

CONCEVOIR, CONSTRUIRE ET GERER DES STRUCTURES DURABLES EN BETON
Approche performantielle et évolutions normatives

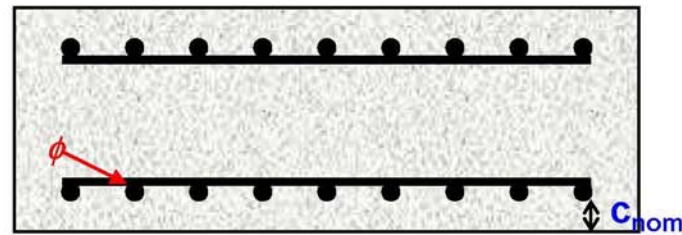
Enrobage des armatures

Jean-Pierre BRETON
CEREMA – DTer Sud-Ouest –
Département Ouvrages d'Art



Toulouse
9 décembre 2014

Enrobage selon l'EC2 (section 4)



$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

(2)P L'enrobage nominal doit être spécifié sur les plans. Il est défini comme l'enrobage minimal c_{min} (voir 4.4.1.2) plus une marge de calcul pour tolérances d'exécution Δc_{dev} (voir 4.4.1.3) :

$$c_{\text{min}} = \max \{ c_{\text{min},b} ; c_{\text{min},\text{dur}} + \Delta c_{\text{dur},\gamma} - \Delta c_{\text{dur},\text{st}} - \Delta c_{\text{dur},\text{add}} ; 10 \text{ mm} \}$$

Adhérence

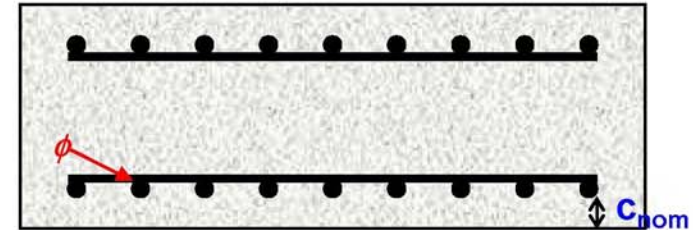
Durabilité

Enrobage minimal

Croisement des classes d'exposition ET de l'importance de l'ouvrage (notion de **classe structurale**)

Enrobage selon l'EC2 (section 4)

NF EN 1992-1-1/NA : compléments sur c_{nom} :



NOTE L'attention est attirée sur les problèmes de fissuration auxquels risque de conduire un enrobage c_{nom} supérieur à 50 mm. Il est donc recommandé, en cas d'environnement agressif, d'utiliser les dispositions du Tableau 4.3NF et les clauses 4.4.1.2 (7) et (8) et 4.4.1.3 (3).

- réduction des tolérances d'exécution → inciter à un meilleur contrôle de la position des armatures
- utilisation de protections supplémentaires (protection du béton par revêtement, aciers inoxydables,...)
- Modulation de la classe structurale → possible également grâce à l'application de l'approche performantielle

L'attention est également attirée sur les difficultés de bétonnage auxquels risque de conduire un enrobage c_{nom} inférieur à la dimension nominale du plus gros granulat.

- objectif de qualité de bétonnage

Concevoir, construire et gérer des structures durables en béton

Approche performantielle et évolutions normatives

Toulouse - 9 décembre 2014

Enrobage minimal c_{min}

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b} ; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} ; 10 \text{ mm} \}$$

$c_{min,b}$ enrobage minimal vis-à-vis des exigences d'adhérence

	$c_{min,b}$ pour les aciers passifs	
	Plus gros granulat ≤ 32 mm	Plus gros granulat > 32 mm
Armatures individuelles	ϕ	$\phi + 5$ mm
Paquets *	ϕ équivalent	ϕ équivalent + 5 mm

Enrobage minimal Cmin

$$c_{\min} = \max \{ c_{\min,b} ; c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} ; 10 \text{ mm} \}$$

$\Delta c_{dur,\gamma}$ marge de sécurité

A.N → 0 mm

$\Delta c_{dur,st}$ réduction de l'enrobage minimal dans le cas d'acier inoxydable

A.N → 0 mm sauf justification de l'auto-protection sur la durée d'utilisation de projet

- *nécessite des justifications spéciales*

- *position basée sur le manque d'expérience en France, la difficulté de spécification appropriée, la prise en compte des caractéristiques propres de ces aciers*

$\Delta c_{dur,add}$ réduction de l'enrobage minimal dans le cas de protection supplémentaire

A.N → 0 mm sauf revêtement adhérent dont la protection est justifiée sur la durée d'utilisation de projet

- *nécessite des justifications spéciales*

Enrobage minimal Cmin

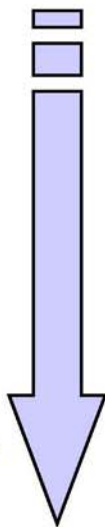
$$c_{\min} = \max \{ c_{\min,b} ; c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} ; 10 \text{ mm} \}$$

enrobage minimal vis-à-vis des conditions d'environnement

Classe d'environnement : **agressivité** du site



Classe structurale :
importance de la structure



Exigence environnementale pour $c_{\min,dur}$ (mm)							
Classe Structurale	Classe d'exposition selon Tableau 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Concevoir, construire et gérer des structures durables en béton

Approche performantielle et évolutions normatives

Toulouse - 9 décembre 2014

Zoom sur Cmin,dur

Modulation de la classe structurale

S6 de base pour OA

Modulation suivant résistance du béton

Modulation suivant nature du liant

Modulation suivant «qualité d'enrobage»

Critère	Classe d'exposition selon Tableau 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1 / XA1 ³⁾	XD2 / XS2 / XA2 ³⁾	XD3 / XS3 / XA3 ³⁾
Durée d'utilisation de projet	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2
	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1
Classe de résistance ¹⁾	≥ C30/37 et < C50/60 : minoration de 1	≥ C30/37 et < C50/60 : minoration de 1	≥ C30/37 et < C55/67 : minoration de 1	≥ C35/45 et < C60/75 : minoration de 1	≥ C40/50 et < C60/75 : minoration de 1	≥ C40/50 et < C60/75 : minoration de 1	≥ C45/55 et < C70/85 : minoration de 1
	≥ C50/60 : minoration de 2	≥ C50/60 : minoration de 2	≥ C55/67 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C70/85 : minoration de 2
Nature du liant		Béton de classe ≥ C35/45 à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1	Béton de classe ≥ C35/45 à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1	Béton de classe ≥ C40/50 à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1			
Enrobage compact ²⁾	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1

¹⁾ Par souci de simplicité, la classe de résistance joue ici le rôle d'un indicateur de durabilité. Il peut être judicieux d'adopter, sur la base d'indicateurs de durabilité plus fondamentaux et des valeurs de seuil associées, une justification spécifique de la classe structurale adoptée, en se référant utilement au guide AFGC « Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages » ou à des documents normatifs reposant sur les mêmes principes.

²⁾ Ce critère ne s'applique que dans le cas des éléments pour lesquels une bonne compacité des enrobages peut être garantie, à savoir :
Face coffrée des éléments plans (assimilables à des dalles, éventuellement nervurées), coulés horizontalement sur coffrages industriels.
Éléments préfabriqués industriellement : éléments extrudés ou filés, faces coffrées des éléments coulés dans des coffrages métalliques
Sous face des dalles de pont, éventuellement nervurées, sous réserve de l'accessibilité du fond de coffrage aux dispositifs de vibration.

³⁾ Pour les classes d'exposition XAi, cette correspondance est indicative sous réserve d'une justification de la nature de l'agent agressif.

Concevoir, construire et gérer des structures durables en béton

Approche performantielle et évolutions normatives

Toulouse - 9 décembre 2014

Zoom sur Cmin,dur

Principales modulations de la classe structurale :

- **DUP** : 100 ans pour les ponts (AN EN 1990) sauf OA provisoires

→ *majoration de 2*

- **Classe de résistance** : indicateur de durabilité « simplifié »

→ *minoration de 1 ou 2 (+ éventuelle modulation « nature du liant » vis-à-vis de la carbonatation)*

→ *modulation permettant la valorisation des BHP et BTHP , notamment en environnement agressif*

Classe de résistance ¹⁾	≥ C30/37 : minoration de 1	≥ C30/37 : minoration de 1	≥ C30/37 : minoration de 1	≥ C35/45 : minoration de 1	≥ C40/50 : minoration de 1	≥ C40/50 : minoration de 1	≥ C45/55 : minoration de 1
	≥ C50/60 : minoration de 2	≥ C50/60 : minoration de 2	≥ C55/67 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C70/85 : minoration de 2

1) Par souci de simplicité, la classe de résistance joue ici le rôle d'un indicateur de durabilité. Il peut être judicieux d'adopter, sur la base d'indicateurs de durabilité plus fondamentaux et des valeurs de seuil associées, une justification spécifique de la classe structurale adoptée, en se référant utilement au guide AFGC «Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages», ou à des documents normatifs reposant sur les mêmes principes.

Concevoir, construire et gérer des structures durables en béton

Approche performantielle et évolutions normatives

Toulouse - 9 décembre 2014

Zoom sur C_{min,dur}

- Principales modulations de la classe structurale :
 - **Enrobage compact** : cas limités aux 3 items de la note 2

→ minoration de 1

Enrobage compact ²⁾	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	Minoration de 1
--------------------------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

2) Ce critère ne s'applique que dans le cas des éléments pour lesquels une bonne compacité des enrobages peut être garantie, à savoir :

- face coffrée des éléments plans (assimilables à des dalles, éventuellement nervurées), coulés horizontalement sur coffrages industriels ;
- éléments préfabriqués industriellement : éléments extrudés ou filés, ou faces coffrées des éléments coulés dans des coffrages métalliques ;
- sous face des dalles de pont, éventuellement nervurées, sous réserve de l'accessibilité du fond de coffrage aux dispositifs de vibration.

Zoom sur Cmin,dur

Classes d'exposition vis-à-vis de l'enrobage :

Critère	Classe d'exposition selon Tableau 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1/ XA1 ³⁾	XD2/XS2/ XA2 ³⁾	XD3/XS3/ XA3 ³⁾

→ « reclassement » des classes XF_i en classes XC_i ou XD_i équivalentes pour le calcul de l'enrobage

		Classe d'exposition			
		XF1	XF2	XF3	XF4
Type de salage (cf. Recommandations GEL 2003)	Peu fréquent	XC4	Sans objet	XC4 si le béton est formulé sans entraîneur d'air XD1 si le béton est formulé avec entraîneur d'air	Sans objet
	Fréquent	Sans objet	XD1, XD3 pour éléments très exposés (*)	Sans objet	XD2, XD3 pour éléments très exposés (*)
	Très fréquent	Sans objet	Sans objet	Sans objet	XD3

(*) Pour les ponts : corniches, longrines d'ancrage des dispositifs de retenue, solins des joints de dilatation.

Concevoir, construire et gérer des structures durables en béton

Approche performantielle et évolutions normatives

Toulouse - 9 décembre 2014

Zoom sur Cmin,dur

Classes d'exposition vis-à-vis de l'enrobage :

(106) En cas d'utilisation de sels de déverglaçage, il convient de considérer que toutes les surfaces en béton exposées, situées à x m de la chaussée dans le sens horizontal ou à y m au-dessus de la chaussée, sont directement soumises à ce type de sels. Il convient par ailleurs de considérer que les surfaces supérieures des appuis situés sous les joints de dilatation sont également directement soumises aux sels de déverglaçage.

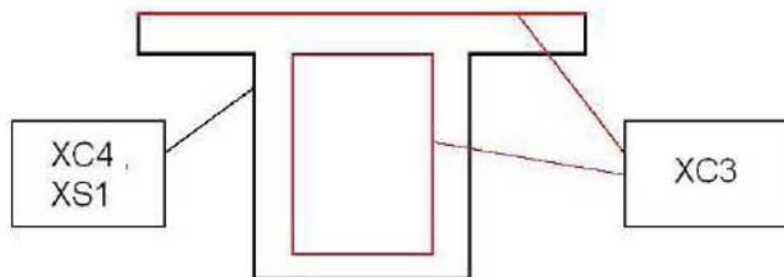
NOTE 1 Les distances x et y à utiliser dans un pays donné peuvent être fournies dans son Annexe Nationale. La valeur recommandée pour x est 6 m et la valeur recommandée pour y est 6 m.

→ *Incidence directe sur l'enrobage et sur le dimensionnement pour ces parties classées XD...*

▪ Remarques sur les classes d'exposition vis-à-vis de l'enrobage :

→ *Ne pas choisir inutilement une classe « enveloppe »*

→ *veiller à balayer l'ensemble des risques*



De C_{min} à C_{nom}

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

tolérances d'exécution

Clause 4.4.1.3 (3) NOTE

- **10 mm par défaut** (se veut un repoussoir)
- Réduction jusqu'à 5 mm si assurance qualité avec mesures de l'enrobage (le texte voudrait y inciter - à voir selon les conditions de réalisation)
- Réduction jusqu'à 0 mm sous conditions détaillées (très strictes couvrant toutes les phases de la conception à l'exécution)

Conclusion

Objectifs recherchés par l'EC2

- Favoriser l'obtention de la durabilité par un choix équilibré entre épaisseur d'enrobage, qualité du béton d'enrobage et dispositions complémentaires
- Inciter à un meilleur contrôle de la position des armatures

Conclusion

Evolution des pratiques

- Modification de la détermination de l'enrobage : importance du choix des classes d'exposition
- Viser une utilisation « raisonnée » des enrobages pour un même ouvrage

Merci de votre attention