableaux, les informations nécessaires pour les ouvrages d'art en béton.

Chaque tableau distingue les principales parties d'ouvrages pertinentes au regard des différentes classes d'exposition XCi, XSj, XDj, XFj et XAi à considérer.

- Tableau 1 : ouvrages situés à moins de 100 m (ou à moins de 500 m, selon la topographie) de la côte (risque d'exposition aux embruns)
- Tableau 2 : ouvrages situés à moins de 1 km (ou à moins de 5 km selon la topographie) de la côte (risque d'exposition à l'air véhiculant du sel marin)
- Tableau 3 : ouvrages situés à l'intérieur des terres en zones de gel faible ou modéré
- Tableau 4 : ouvrages situés à l'intérieur des terres en zones de gel sévère.

HENRY THONIER, EGF-BTP

Mode d'emploi des tableaux

L'aide au choix des classes d'exposition est déclinée, pour les classes d'exposition liées aux risques de carbonata-

tion, agression par les chlorures, gel-dégel et attaques chimiques, en quatre tableaux (1 à 4 ci-après) portant en lignes les parties d'ouvrages, et en colonnes les risques considérés, avec, pour certains risques, différents niveaux de sévérité, correspondant à des sous-colonnes**).

Ces tableaux correspondent à quatre zones d'environnement (liées notamment à la localisation géographique de l'ouvrage) exclusives pour la France métropolitaine et la plupart des DOM-TOM. La définition de ces zones fait référence, en particulier, à la clause 4.2 (2) de l'Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-1-1, en termes de distance à la côte et de sévérité du gel. Pour les quelques territoires soumis à la fois à un environnement maritime et au gel sévère, il convient d'utiliser les indications des tableaux 1 ou 2, liés à l'environnement maritime pour les classes d'exposition XC et XS, et celles du tableau 4 lié à l'environnement en zone de gel sévère pour les autres classes, notamment XD et XF.

Dans l'aide au choix des classes d'exposition vis-à-vis du gel (XF), il est tenu compte des interprétations actualisées de la norme NF EN 206-1, en cours d'harmonisation avec les autres textes.

Précisions sur le salage

En application de la clause 4.2 (2) de l'Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-1-1 (notes 4 et 6), le choix de la classe XD1, XD2 ou XD3 se réfère non seulement à l'effet aggravant des cycles d'humidification / séchage, selon les indications du tableau 4.1 de la norme NF EN 1992-1-1, mais également à la fréquence de salage des chaussées.

Dans les tableaux 1 à 4, 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.

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 l'Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-2, les parties extérieures d'ouvrages situées à moins de 6 m (horizontalement ou verticalement) d'une chaussée salée sont réputées exposées ou très exposées aux projections de sels de déverglaçage, selon la fréquence du salage. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties d'ouvrages peuvent ne pas être exposées aux effets du salage (appuis d'un ouvrage franchissant un vallon sans voie de communication, partie supérieure du tablier d'un ouvrage ferroviaire, par exemple), on considèrera alors pour ces parties d'ouvrages la colonne "salage peu fréquent".

Précision importante

Dans tous les tableaux qui suivent, les classes indiquées ne tiennent pas compte des défauts d'entretien de l'ouvrage et de ses équipements, quelquefois constatés. Il est rappelé notamment que l'évacuation des eaux doit être bien conçue et entretenue durant toute la durée d'utilisation de l'ouvrage, et que le défaut d'entretien ne doit pas être pris en compte à la conception, par exemple en surclassant le niveau d'agressivité de l'environnement. Ceci concerne notamment les chevêtres sur appuis. ■

FRANÇOIS TOUTLEMONDE, LCPC ; PARTICK DANTEG, LRPC-CLERMONT

(*) NF EN 1992-1-1 – *Calcul des structures en béton* –

Partie 1-1 : règles générales et règles pour le bâtiment

NF EN 1992-1-2 – *Calcul des structures en béton* –

Partie 1-2 : règles générales - Calcul du comportement au feu

NF EN 1992-2 – *Calcul des structures en béton* –

Partie 2 : ponts en béton - Calcul et dispositions constructives

NF EN 1992-3 – *Calcul des structures en béton* –

Partie 3 : silos et réservoirs

(**) Dans ces tableaux le tiret "-" indique que l'agression en question n'est pas à prendre en compte pour la partie d'ouvrage considérée.

Tableau 1 – Ouvrages d'art situés en mer, ou à moins de 100 m de la côte

(ou jusqu'à 500 m de la côte, suivant la topographie particulière, lorsque les parties aériennes sont soumises à un risque d'exposition aux embruns)

PARTIES D'OUVRAGE	XC	XS	XD		XF		XA
			salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage peu fréquent*	salage fréquent*	
	FONDATIONS (PIEUX, BARRETTES, PUIS MAROCAINS, BÉTONS DE BLOCAGE, SEMELLES, RADIER, ...)						
Fondations de tous types entièrement immergées	XC1	XS2	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
Fondations de tous types en zone de marage	XC4	XS3	-	-	XF1	XF1	selon analyse sol et eau
Fondations profondes enterrées hors eau de mer	XC2	XS1**	-	pas d'exposition XD ou XD2 selon salage et distance de la voie franchie	-	-	selon analyse sol et eau
Fondations superficielles non immergées (partie aérienne)	XC4	XS3	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	-
Fondations superficielles non immergées (partie enterrée)	XC2	XS1**	-	pas d'exposition XD ou XD2 selon salage et distance de la voie franchie	-	-	selon analyse sol et eau
APPUIS (CHEVÈTRES SUR PIEUX, PILES, CHEVÈTRES SUR PILES, PIÉDROITS, CULÉES Y COMPRIS MURS EN RETOUR, ...), PARTIES D'OUVRAGES EN CONTACT AVEC LE TERRAIN, VOÛTES							
Parties immergées	XC1	XS2	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
Parties en zone de marage	XC4	XS3	-	-	XF1	XF1	selon analyse sol et eau
Parties enterrées	XC2	XS1**	-	pas d'exposition XD ou XD2 selon salage et distance de la voie franchie	-	-	selon analyse sol et eau
Parties à l'air libre	XC4	XS3	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	-
Faces intérieures des piles ou culées creuses	XC3	XS1	-	-	XF1	XF1	-
Dalles de transition	XC2	XS1**	-	XD2	XF1	XF2	-
TABLIER (POUTRES, HOURDIS, DALLES, CAISSONS, TRAVERSES DE PONTS CADRES, ENTRETOISES)							
Face supérieure du hourdis protégée par l'échancré	XC3	-	-	-	XF1	XF1	-
Faces extérieures	XC4	XS3	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XF1	XF1 ou XF2 selon salage et distance de la voie franchie	-
Faces intérieures des caissons	XC3	XS1	-	-	XF1	XF1	-
ÉQUIPEMENTS ET SUPERSTRUCTURES							
Corniches	XC4	XS3	-	XD1 ou XD3 selon salage	XF1	XF2	-
Solins de joints de dilatation	XC4	XS3	-	XD3	XF1	XF2	-
Contre-corniches et longrines d'ancrage de barrière de sécurité (non revêtues)	XC4	XS3	-	XD3	XF1	XF2	-
Barrières de sécurité en béton, garde-corps, écrans acoustiques (non revêtues)	XC4	XS3	-	XD3	XF1	XF2	-
Massifs d'ancrage (non revêtus) des candélabres, PPHM et panneaux de signalisation	XC4	XS3	-	XD3	XF1	XF2	-
Corniches-caniveaux	XC4	XS3	-	XD3	XF1	XF2	-

* 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 considérera alors la colonne "salage peu fréquent".

** XS1 correspond ici à un risque de ruissellement et d'infiltration de chlorures marins pour les parties enterrées. Ceci constitue une interprétation de la norme cohérente avec les errements actuels pour les parties de bâtiment.



Y compris Antilles
et DOM-TOM.



Y compris Antilles
et DOM-TOM.

Tableau 2 - Ouvrages d'art situés à moins de 1 km de la côte

(ou jusqu'à 5 km de la côte, suivant la topographie particulière) lorsque les parties aériennes de ces ouvrages sont exposées à un air véhiculant du sel marin, mais pas directement aux embruns

PARTIES D'OUVRAGE	XC	XS	XD		XF		XA
			salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage peu fréquent*	salage fréquent*	
FONDATIONS (PIEUX, BARRETTES, PUITS MAROCAINS, BÉTONS DE BLOCAGE, SEMELLES, RADIERs,...)							
Fondations de tous types entièrement immergées (rivière ou eau saumâtre ou marée)	XC1	XS2	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
Fondations de tous types en zone de marnage (rivière ou eau saumâtre ou marée)	XC4	XS3	-	-	XF1	XF1	selon analyse sol et eau
Fondations profondes enterrées hors eau	XC2	-	-	pas d'exposition XD ou XD2 selon salage et distance de la voie franchie	-	-	selon analyse sol et eau
Fondations superficielles non immergées (partie aérienne)	XC4	XS1	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XF1	XF1, XF2 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	-	-	selon analyse sol et eau
APPUIS (CHEVÈTRES SUR PILES, PIÈDROITS, CULÉES Y COMPRIS MURS EN RETOUR,...), PARTIES D'OUVRAGES EN CONTACT AVEC LE TERRAIN, VOÛTES							
Parties immergées (rivière ou eau saumâtre ou marée)	XC1	XS2	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
Parties en zone de marnage (rivière ou eau saumâtre ou marée)	XC4	XS3	-	-	XF1	XF1	selon analyse sol et eau
Parties enterrées	XC2	-	-	pas d'exposition XD ou XD2 selon salage et distance de la voie franchie	-	-	selon analyse sol et eau
Parties à l'air libre	XC4	XS1	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	-
Faces intérieures des piles ou culées creuses	XC3	-	-	-	XF1	XF1	-
Dalles de transition	XC2	-	-	XD2	XF1	XF2	-
TABLIER (POUTRES, HOURDIS, DALLES, CAISSONS, TRAVERSES DE PONTS CADRES, ENTRETOISES)							
Face supérieure du hourdis protégée par l'éclanchéité	XC3	-	-	-	XF1	XF1	-
Faces extérieures	XC4	XS1	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XF1	XF1 ou XF2 selon salage et distance de la voie franchie	-
Faces intérieures des caissons	XC3	-	-	-	XF1	XF1	-
ÉQUIPEMENTS ET SUPERSTRUCTURES							
Corniches	XC4	XS1	-	XD1 ou XD3 selon salage	XF1	XF2	-
Solins de joints de dilatation	XC4	XS1	-	XD3	XF1	XF2	-
Contre-corniches et longrines d'ancrage de barrière de sécurité (non revêtues)	XC4	XS1	-	XD3	XF1	XF2	-
Barrières de sécurité en béton, garde-corps, écrans acoustiques	XC4	XS1	-	XD3	XF1	XF2	-
Massifs d'ancrage (non revêtus) des candélabres, PPHM et panneaux de signalisation	XC4	XS1	-	XD3	XF1	XF2	-
Corniches-caniveaux	XC4	XS1	-	XD3	XF1	XF2	-

* 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 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 considérera alors la colonne "salage peu fréquent".

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



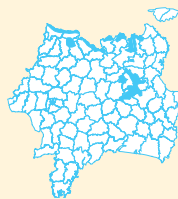
Y compris Antilles
et DOM-TOM.

PARTIES D'OUVRAGE	XC	XS	XD			XF			XA
			salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage très fréquent*	salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage très fréquent*	
FONDATIONS (PIEUX, BARRETTES, PUIS MAROCAINS, BÉTONS DE BLOCAGE, SEMELLES, RADIER, VOÛTES...)									
Fondations de tous types entièrement immergées (eau douce**)	XC1	-	-	-	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
Fondations de tous types en zone de marée (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
APPUI (CHEVÈTRES SUR PILES, PIÉDROITS, CULÈES Y COMPRIS MURS EN RETOUR...), PARTIES D'OUVRAGES EN CONTACT AVEC LE TERRAIN, VOÛTES									
Parties immergées (eau douce**)	XC1	-	-	-	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
Parties en zone de marée (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	-
Facès intérieurs des piles ou culées creuses	XC3	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	-
Dalles de transition	XC2	-	-	XD2	XD2	XF1	XF2	XF2	-
TABLIER (POUTRES, HOURDIS, DALLES, CAISSONS, TRAVERSES DE PONTS CADRES, ENTRETOISES)									
Face supérieure du hourdis protégée par l'étanchéité	XC3	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	-
Facès extérieurs	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	-
Facès intérieurs des caissons	XC3	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	-
ÉQUIPEMENTS ET SUPERSTRUCTURES									
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 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 déneigement. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties peuvent ne pas être exposées, on considérera alors la colonne "salage peu fréquent".

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



Y compris Terres
Australes et Antarctiques
Françaises (TAAF) et
Saint-Pierre-et-Miquelon.

Tableau 4 - Ouvrages d'art à l'intérieur des terres en zone de gel sévère

PARTIES D'OUVRAGE	XC	XS	XD			XF		XA
			salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage très fréquent*	salage peu fréquent*	salage très fréquent*	
FONDATIONS (PIEUX, BARRETTES, PUIS MAROCAINS, BÉTONS DE BLOCAGE, SEMELLES, RADIERs,...)								
Fondations de tous types entièrement immergées (eau douce**)	XC1	-	-	-	-	XF3	XF3	selon analyse sol et eau
Fondations de tous types en zone de marnage (eau douce**)	XC4	-	-	-	-	XF3	XF3	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	XF3	XF3	selon analyse sol et eau
Fondations superficielles non immergées (partie aérienne)	XC4	-	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XD3	XF3	XF3, 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	XF3	XF3	selon analyse sol et eau
APPUIS (CHEVÈTRES SUR PIEUX, PILES, CHEVÈTRES SUR PILES, PIÉDROITS, CULÉES Y COMPRIS MURS EN RETOUR,...), PARTIES D'OUVRAGES EN CONTACT AVEC LE TERRAIN, VOÛTES								
Parties immergées (eau douce**)	XC1	-	-	-	-	XF3	XF3	selon analyse sol et eau
Parties en zone de marnage (eau douce**)	XC4	-	-	-	-	XF3	XF3	selon analyse sol et eau
Parties enterrées	XC2	-	-	pas d'exposition XD ou XD2 selon salage et distance de la voie franchie	XD2	XF3	XF3	selon analyse sol et eau
Parties à l'air libre	XC4	-	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XD3	XF3	XF3, XF4 si très exposé aux sels	-
Facès intérieures des piles ou culées creuses	XC3	-	-	-	-	XF3	XF3	-
Dalles de transition	XC2	-	-	XD2	XD2	XF3	XF3	-
TABLIER (POUTRES, HOURDIS, DALLES, CAISSONS, TRAVERSES DE PONTS CADRES, ENTRETOISES)								
Face supérieure du hourdis protégée par l'étanchéité	XC3	-	-	-	-	XF3	XF3	-
Facès extérieurs	XC4	-	-	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XD1 ou XD3 selon salage et distance de la voie franchie	XF3	XF3 ou XF4 selon salage et distance de la voie franchie	-
Facès intérieures des caissons	XC3	-	-	-	-	XF3	XF3	-
ÉQUIPEMENTS ET SUPERSTRUCTURES								
Corniches	XC4	-	-	XD3	XD3	XF3	XF4	-
Solins de joints de dilatation	XC4	-	-	XD3	XD3	XF3	XF4	-
Contre-corniches et longrines d'ancrage de barrière de sécurité (non revêtues)	XC4	-	-	XD3	XD3	XF3	XF4	-
Barrières de sécurité en béton, garde-corps, écrans acoustiques	XC4	-	-	XD3	XD3	XF3	XF4	-
Massifs d'ancrage (non revêtus) des candélabres, PPHM et panneaux de signalisation	XC4	-	-	XD3	XD3	XF3	XF4	-
Corniches-caniveaux	XC4	-	-	XD3	XD3	XF3	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 déneigement. 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

→ Bien spécifier les classes d'exposition : quel enjeu ?

Les classes d'exposition constituent, en complément de la durée d'utilisation de projet ("design service life"), la clé d'entrée de la durabilité des ouvrages en béton telle que prise en compte dans les normes actuelles : Eurocode 2, norme béton, norme d'exécution des structures en béton. Leur spécification est de la responsabilité du maître d'ouvrage qui se trouve ainsi engagé dans l'expression des risques et des conditions d'exploitation de la structure qu'il commande. Qu'elle soit traitée de façon prescriptive ou au moins partiellement performantielle, la conception durable de l'ouvrage se trouve gouvernée par cette donnée d'entrée, afin de répondre à l'objectif consistant à s'assurer d'une durée probable de service contractualisée, sans réparation majeure, compte tenu des agressions et risques probables.

Si les classes d'exposition constituent depuis quelques années des concepts connus et mis en pratique parce que participant à la désignation du béton commandé et formulé en application de la norme NF EN 206-1, il est important de noter qu'elles sont aussi à utiliser :

- dès le stade du projet pour la détermination des enrobages (normes : NF EN 1992-1-1, NF EN 1992-2 et leurs annexes nationales, section 4) ;
- dès le stade du projet pour la maîtrise de la fissuration (normes : NF EN 1992-1-1, NF EN 1992-2 et leurs annexes nationales, section 7) ;
- et lors de la construction, pour préciser les spécifications d'exécution dont, par exemple, les classes de cure (norme : NF EN 13670).

Les visées spécifiques des différentes normes qui font référence à ces classes et la multiplicité des praticiens concernés par leur utilisation ont conduit à une nécessaire mise en commun des interprétations, de façon à aider à une spécification homogène et responsable des classes d'exposition, compte tenu des enjeux économiques liés à la durabilité des ouvrages concernés. Tel a été le travail du groupe de l'EFB animé par H. Thonier, s'appuyant pour les différents types d'ouvrages sur le travail des experts concernés. Si ces *Guides d'aide au choix des classes*

d'exposition n'ont pas de statut officiel, ils constituent cependant une indication du consensus technique actuel cohérent avec les niveaux d'exigence prescriptifs et/ou performantiels actuellement associés à ces classes en lien avec les durées d'utilisation de projet de référence actuelles (100 ans pour les ouvrages d'art courants). Ils ont donc en quelque sorte valeur de règles de l'art.

De façon plus fondamentale, ces tableaux traduisent effectivement un état des connaissances et un retour d'expérience qu'un maître d'ouvrage ne peut plus ignorer :

- la prise en compte du risque de corrosion des armatures et parties métalliques des ouvrages par carbonatation du béton, qui concerne pratiquement toutes les structures à des degrés divers, la sévérité du risque étant associée à la fois à l'humidité environnante moyenne (pénétration du gaz carbonique maximale pour une humidité relative comprise entre 40 et 70 %), et à des apports d'eau liquide (intempéries, condensations), le retour d'expérience sur le patrimoine bâti confirmant les analyses et modèles issus de la recherche ;
- la prise en compte du risque de corrosion des armatures et parties métalliques des ouvrages par pénétration des ions chlore, d'origine marine ou non : la pénétration de ces ions est favorisée par les cycles d'humidification-séchage, ce qui explique le niveau maximal de prévention à adopter pour les zones de marnage, soumises aux projections d'embruns ou directement soumises aux projections contenant des sels de déverglaçage ;
- la prise en compte des risques d'attaque chimique du béton et d'attaque physique liée aux cycles de gel-dégel dont le nombre est amplifié par la comitance des sels ;
- le cas échéant, la prise en compte du risque d'abrasion ;
- enfin, le risque accru induit par l'apport éventuel d'eau liquide (immersion, projections ou intempéries), ou d'humidité persistante, dans le cadre de la prévention des désordres dus aux réactions de gonflement du béton et notamment à la Réaction Sulfatique Interne.

Si un effort reste nécessaire pour chacun avant d'atteindre l'aisance parfaite dans l'emploi de ces classes, on peut néanmoins affirmer que la cohérence désormais réelle entre l'ensemble des normes françaises et européennes sur le sujet constitue un atout pour exprimer de façon plus rationnelle l'ambition de durabilité d'un ouvrage et ses contraintes, et pour y répondre en mobilisant le meilleur des pratiques et possibilités en jouant tant sur le matériau béton que sur les dispositions d'enrobage et de ferrailage, la conception d'ensemble et de détail, les dispositifs de protection et la qualité de réalisation.

Dans tous les cas, l'enjeu est de favoriser de façon ouverte l'assurance de la qualité associée aux dispositions classiques liées à la durabilité, et aussi, en particulier dans les environnements sévères, l'émergence de variantes appropriées pour atteindre l'objectif de durabilité. ■

FRANÇOIS TOUTLEMONDE, LCPC

Un groupe de travail a été créé au sein de l'École Française du Béton afin de rédiger des guides destinés à faciliter le choix des classes d'exposition pour différentes catégories d'ouvrages ou de constructions.

Ce Groupe, piloté par Henry Thonier (EGF-BTP), est constitué de membres représentant l'Administration (LCPC, CETMEF, CETU), les bureaux de contrôle (SOCOTEC, APAVE), les fédérations professionnelles (FFB, FNTF, EGF-BTP, UMGO), les entreprises (Eiffage, Bouygues), les organismes techniques professionnels (CERIB, Cimbéton).

La rédaction a été principalement assurée par Laetitia d'Aloia (CETU), Patrick Dantec (LRPC-Clermont), Mokhtar Daoudi (APAVE), Philippe Francisco (CERIB), Patrick Guiraud (Cimbéton), Michel Menguy (LRPC-Saint-Brieuc), Wilfried Pillard (UMGO), Jean-Marc Potier (SNBPE), François Toutlemonde (LCPC).

→ Prévention de la Réaction Sulfatique Interne (RSI)

Le tableau ci-dessous complète l'aide au choix des classes d'exposition. Il est associé à la prévention de la Réaction Sulfatique Interne, en application du guide technique *Recommandations pour la prévention des désordres dus à la Réaction Sulfatique Interne*, publié par le LCPC en août 2007. Ce guide précise en effet : "la norme NF EN 206-1 ne définissant pas de classe d'exposition adaptée à la réaction sulfatique interne, trois classes complémentaires XH1, XH2 et XH3 sont introduites et doivent être spécifiées au CCTP pour chaque

partie d'ouvrage. Les spécifications définies dans ce guide doivent être prises en compte, en complément de celles imposées par la norme NF EN 206-1."

Par analogie avec la démarche de prévention de l'alcali-réaction, le niveau de prévention, et donc les précautions à mettre en œuvre, est associé non seulement à la classe d'exposition XH1, XH2 ou XH3, mais également au choix d'une catégorie d'ouvrage ou d'élément d'ouvrage, I, II ou III, qui relève de la responsabilité du maître d'ouvrage

et dépend "de la nature de l'ouvrage, de sa destination, des conséquences des désordres sur la sécurité souhaitée, et de son entretien ultérieur". La catégorie II comprend "les éléments porteurs de la plupart des bâtiments et les ouvrages de génie civil (dont les ponts courants)" et la catégorie III "les ponts et viaducs exceptionnels", tandis que la catégorie I comprend "les éléments aisément remplaçables". Le tableau 5 ci-dessous intègre cette notion pour aider au choix du niveau de prévention. ■

FRANÇOIS TOUTLEMONDE, LCPC ; PARTICK DANTEC, LRPC-CLERMONT

Tableau 5 - Prévention de la Réaction Sulfatique Interne

Tous ouvrages d'art indépendamment de leur situation géographique

PARTIES D'OUVRAGE	XH (PRÉVENTION RSI)	NIVEAU DE PRÉVENTION RSI	
		Ouvrage courant (de catégorie II)	Ouvrage exceptionnel (de catégorie III)
FONDACTIONS (PIEUX, BARRETTES, PUIXS MAROCAINS, BÉTONS DE BLOCAGE, SEMELLES, RADIER...)			
Fondations de tous types, parties entièrement immergées	XH3	Cs	Ds
Fondations de tous types, parties en zone de marnage	XH3	Cs	Ds
Fondations profondes enterrées hors eau de mer	XH3	Cs	Ds
Fondations superficielles non immergées (partie aérienne)	XH2	Bs	Cs
Fondations superficielles non immergées (partie enterrée)	XH2	Bs	Cs
APPUIS (CHEVÊTRES SUR PIEUX, PILES, CHEVÊTRES SUR PILES, PIÉDROITS, CULÉES Y COMPRIS MURS EN RETOUR...), PARTIES D'OUVRAGES EN CONTACT AVEC LE TERRAIN, VOÛTES			
Parties immergées	XH3	Cs	Ds
Partie en zone de marnage	XH3	Cs	Ds
Parties enterrées	XH2	Bs	Cs
Parties à l'air libre	XH2	Bs	Cs
Faces intérieures des piles ou culées creuses	XH1	As	
Dalles de transition	XH2	Bs	
TABLIER (POUTRES, HOURDIS, DALLES, CAISSONS, TRAVERSES DE PONTS CADRES, ENTRETOISES)			
Face supérieure du hourdis protégée par l'étanchéité	XH2	Bs	Cs
Faces extérieures	XH2	Bs	Cs
Faces intérieures des caissons	XH2	Bs	Cs
ÉQUIPEMENTS ET SUPERSTRUCTURES			
Corniches	XH2	Bs	
Solins de joints de dilatation	XH3	As	
Contre-corniches et longrines d'ancrage de barrière de sécurité (non revêtues)	XH3	Cs	
Barrières de sécurité en béton, garde-corps, écrans acoustiques	XH2	As	
Massifs d'ancrage (non revêtus) des candélabres, PPHM et panneaux de signalisation	XH3	Cs	
Corniches-caniveaux	XH3	Cs	