

27 juin à Calais

Reconstruction de la superstructure de la jetée Ouest de Port

La délégation Nord-Picardie a organisé le 27 juin une journée technique consacrée à la reconstruction de la superstructure de la jetée Ouest du Port de Calais.

Rappel du programme de la journée

- 9h30 Accueil des participants
- 9h50 Le mot du Président
Yannick Jeanjean (AFGC Nord Picardie)
- 10h00 Présentation de l'opération et des contraintes
(Région Nord Pas de Calais)
- 10h20 Etudes de projet, choix de la solution
CETE Nord Picardie
- 10h40 Approche performantielle et contrôles béton
Gérard KITTEL (LR Lille)
- 11h00 Méthodes et travaux : génie civil et tillac bois
Jean-Guillaume SIVY (SPIE BATIGNOLLES)
- 11h30 Questions et visite de l'élément témoin sur place
- 12h30 Déjeuner
- 14h00 Visite du chantier sur place (marée basse)

Déroulement de la journée

Etudes de projet, choix de la solution

CETE Nord Picardie

Pourquoi reconstruire ?

Le Port de Calais est un port naturel formé par l'estuaire du Nieulay et l'épanouissement de la rivière Hames qui drainaient les terres encore à demi immergée que la mer avait envahie au 5ème siècle et qu'elle abandonnait au 12ème siècle.

Le Comte de Flandre BAUDUIN IV vers 997, ayant régulé le canal du Port, limité dès lors par le Fort Nieulay et construit suivant toute probabilité, le vieux Bassin du Paradis. Calais était donc Port dès le 12ème siècle, Richard Cœur de Lion y débarqua le 11 Décembre 1189 et s'y rembarqua à son retour de la Croisade, octroyant par une Charte des privilèges importants aux calaisiens.



Existence d'une jetée à claire-voie dès le début du XIXème siècle



Reconstruite au début du XXe siècle (1912)

Fonctions de la jetée

- Protection de l'avant port (houle O & NO)
- Lieu de promenade
- Lieu de pêche



- Feu maritime à son extrémité



La structure existante

- Jetée de type « Considère » mi-pleine
- 330m de longueur (450m total)
- Fondation en caissons métalliques perdus
- Corps en maçonneries de moellons,
- Superstructure : fermes en béton armé espacées de 3 m
- Tillac (poutres et dalles BA)

Le milieu

- Environnement composite (abrasion, immersion/émersion, courants galvaniques, aération différentielle, agents agressifs...),
- Faibles sections, béton peu compact
- Presque cent ans...
- Fort trafic de ferries



Les désordres sur maçonneries

- Réparation lourde en 2004-2005
 - o Reprise des joints dégainés
 - o Réparation pierres manquantes et cavités



Les désordres sur les fermes (suite)

- Très nombreux éclatements de béton
- Ruptures d'éléments de fermes
- Carbonatation avancée
- Tillac « fragile »
- Désordres constamment évolutifs
- Exploitation de plus en plus difficile
- Cheminement piéton interdit sous certaines conditions (forte houle)



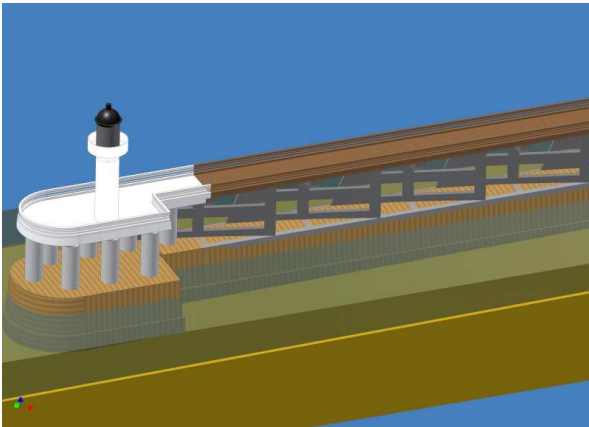
Réparer (matériaux) ?

- Grande envergure du chantier
- Impossibilité de « normaliser » la situation (enrobage trop faibles, ferrailage trop juste)
- Incertitude sur l'état du noyau des fermes
- Difficultés d'accès « à la marée »,
- Difficultés d'évaluation de l'efficacité
- Incertitudes sur le coût et le résultat
- Durée de « garantie » limitée

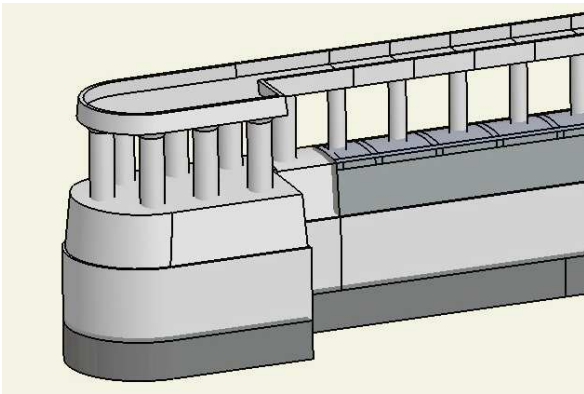
Comment reconstruire ?

Reconstruire, OUI mais

- Optimiser la structure... la simplifier ?
- Industrialiser le chantier
- Tenir compte des travaux « à la marée »
- Délai de 18 mois
- Différentes structures ont été imaginées...



Structure simplifiée biaisée



Structure simplifiée « colonnes »

Difficultés de modélisation de la houle

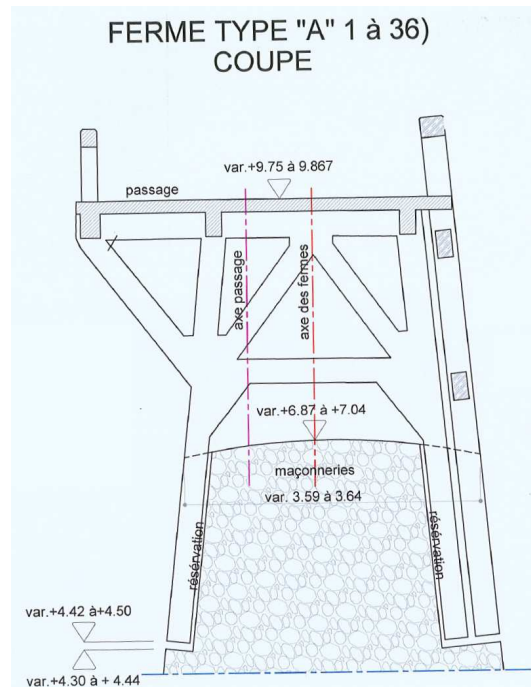
- Insuffisance des modèles numériques
 - Ne peuvent pas simuler un obstacle infranchissable jusqu'à une certaine côte et semi-franchissable au-dessus
 - Ne peuvent pas simuler la propagation de la houle le long d'un obstacle

- Nécessité de modèles physiques
 - Échelle 1/100
 - Coût très important (fraction non négligeable du coût de l'ouvrage)
 - Délais de réalisation des modèles

Mise au point d'une solution

Reconstruction « à l'identique » imposée

- Tenir compte des normes actuelles (EN 206)
- Augmentation enrobage (7cm) et donc sections (30cm à 35cm)
- Suppression d'un élément (à « obstruction constante »)
- Dimensionnement forfaitaire à « la houle »
- Formulation du béton « haute durabilité »
- Application Eurocodes 0,1, 2 et 5
- Dissocier le tillac de la structure
- Conserver la dalle du musoir



Reconstruction quasi-identique des fermes, tillac bois



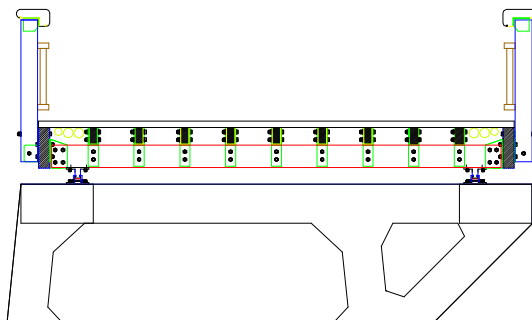
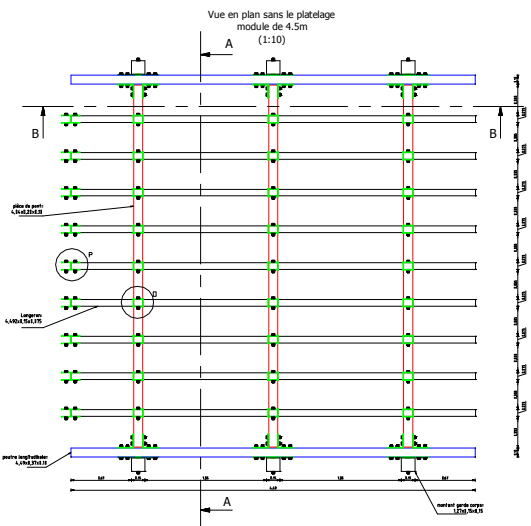
Fermes en béton armé

- Géométrie « à l'identique »
- Préfabriquées (3 types)
- Positionnées au droit des anciennes fermes
- Joint longitudinal (dilatation) tous les 20 à 30m

Tillac bois : largeur 4,60m

Tillac bois : Azobé

- Excellentes résistances mécaniques (D60)
- Très bonne durabilité naturelle vis à vis des champignons et des insectes et des ténébrants marins
- Bois « nerveux » (assemblages)
- Durabilité : ventilation et drainage
- Modules préfabriqués démontables de 4,50 m
- Liaison entre modules / tronçons de 22,50 m



Tillac bois : position par rapport aux fermes

- Position longitudinale des appuis sur la structure. 2 solutions :
 - Appareils d'appui au droit des fermes
 - Appareils d'appui espacés régulièrement

Approche performantielle et contrôles béton

Gérard KITTEL (LR Lille)

- Une **résistance** à la compression du béton élevée est une **condition nécessaire** à sa durabilité
- Ce n'est **pas une condition suffisante** pour garantir une longue durée de vie

Un béton peut présenter une résistance élevée à 28 jours et cependant se dégrader dans le temps :

- Sous l'effet du **gel**
- Par réactions de **gonflement interne**
 - Alkali-réaction
 - Réaction sulfatique interne
- Par **corrosion** des armatures

D'où l'idée de trouver des **indicateurs autres que la résistance**

Le béton **seul** en tant que matériau se bonifie en vieillissant

- Sa résistance continue d'augmenter bien au delà de 28 jours, l'hydratation du ciment se poursuivant
- La carbonatation par action du gaz carbonique de l'air bouche les pores et rend le béton moins perméable...

Où ça se complique, c'est quand le béton est armé...

La **carbonatation** diminue la basicité du béton, abaissement du pH initial de 13 à 9 et moins.

Les armatures ne sont plus passivées.

La corrosion démarre, la rouille est expansive et fait éclater le béton...

La corrosion peut également être due à la pénétration des **ions chlorures** :

- Environnement marin
- Sels de déverglaçage

Corrosion des armatures

Le guide AFGC de juillet 2004 distingue :

- La corrosion induite par la carbonatation
L'enrobage des armatures est de 30 mm
- La corrosion induite par les chlorures
L'enrobage des armatures est de 50 mm

Indicateurs de durabilité vis-à-vis de la corrosion des armatures.

Définition : Grandeurs rapidement mesurables, caractérisant l'évolution à long terme du béton sous l'effet des agents agressifs.

Les principaux :

- **Porosité accessible à l'eau par absorption sous vide** : P_{eau} (en %)

La porosité accessible à l'eau est le rapport de la masse d'eau absorbée (masse corps saturé moins masse corps sec) sur le volume de l'échantillon (masse dans l'air du corps)

saturé moins masse dans l'eau), rapport exprimé en pourcentage.

- P_{eau} de 14 à 16 % → faible durabilité
- P_{eau} de 12 à 14 % → durabilité moyenne
- P_{eau} de 9 à 12 % → durabilité élevée
- P_{eau} de 6 à 9 % → durabilité très élevée

- Coefficient de diffusion apparent des chlorures mesuré par l'essai de migration : $D_{\text{app}}(\text{mig})$ (en $10^{-18} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

Le coefficient est exprimé en $10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

- $D_{\text{app}}(\text{mig})$ de 10 à 50 → faible durabilité
- $D_{\text{app}}(\text{mig})$ de 5 à 10 → durabilité moyenne
- $D_{\text{app}}(\text{mig})$ de 1 à 5 → durabilité élevée
- $D_{\text{app}}(\text{mig})$ inférieur à 1 → durabilité très élevée

- Perméabilité apparente aux gaz à la pression d'entrée de 0,2 MPa et après séchage à 105 °C : K_{gaz} (en 10^{-18} m^2)

La perméabilité apparente est exprimée en 10^{-18} m^2

- K_{gaz} de 300 à 1000 → faible durabilité
- K_{gaz} de 100 à 300 → durabilité moyenne
- K_{gaz} de 10 à 100 → durabilité élevée
- K_{gaz} inférieure à 10 → durabilité très élevée

- Teneur en Portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Autres indicateurs :

- Perméabilité à l'eau liquide par mesure directe du flux après saturation : k_{liq} (en 10^{-18} m^2)

- k_{liq} de 1 à 10 → faible durabilité
- k_{liq} de 0,1 à 1 → durabilité moyenne
- k_{liq} de 0,01 à 0,1 → durabilité élevée
- k_{liq} inférieure à 0,01 → durabilité très élevée

- Essai alternatif à l'essai précédent : absorption d'eau par capillarité : C_a (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)

- Résistivité à la fréquence de 120 Hz notée ρ , mesurée en Ohm.mètre ($\Omega \cdot \text{m}$)

- ρ de 50 à 100 → faible durabilité
- ρ de 100 à 250 → durabilité moyenne
- ρ de 250 à 1000 → durabilité élevée
- ρ supérieure à 1000 → durabilité très élevée

Corrosion des armatures

Les niveaux d'exigence à respecter pour les indicateurs au sens du guide AFGC sont fonction de la durée de vie escomptée :

- Moins de 30 ans : niveau 1
- De 30 à 50 ans : niveau 2, cas des bâtiments courants
- De 50 à 100 ans : niveau 3, ouvrages de génie civil
- De 100 à 120 ans : niveau 4, grands ouvrages
- Plus de 120 ans : niveau 5, ouvrages exceptionnels

La durée de vie envisagée dans la norme NF EN 206-1 est de 50 ans « dans des conditions d'entretien anticipées » soit le niveau 2.

Classes d'exposition	Durée de vie attendue				
	< 30 ans	30 à 50 ans	50 à 100 ans Ouvrages courants	100 à 120 ans Grands ouvrages	> 120 ans O.A. exceptionnels
XC1 XC2	$P_{\text{eau}} < 16$	$P_{\text{eau}} < 16$	$P_{\text{eau}} < 14$	$P_{\text{eau}} < 12$ $K_{\text{gaz}} < 100$	$P_{\text{eau}} < 9$ $K_{\text{gaz}} < 10$ $k_{\text{liq}} < 0,01$
XC3 XC4 XF1	$P_{\text{eau}} < 15$	$P_{\text{eau}} < 14$	$P_{\text{eau}} < 12$ $K_{\text{gaz}} < 100$	$P_{\text{eau}} < 9$ $K_{\text{gaz}} < 10$	$P_{\text{eau}} < 9$ $K_{\text{gaz}} < 10$ $k_{\text{liq}} < 0,01$
XD1	$P_{\text{eau}} < 16$	$P_{\text{eau}} < 14$	$P_{\text{eau}} < 12$ $k_{\text{liq}} < 0,1$	$P_{\text{eau}} < 12$ $D_{\text{app}}(\text{mig}) < 20$ $k_{\text{liq}} < 0,1$	$P_{\text{eau}} < 9$ $D_{\text{app}}(\text{mig}) < 10$ $K_{\text{gaz}} < 10$ $k_{\text{liq}} < 0,01$
XD3	$P_{\text{eau}} < 14$	$P_{\text{eau}} < 11$	$P_{\text{eau}} < 11$ $D_{\text{app}}(\text{mig}) < 2$ $k_{\text{liq}} < 0,1$	$P_{\text{eau}} < 9$ $D_{\text{app}}(\text{mig}) < 1$ $K_{\text{gaz}} < 10$ $k_{\text{liq}} < 0,01$	$P_{\text{eau}} < 9$ $D_{\text{app}}(\text{mig}) < 1$ $K_{\text{gaz}} < 10$ $k_{\text{liq}} < 0,01$
XS1 XS2 XD2	$P_{\text{eau}} < 15$	$P_{\text{eau}} < 13$	$P_{\text{eau}} < 13$ $D_{\text{app}}(\text{mig}) < 7$	$P_{\text{eau}} < 12$ $D_{\text{app}}(\text{mig}) < 5$	$P_{\text{eau}} < 9$ $D_{\text{app}}(\text{mig}) < 1$
XS3	$P_{\text{eau}} < 14$	$P_{\text{eau}} < 11$	$P_{\text{eau}} < 11$ $D_{\text{app}}(\text{mig}) < 3$ $k_{\text{liq}} < 0,1$	$P_{\text{eau}} < 10$ $D_{\text{app}}(\text{mig}) < 2$ $K_{\text{gaz}} < 100$ $k_{\text{liq}} < 0,05$	$P_{\text{eau}} < 9$ $D_{\text{app}}(\text{mig}) < 1$ $K_{\text{gaz}} < 10$ $k_{\text{liq}} < 0,01$

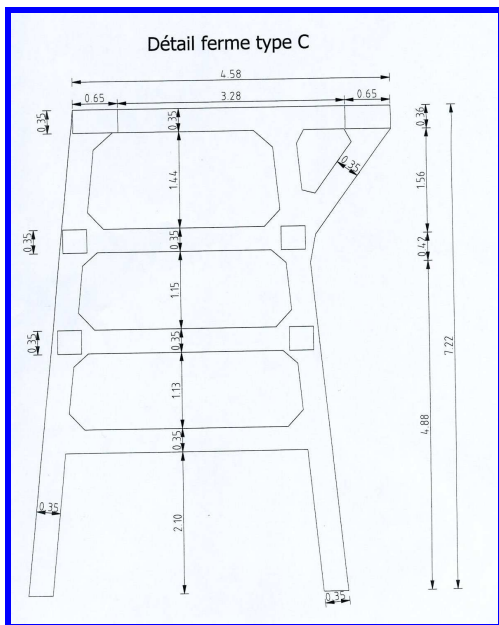
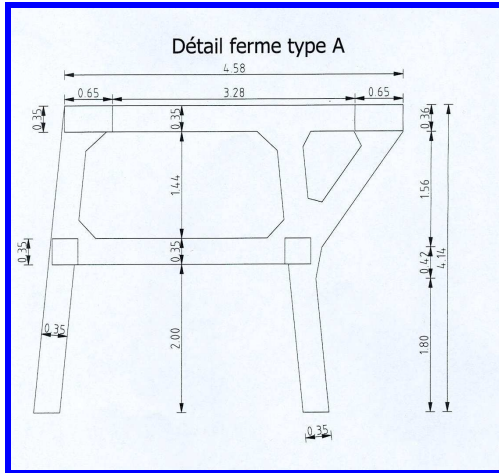
Valeurs des indicateurs en fonction de la durée de vie et de classe d'exposition

Approche performantielle pour la réparation de la jetée Ouest de Calais

Ce qui était prévu :

Fermes préfabriquées C 35

Clavage C 50



CCTP Jetée Ouest :

Béton des fermes, longrines et dalles :

C 35/45 - XS3 - D_{max} 22,4 - E/C 0,45

mini 350 kg de CEM I PM ES - RAG - EQP

Béton de clavage :

C 50/60 - XS3 - D_{max} 20 - E/C 0,45

mini 400 kg de CEM I PM ES CP2 - RAG

Retrait limité à 200 $\mu\text{m}/\text{m}$ à 28 jours pour le C 50

Définition des bétons et performances à atteindre

Références contractuelles :

- Articles 71 à 73 du fascicule 65A du CCTG, NF EN 206-1
- Caractéristiques microstructurales et propriétés relatives à la durabilité des bétons (méthodes d'essais du LCPC n° 58)
- Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages. Guide pour la mise en œuvre d'une approche performantielle et prédictive sur la base d'indicateurs de durabilité (AFGC, Juillet 2004)

Constituants du béton C 35/45

- CEM I 52,5N PM ES CP2 Dannes : 350 kg/m³
- 0/4 Carrières du Boulonnais à 7 % de fines
- 4/12 Carrières du Boulonnais
- 4/20 Carrières du Boulonnais
- Plastifiant réducteur d'eau

Constituants du béton C 50/60

- CEM I 52,5N PM ES CP2 Dannes : 400 kg/m³
- 0/4 Carrières du Boulonnais à 7 % de fines
- 4/12 Carrières du Boulonnais
- 4/20 Carrières du Boulonnais
- Super plastifiant haut réducteur d'eau
- Limiteur de retrait

Résultats bétons de convenance

- Porosité accessible à l'eau par absorption sous vide :

C 35 $P_{eau} = 14,2 \%$ (labo entreprise)

12,7 % (LR Lille)

C 50 $P_{eau} = 11,4 \%$ (LR Lille) [CCTP < 10 %]

- Coefficient de diffusion apparent des chlorures mesuré par l'essai de migration :

C 35 $D_{app} (mig) = 6,6 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (labo entreprise)

C 50 non mesuré [CCTP < $2 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

- Perméabilité apparente aux gaz à la pression d'entrée de 0,2 MPa et après séchage à 105 °C

C 35 $K_{gaz} = 110 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$ (labo entreprise)

[CCTP < $100 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$]

- Perméabilité à l'eau liquide à P max par mesure directe du flux après saturation :

C 35 $k_{liq} = 1,5 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$ (labo entreprise)

[CCTP < $0,05 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$]

LEGENDE :

	Composition satisfaisante
	Acceptable en considérant les incertitudes sur l'essai

Classes d'exposition	Durée de vie attendue				
	< 30 ans	30 à 50 ans	50 à 100 ans	100 à 120 ans	> 120 ans
			Ouvrages courants	Grands ouvrages	O.A. exceptionnels
XC1 XC2	$P_{eau} < 16$	$P_{eau} < 16$	$P_{eau} < 14$	$P_{eau} < 12$ $K_{gaz} < 100$	$P_{eau} < 9$ $K_{gaz} < 10$ $K_{liq} < 0,01$
XC3 XC4 XF1	$P_{eau} < 15$	$P_{eau} < 14$	$P_{eau} < 12$ $K_{gaz} < 100$	$P_{eau} < 9$ $K_{gaz} < 10$	$P_{eau} < 9$ $K_{gaz} < 10$ $K_{liq} < 0,01$
XD1	$P_{eau} < 16$	$P_{eau} < 14$	$P_{eau} < 12$ $K_{liq} < 0,1$	$P_{eau} < 12$ $D_{app} (mig) < 20$ $K_{liq} < 0,1$	$P_{eau} < 9$ $D_{app} (mig) < 10$ $K_{gaz} < 10$ $K_{liq} < 0,01$
XD3	$P_{eau} < 14$	$P_{eau} < 11$	$P_{eau} < 11$ $D_{app} (mig) < 2$ $K_{liq} < 0,1$	$P_{eau} < 9$ $D_{app} (mig) < 1$ $K_{gaz} < 10$ $K_{liq} < 0,01$	$P_{eau} < 9$ $D_{app} (mig) < 1$ $K_{gaz} < 10$ $K_{liq} < 0,01$
XS1 XS2 XD2	$P_{eau} < 15$	$P_{eau} < 13$	$P_{eau} < 13$ $D_{app} (mig) < 7$	$P_{eau} < 12$ $D_{app} (mig) < 5$	$P_{eau} < 9$ $D_{app} (mig) < 1$
XS3	$P_{eau} < 14$	$P_{eau} < 11$	$P_{eau} < 11$ $D_{app} (mig) < 3$ $K_{liq} < 0,1$	$P_{eau} < 10$ $D_{app} (mig) < 2$ $K_{gaz} < 100$ $K_{liq} < 0,05$	$P_{eau} < 9$ $D_{app} (mig) < 1$ $K_{gaz} < 10$ $K_{liq} < 0,01$

Indicateurs C35

Décision résultant des indicateurs

Le C 35 est abandonné, ses indicateurs sont trop éloignés des critères visés : durée de vie inférieure à 30 ans !

Le C 50 destiné aux clavages a fait l'objet de détermination d'un seul indicateur par le LRPC de Lille : La porosité accessible à l'eau de 11,4 % est acceptable si l'on prend en compte la dispersion : 8,5 à 11,5 % pour 10 % visé, d'autant que les éprouvettes ont été confectionnées par piquage lors des épreuves de convenue.

Le béton des fermes sera le C 50 initialement prévu pour le clavage, avec les modifications suivantes :

- Suppression de l'adjuvant limitant le retrait
- Augmentation du super plastifiant haut réducteur d'eau

Résultats obtenus sur le béton C 50 des fermes préfabriquées.

Prélèvement sur chantier pour détermination de la résistance à la compression à 28 jours, du retrait et des indicateurs de durabilité.

Bétons des fermes préfabriquées

- Affaissement au cône : 190 mm
- Résistance à la compression à 28 jours : 79MPa
- Retrait à 28 jours, 20 °C, 50 % d'humidité relative : 242 $\mu\text{m/m}$
- Porosité accessible à l'eau par absorption sous vide : 10,4 %
- Coefficient de diffusion apparent des chlorures : $3,7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- Perméabilité à l'azote : $45 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$

- Perméabilité à l'eau (essai réalisé par le LERM) : $0,011 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$
- Coefficient d'absorption capillaire : $4,9 \text{ kg.m}^{-2}$

Affaissement au cône → conforme affaissement S4 (160 à 210 mm)

Résistance à la compression à 28 jours → très satisfaisant

Retrait à 28 jours, 20 °C, 50 % d'humidité relative → satisfaisant

Porosité accessible à l'eau par absorption sous vide → durabilité élevée

Coefficient de diffusion apparent des chlorures → durabilité élevée

Perméabilité à l'azote → durabilité élevée

Perméabilité à l'eau → durabilité élevée

LEGENDE :

	Composition satisfaisante
	Acceptable en considérant les incertitudes sur l'essai

Classes d'exposition	Durée de vie attendue				
	< 30 ans	30 à 50 ans	50 à 100 ans Ouvrages courants	100 à 120 ans Grands ouvrages	> 120 ans O.A. exceptionnels
XC1 XC2	$P_{\text{eau}} < 16$	$P_{\text{eau}} < 16$	$P_{\text{eau}} < 14$	$P_{\text{eau}} < 12$ $K_{\text{gaz}} < 100$	$P_{\text{eau}} < 9$ $K_{\text{gaz}} < 10$ $k_{\text{liq}} < 0,01$
XC3 XC4 XF1	$P_{\text{eau}} < 15$	$P_{\text{eau}} < 14$	$P_{\text{eau}} < 12$ $K_{\text{gaz}} < 100$	$P_{\text{eau}} < 9$ $K_{\text{gaz}} < 10$	$P_{\text{eau}} < 9$ $K_{\text{gaz}} < 10$ $k_{\text{liq}} < 0,01$
XD1	$P_{\text{eau}} < 16$	$P_{\text{eau}} < 14$	$P_{\text{eau}} < 12$ $k_{\text{liq}} < 0,1$	$P_{\text{eau}} < 12$ $D_{\text{app}} (\text{mig}) < 20$ $k_{\text{liq}} < 0,1$	$P_{\text{eau}} < 9$ $D_{\text{app}} (\text{mig}) < 10$ $K_{\text{gaz}} < 10$ $k_{\text{liq}} < 0,01$
XD3	$P_{\text{eau}} < 14$	$P_{\text{eau}} < 11$	$P_{\text{eau}} < 11$ $D_{\text{app}} (\text{mig}) < 2$ $k_{\text{liq}} < 0,1$	$P_{\text{eau}} < 9$ $D_{\text{app}} (\text{mig}) < 1$ $K_{\text{gaz}} < 10$ $k_{\text{liq}} < 0,01$	$P_{\text{eau}} < 9$ $D_{\text{app}} (\text{mig}) < 1$ $K_{\text{gaz}} < 10$ $k_{\text{liq}} < 0,01$
XS1 XS2 XD2	$P_{\text{eau}} < 15$	$P_{\text{eau}} < 13$	$P_{\text{eau}} < 13$ $D_{\text{app}} (\text{mig}) < 7$	$P_{\text{eau}} < 12$ $D_{\text{app}} (\text{mig}) < 5$	$P_{\text{eau}} < 9$ $D_{\text{app}} (\text{mig}) < 1$
XS3	$P_{\text{eau}} < 14$	$P_{\text{eau}} < 11$	$P_{\text{eau}} < 11$ $D_{\text{app}} (\text{mig}) < 3$ $k_{\text{liq}} < 0,1$	$P_{\text{eau}} < 10$ $D_{\text{app}} (\text{mig}) < 2$ $K_{\text{gaz}} < 100$ $k_{\text{liq}} < 0,05$	$P_{\text{eau}} < 9$ $D_{\text{app}} (\text{mig}) < 1$ $K_{\text{gaz}} < 10$ $k_{\text{liq}} < 0,01$

Indicateurs C 50 des fermes

Résultats du contrôle extérieur

Relation résistance / affaissement au cône inverse de ce que l'on observe habituellement

Contrôle par ultrasons

La vitesse de propagation des ultrasons est liée à la masse volumique du béton et au module d'élasticité.

Le module d'élasticité est lié à la résistance.

→ La résistance est liée à la vitesse du son

Conclusions

A l'avenir, deux démarches possibles ?

- **Approche performantielle** : démarche actuelle complète
- **Méthode comparative** : on définit une formule respectant les exigences de moyens (**approche prescriptive** respectant la norme NF EN 206-1 et le fascicule 65) et on mesure les **indicateurs à titre d'information**. Ces valeurs servent de référence pour d'éventuels changements apportés à la formule, modification du dosage en ciment par exemple.

→ constitution de bases de données qui permettront de consolider les valeurs seuils proposées.