

# Concevoir, construire et gérer des structures durables en béton

Approche performantielle et évolutions normatives

---

## Enrobage des armatures



DiRIF – DIOA – Fernando Dias

ENPC Marne-la-Vallée - 23 octobre 2014

# Objectifs de l'enrobage

suivant EN1992-1-1 §4.4.1.2(1)

- **Fonctionnement**

Bonne transmission des forces d'adhérence



- **Durabilité**

Protection de l'acier contre la corrosion



- **Sécurité**

Résistance au feu convenable



# Enrobage minimal et nominal

- Approche du BAEL (A.7.1) : valeurs fixées
  - 5 cm (mer, milieux salins, atmosphère très agressives).
  - 3 cm (actions agressives) → 2cm si  $f_{c28} \geq 40\text{MPa}$
- Approche de l'EN1992-1-1 (4.4.1.2) : calcul de l'enrobage minimal  $c_{\min}$  en tenant compte de :

$c_{\min} = \max \text{ de}$

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

L'adhérence  
La durabilité  
marge de sécurité :  $\Delta_{dur,\gamma}=0$

acier inox protection  
valeurs = 0 en général

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c_{dev}$  ← marge de calcul pour tolérances d'exécution ...

# Enrobage minimal vis-à-vis de la durabilité

- L'enrobage  $c_{\min, \text{dur}}$  est fonction de (EN1992-1-1 tab 4.4N) :

Classe d'exposition

Classe structurale

Tableau 4.4N : Valeurs de l'enrobage minimal  $c_{\min, \text{dur}}$  requis vis-à-vis de la durabilité dans le cas des armatures de béton armé conformes à l'EN 10080

Exigence environnementale pour $c_{\min, \text{dur}}$ (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

# Enrobage minimal vis-à-vis de la durabilité

- **Classe structurale pour ouvrages de génie civil :**
  - ouvrages « courants » : **S4** (durée utilisation projet de 50ans)
  - à adapter avec le tableau 4.3NF de l'AN de l'EN1992-1-1.

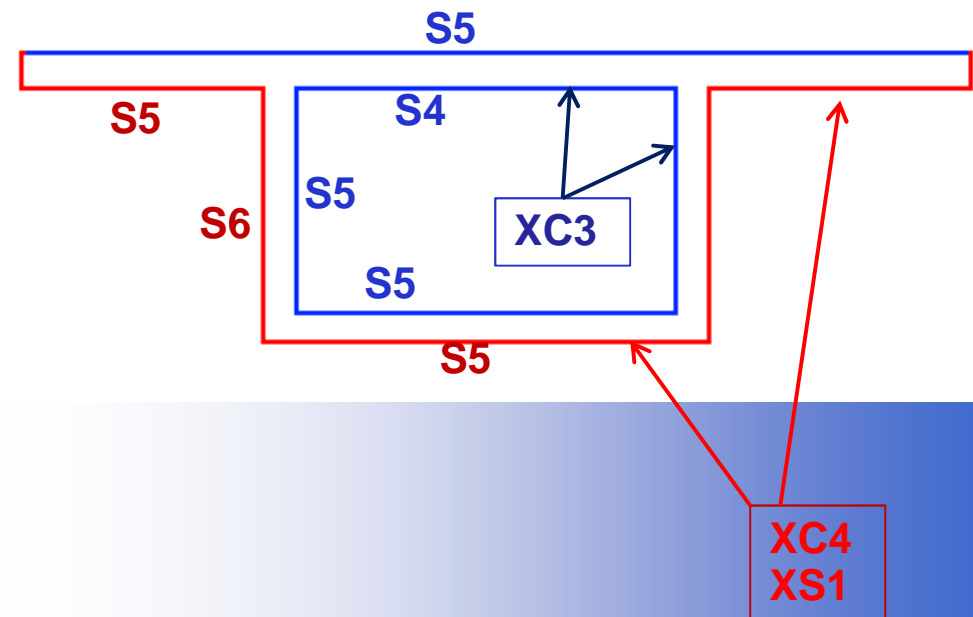
**Tableau 4.3NF — Modulations de la classe structurale recommandée, en vue de la détermination des enrobages minimaux  $c_{min,dur}$  dans les Tableaux 4.4N et 4.5NF**

Critère	Classe d'exposition selon Tableau 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1/ XA1 <sup>3)</sup>	XD2/XS2/ XA2 <sup>3)</sup>	XD3/XS3/ XA3 <sup>3)</sup>
Durée d'utilisation de projet	100 ans : majoration de 2						
	25 ans et moins : minoration de 1						
Classe de résistance <sup>1)</sup>	≥ 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		C35/45 CEM I sans cend.vol minoration de 1	C35/45 CEM I sans cend.vol minoration de 1	C40/50 CEM I sans cend.vol minoration de 1			
Enrobage compact <sup>2)</sup>	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1

# Exemple de définition de classe structurale

- Caisson en bord de mer avec DUP de 100 ans
  - Béton C35/45
  - Enrobage compact en sous-face des hourdis supérieur et inférieur

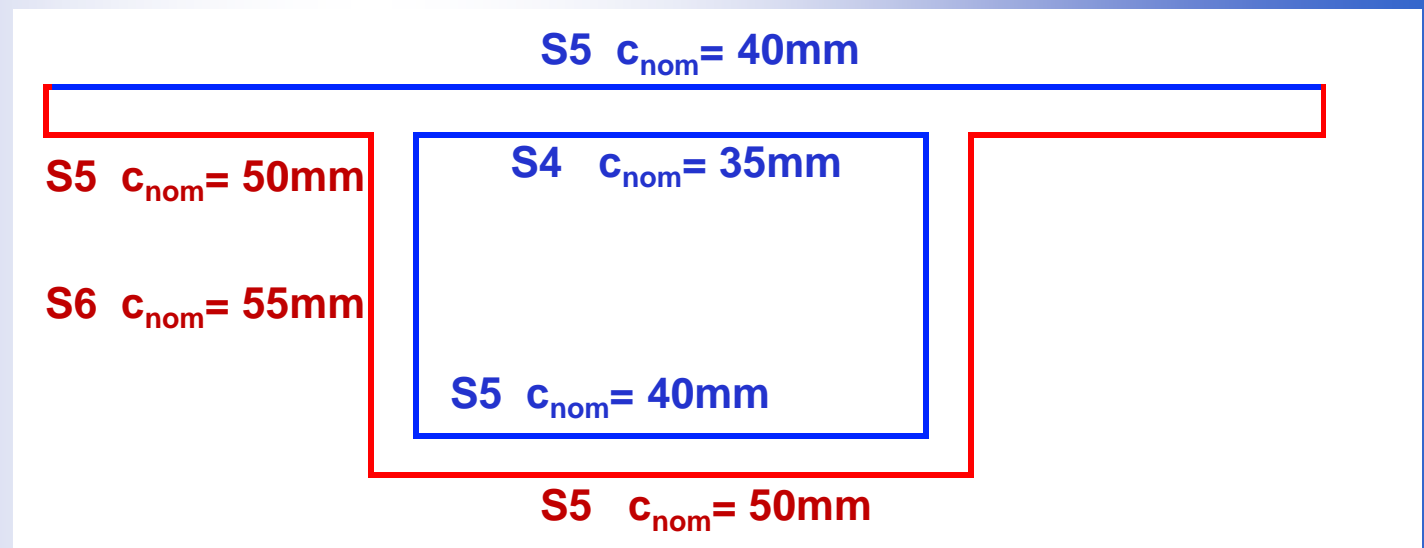
Critère	Classe d'exposition selon Tableau 4.1		
	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1/ XA1 <sup>3)</sup>
Durée d'utilisation de projet	100 ans : majoration de 2		
	25 ans et moins : minoration de 1		
Classe de résistance <sup>1)</sup>	≥ C30/37 et < C55/67 :	≥ C35/45 et < C60/75 :	≥ C40/50 et < C60/75 : minoration de 1
	≥ C55/67 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2
Nature du liant	C35/45 CEM I sans cend.vol minoration de 1	C40/50 CEM I sans cend.vol minoration de 1	
Enrobage compact <sup>2)</sup>	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1
<b>Classe S</b>	<b>S5</b> (4+2-1)	<b>S5</b> (4+2-1)	<b>S6</b> (4+2)



# Exemple : calcul de l'enrobage

- $c_{min,dur}$
- $c_{min,b} = \Phi_{barres}$ 
  - âmes = 25mm
  - Hourdis = 20mm
- $c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur})$
- $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$  ;  $\Delta c_{dev} = 10\text{mm}$  (système d'assurance qualité incluant mesures enrobage avant coulage)

Classe Structurale	Classe d'exposition selon Tableau 4.1					
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 /
S1	10	10	10	15	20	25
S2	10	10	15	20	25	30
S3	10	10	20	25	30	35
S4	10	15	25	30	35	40
S5	15	20	30	35	40	45
S6	20	25	35	40	45	50



# Adaptation permettant de réduire l'enrobage

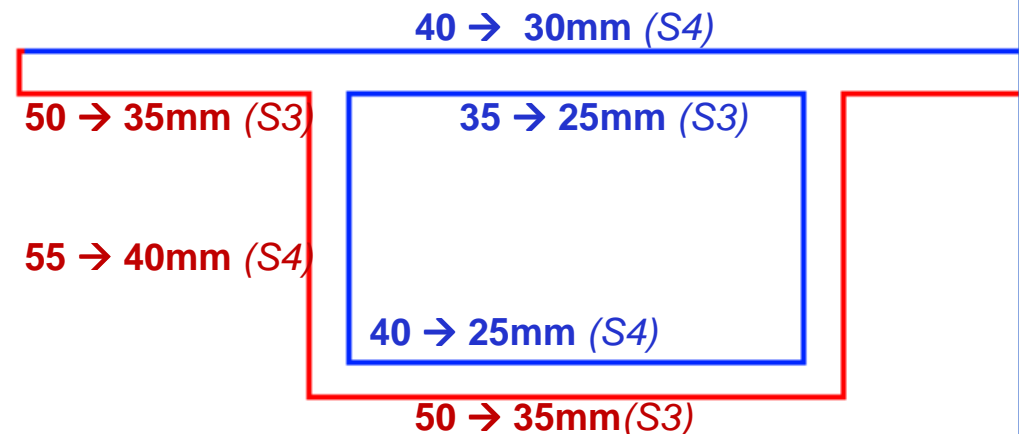
- Améliorer compacité du béton et qualité de l'enrobage

EN1992-1-1 §4.1.(4) : maîtrise rapport E/C et teneur minimal en ciment ou classe de résistance minimale du béton : **utilisation d'un C60/75**

- Amélioration du contrôle d'exécution :  $\Delta c_{dev} = 5\text{mm}$

Critère	Classe d'exposition selon Tableau 4.1		
	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1/ XA1 <sup>3)</sup>
Durée d'utilisation de projet	100 ans : majoration de 2		
	25 ans et moins : minoration de 1		
Classe de résistance <sup>1)</sup>	≥ C30/37 et < C55/67 : minoration de 1	≥ C35/45 et < C60/75 : minoration de 1	≥ C40/50 et < C60/75 : minoration de 1
	≥ C55/67 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2
Nature du liant	C35/45 CEM I sans cend.vol minoration de 1	C40/50 CEM I sans cend.vol minoration de 1	
Enrobage compact <sup>2)</sup>	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1
<b>Classe S</b>	<b>S4</b> (4+2-2)	<b>S4</b> (4+2-2)	<b>S4</b> (4+2-2)

Classe Structurale	Classe d'exposition selon Tableau 4.				
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1
S1	10	10	10	15	20
S2	10	10	15	20	25
S3	10	10	20	25	30
S4	10	15	25	30	35
S5	15	20	30	35	40
S6	20	25	35	40	45





# Enrobage : retour d'expérience sur l'application de l'EN1992

- **Attention les enrobages peuvent être très importants**

*Exemple d'une pile exposée à des projections de chlorures (XD3) de classe S6  $\rightarrow c_{nom} = 55 + 10 = 65mm$*

- **Annexe nationale 1992-1-1 - 4.4.1.2(5) :**

*« Note : L'attention est attirée sur les problèmes de fissuration auxquels risque de conduire un enrobage  $c_{nom}$  supérieur à 50 mm. »*

- **Anticiper dès la phase projet et définir les enrobages au DCE :**

Vérifier la cohérence entre :

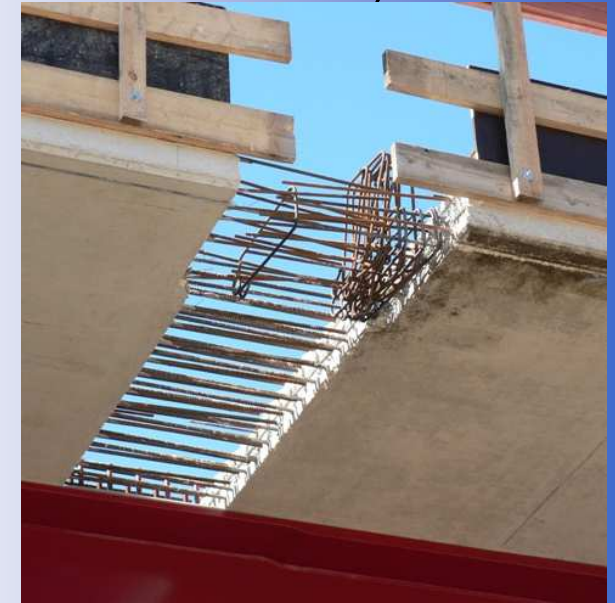
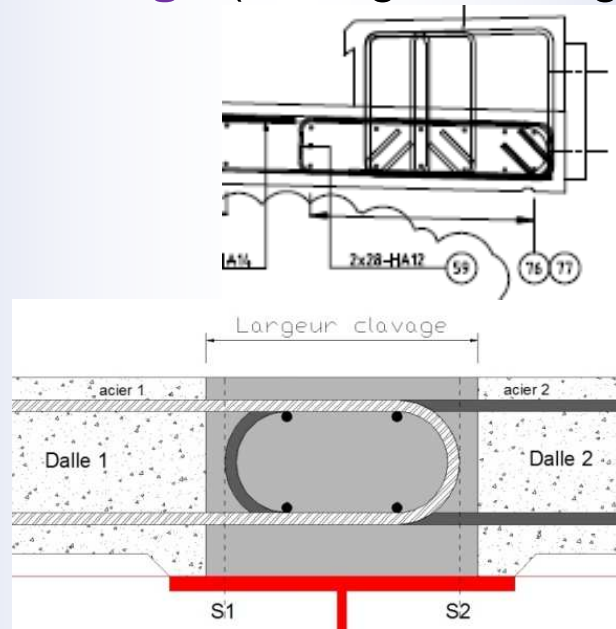
- enrobage
- calcul des sections d'armatures
- maîtrise de la fissuration
- diamètre et espacements des barres
- dispositions constructives de l'EN1992 (section 8 et 9)

**pour éviter les difficultés lors de l'exécution...**

# Dalle sous chaussée

## Points à vérifier avec enrobage

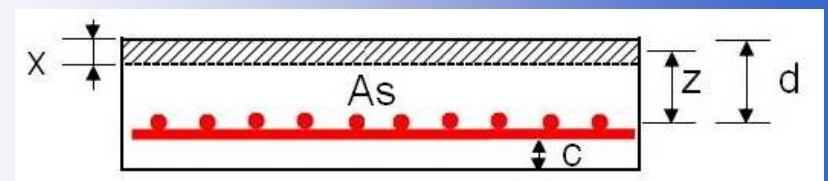
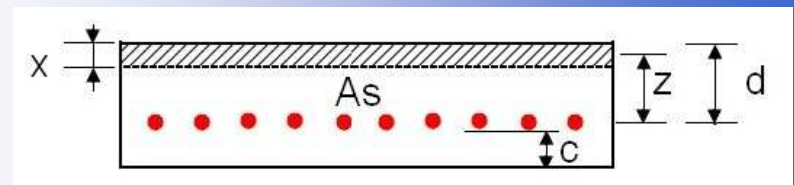
- $\Phi_{lim}$  des mandrins de cintrage (clavage, ancrage des DR au bord)



- Diminution de  $z$  et augmentation de  $A_{s,min}$

et si recouvrement de barres  $\Phi > 20\text{mm}$

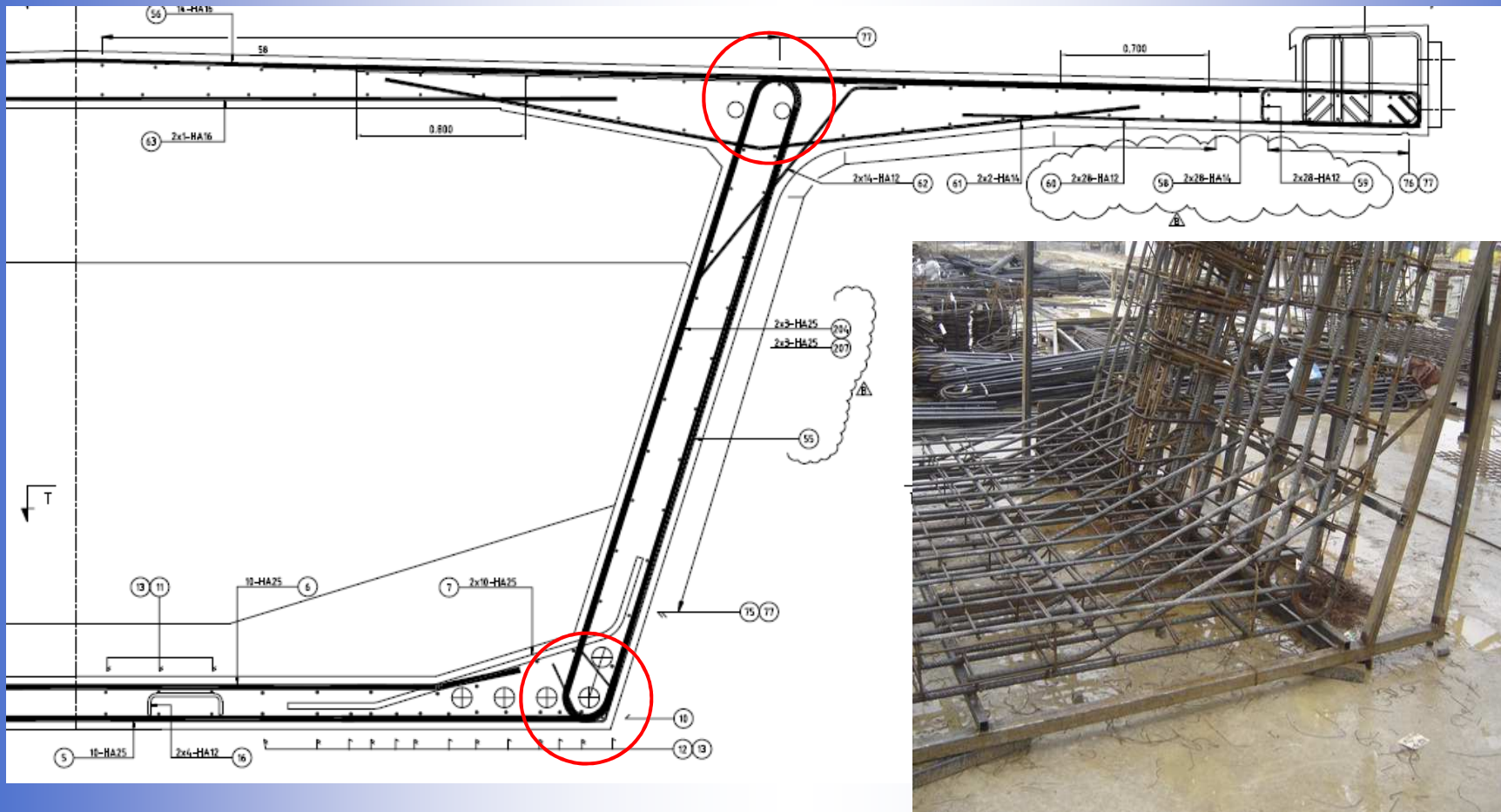
→ acier principaux en 2<sup>e</sup> nappe (§8.7.4.1)



# Caisson

## Points à vérifier avec enrobage :

- Hourdis supérieurs (dalle sous chaussée)
- $\Phi_{lim}$  des mandrins de cintrage du ferrailage des âmes



# Concevoir, construire et gérer des structures durables en béton

Approche performantielle et évolutions normatives

---

**Merci de  
votre  
attention**

