

Concevoir, construire et gérer des structures durables en béton

Approche performantielle et évolutions normatives

L'approche performantielle dans le projet de fascicule 65

Eric OLLINGER, Cerema/DTecITM



ENPC Marne-la-Vallée - 23 octobre 2014

Les deux approches performantielles

- Deux guides français provisoires ont été publiés et font déjà l'objet de retours d'expériences



Approche absolue



Approche comparative

Les deux approches performantielles

- Deux guides français provisoires ont été publiés et font déjà l'objet de retours d'expériences



Approche absolue

Le guide LCPC de 2010 :

- Propose une approche performantielle absolue pour le risque de corrosion des armatures, basée sur les indicateurs P_{eau} , K_{gaz} , D_{app}
- Précise les mesures à réaliser en études, convenance et contrôle
- Actualise les dispositions existantes pour les effets du gel, la RAG et la RSI et les inscrit dans le même cadre

Les deux approches performantielles

- Deux guides français provisoires ont été publiés et font déjà l'objet de retours d'expériences

Le guide FNTP/FFB/CERIB/FIB de 2009 :

- Propose une approche performantielle comparative pour le risque de corrosion des armatures, basée sur la profondeur de carbonatation et D_{app}
- Pour la classe XF1, propose une approche basée sur P_{eau} ou Ab_{eau}
- Fait des propositions pour la prise en compte des classes XA



Approche comparative

Décisions dans le cadre de la révision du fascicule 65

- Ouvrir à l'approche performantielle en introduisant des garde-fous : les écarts par rapport à l'approche prescriptive sont bornés
- Laisser le choix entre approche absolue et approche comparative
- Se référer aux deux guides existants
- Les compléter et les amender en fonction des retours d'expérience
- Ne pas ouvrir aux classes XA car il y a débat sur les protocoles d'essai
- Dans la méthode comparative, résoudre le problème statistique par un choix très sécuritaire du béton de référence
- Garantir la conformité à la norme des bétons ainsi formulés et préciser la répartition des responsabilités

Conformité à la norme et répartition des responsabilités

Deux cas se présentent :

.BCP ou BICP : le prescripteur définit une composition et en passe commande au producteur

.BPS ou BIPS :

- le prescripteur commande un béton conforme à l'annexe NA.F de la norme (durabilité à 50 ans basée sur une approche prescriptive)
- il commande également, au titre des exigences complémentaires, des valeurs des indicateurs de durabilité correspondant aux exigences du fascicule 65 pour passer de 50 à 100 ans

Dans les deux cas, la formulation par les approches performantielles du fascicule 65 ne remet pas en cause la conformité du béton à la norme.

Garde-fous

Par rapport au tableau 8.B de l'approche prescriptive :

	Classes d'exposition																
	Corrosion induite par carbonatation				Corrosion induite par les chlorures						Attaque gel / dégel				Environnements chimiquement agressifs		
					Eau de mer			Chlorures autres que l'eau de mer									
XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3 ^{a)}	XF4 ^{a)}	XA1	XA2	XA3 ^{a)}	
Rapport $E_{eff}/liant$ éq maximal ^{d)}	0,60	0,60	0,55	0,50 ^{b)}	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,50 ^{b)}	0,45	0,50	0,45	0,50	0,45	0,40
Classe de résistance minimale ^{c)}	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37 ^{a)}	C30/37 ^{a)}	C35/45	C30/37	C30/37 ^{a)}	C35/45	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45 ^{a)}	C30/37	C35/45	C40/50
Teneur mini en liant éq (kg/m ³) ^{b) c) d)}	280	280	300	330	330	330	350	330	330	350	330	350 ^{a)}	385 ^{a)}	385 ^{a)}	330	350	360
Absorption d'eau maxi pour les produits préfabriqués en usine (%)	6,5 ^{m)}	6,5 ^{m)}	6 ^{m)}	6 ^{m)}	5,5 ^{m)}	5,5 ^{m)}	5 ^{m)}	6 ^{m)}	5,5 ^{m)}	5 ^{m)}	6 ^{m)}	5 ^{m)}			5,5 ^{m)}	5 ^{m)}	4,5 ^{m)}
Teneur minimale en air (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	- ^{o)}	4 ^{e)}	4 ^{e)}	-	-	-

- Le rapport $E_{eff}/Liant$ équivalent ne doit pas dépasser la limite du tableau de plus de 0,10
- La teneur en liant équivalent doit être au moins égale à 80% de celle imposée par le tableau
- Le rapport maximal $A/(A+C)$ doit rester inférieur aux limites suivantes en fonction de la nature du ciment de base :

Concevoir, construire et gérer des structures durables en béton

Approche performantielle et évolutions normatives

Tableau 8.C – Limitation du rapport $A/(A+C)$ pour les spécifications performantielles

	Cas du CEM I	Cas du CEM II/A
Cendres volantes	0,35	0,35 Sauf CEM II/A-V, D ou Q: 0,20
Fumées de silice	0,10	0,10 Sauf CEM II/A-D ou Q: 0,0
Métakaolin type A	0,2	0,20 Sauf CEM II/A-V: 0,10 Et CEM II/A-D ou Q: 0,0
Laitier moulu classe A ou B	0,65	0,55
Laitier moulu classe C	0,3	0,2
Additions calcaires catégorie A	0,4	0,25
Additions calcaires catégorie B	0,3	0,2
Additions siliceuses de minéralogie QZ	0,3	0,2

Indicateurs utilisés

pour le risque de corrosion des armatures

	Approche absolue	Approche comparative
Indicateur général	$P_{\text{eau } 28\text{j}}$	$Ab_{\text{eau } 28\text{j}}$
XC1/XC2	$P_{\text{eau } 90\text{j}}$	Carbo _{90j}
XC3/XC4	$P_{\text{eau } 90\text{j}}, K_{\text{gaz } 90\text{j}}$	Carbo _{90j}
XD1/XD2 XS1/XS2	$P_{\text{eau } 90\text{j}}, D_{\text{app } 90\text{j}}$	$D_{\text{app } 90\text{j}}$
XD3 XS3	$P_{\text{eau } 90\text{j}}, K_{\text{gaz } 90\text{j}}, D_{\text{app } 90\text{j}}$	$D_{\text{app } 90\text{j}}$

Spécifications

En approche absolue :

Les seuils du guide de 2010 sont modifiés pour la prévention du risque de corrosion des armatures :

	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
$P_{\text{eau } 90j}$ (%)	15,5	15,5	15	14,5	14	14	13
$K_{\text{gaz } 90j}$ (10^{-18} m^2)	-	-	200	200	-	-	200
$D_{\text{app } 90j}$ ($10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)	-	-	-	-	7	7	3,5

$P_{\text{eau } 90j}$: Porosité accessible à l'eau par absorption sous vide mesurée selon la norme NF P 18-459, exprimée en %.

$K_{\text{gaz } 90j}$: Perméabilité apparente au gaz mesurée selon la norme XP P 18-463 après séchage complet, exprimée 10^{-18} m^2 .

$D_{\text{app } 90j}$: Coefficient de diffusion apparent des chlorures mesuré selon la norme XP P 18-462, exprimé en $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$.

Spécifications

Introduction d'une possibilité de moduler la classe structurale (remplace le critère « classe de résistance » du tableau 4.3 NF de l'EC2) :

		XC1	XC2	XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
Minoration d'1 classe	$P_{\text{eau } 90j}$ (%)	15	15	14,5	14	13,5	13,5	12,5
	$K_{\text{gaz } 90j}$ (10^{-18} m^2)	-	-	175	175	-	-	150
	$D_{\text{app } 90j}$ ($10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)	-	-	-	-	5,5	5,5	3
Minoration de 2 classes	$P_{\text{eau } 90j}$ (%)	14	14	14	13,5	13	13	12
	$K_{\text{gaz } 90j}$ (10^{-18} m^2)	-	-	150	150	-	-	100
	$D_{\text{app } 90j}$ ($10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)	-	-	-	-	4,5	4,5	2,5

Spécifications

En approche comparative :

La définition du béton de référence du guide de 2009 est modifiée :

- Béton conforme au tableau de l'approche prescriptive, sans additions, avec un dosage en ciment supérieur de 5 % au dosage minimal et une classe de résistance supérieure d'une classe à la classe minimale

Classes d'exposition	Type de ciment	Valeur maximale d'absorption d'eau
XC	CEM I ou CEM II, classe 42,5 ou 52,5	XC1, XC2 : 6,5 % XC3, XC4 : 6 %
XD	CEM II-S ou CEM II-V PM (non ES), classe 42,5 ou 52,5	XD1 : 6 % XD2 : 5,5 % XD3 : 5 %
XS	CEM II-S ou CEM II-V PM (non ES), classe 42,5 ou 52,5	XS1, XS2 : 5,5 % XS3 : 5 %

- Granulats identiques au béton à tester

Epreuve d'étude

- Les résultats doivent être conformes pour toutes les grandeurs associées aux classes d'exposition (gâchée nominale et gâchées dérivées)
- Détermination des indicateurs généraux suivants en vue des épreuves de convenance et de contrôle :
 - Porosité accessible à l'eau à 28 jours en approche absolue
 - Absorption d'eau à 28 jours en approche comparative
- Dispense par références probantes : au moins 3 prélèvements, tous conformes, dans chacune des épreuves d'étude, de convenance et de contrôle

Epreuve de convenance

- **En approche absolue :**
 - $P_{\text{eau}}(\text{convenance})_{28j} < 1,1 \cdot P_{\text{eau}}(\text{étude})_{28j}$
 - Les résultats doivent être conformes pour toutes les grandeurs associées aux classes d'exposition
- **En approche comparative :**
 - $Ab_{\text{eau}}(\text{convenance})_{28j} < Ab_{\text{eau}}(\text{étude})_{28j} + 0,5$
 - Les résultats doivent être conformes pour toutes les grandeurs associées aux classes d'exposition

Epreuve de contrôle

- Indicateurs généraux mesurés tous les 500 m³ ou tous les mois, au 1er terme échu
- Grandeurs associées aux classes d'exposition mesurées tous les 3 mois
- **En approche absolue :**
 - $P_{\text{eau}}(\text{convenance})_{28j} < 1,1 \cdot P_{\text{eau}}(\text{étude})_{28j}$
 - Porosité à l'eau $\leq 1,1 \cdot$ (Porosité à l'eau limite autorisée)
 - Perméabilité au gaz \leq Perméabilité au gaz limite autorisée + 30 10^{-18}
 - Coefficient de diffusion des chlorures $\leq 1,3 \cdot$ (Coefficient de diffusion des chlorures limite autorisé)

Epreuve de contrôle

- **En approche comparative :**

- $Ab_{\text{eau}}(\text{contrôle})_{28j} < Ab_{\text{eau}}(\text{étude})_{28j} + 0,5$
- Porosité à l'eau $\leq 1,1 \cdot$ (Porosité à l'eau limite autorisée)
- Absorption d'eau \leq (Absorption d'eau limite autorisée) + 0,5
- Coefficient de diffusion des chlorures $\leq 1,3 \cdot$ (Coefficient de diffusion des chlorures du béton de référence caractérisé lors de l'étude)
- Profondeur de carbonatation accélérée $\leq \min[1,5 \cdot$ (Profondeur de carbonatation accélérée du béton de référence caractérisé lors de l'étude), (Profondeur de carbonatation accélérée du béton de référence caractérisé lors de l'étude) + 5mm]

En résumé

- Une dérogation partielle au tableau de l'approche prescriptive
- Des spécifications issues des recommandations provisoires, amendées ou complétées :
 - Seuils revus en approche absolue
 - Béton de référence très encadré en approche comparative
- Par rapport au guide LCPC de 2010 (approche absolue), épreuves de convenance renforcées pour anticiper les problèmes

Une note importante

« Lorsqu'il est fait appel à ces méthodes les différents intervenants doivent adopter les dispositions organisationnelles et mobiliser les capacités techniques et les compétences actualisées nécessaires à la conduite d'une telle démarche. En particulier les laboratoires en charge de réaliser les essais doivent disposer de références justifiant la pratique effective de ces essais et la vérification des résultats obtenus sur la base d'essais d'intercomparaison. »

Concevoir, construire et gérer des structures durables en béton

Approche performantielle et évolutions normatives

**Merci de
votre
attention**

