PRESCRIPTION DES BÉTONS

Retour d'expériences

Ir J.-F. Denoël

FEBELCEM
Ingénieur Conseil Bâtiments
Jf.denoel@febelcem.be
0478 82 43 18

Plan exposé

- Vous avez dit des bétons durables ?
- Prescrire
  - des bétons avec le CCTB 2022
  - du béton préparé sur chantier ?
  - des bétons apparents
  - et respecter quel enrobage ?
  - les classes d'environnement EA
  - l'ouvrabilité
  - et effectuer la cure des bétons
  - et exécuter des ouvrages massifs par temps froid
  - et exécuter par temps froid
  - la tolérance de planéité et une pente (dalles extérieures)

- Respecter les hypothèses de conception
- S'aider de publications guides

Les bétons sont durables si…

1. **Conception de l'ouvrage en béton** correcte et intelligente au niveau structural, architectural et environnemental

2. **Spécification et composition** correctes **du béton** avec des **ciments** et composants avec impacts environnementaux réduits, à performances garanties (BENOR)

3. **Mise en œuvre correcte du béton** selon les règles de l'art
   - respect des valeurs d'enrobage des armatures
   - maîtrise des retraits ,
   - vibration correcte,
   - cure adaptée,
   - prise en compte des conditions climatiques lors du bétonnage

4. **Entretien et utilisation** conformes aux hypothèses de la conception (Guide de l'entretien pour des bâtiments durables, CSTC)

5. **Réutilisation de la structure, des éléments ou recyclage** en fin de vie

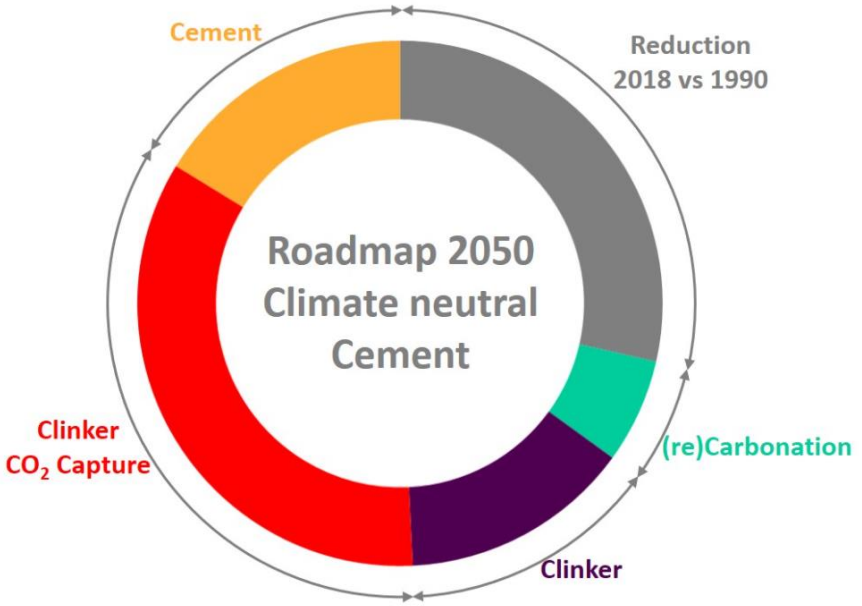
Responsabilité du MO et de son conseiller

Comment atteindre la neutralité carbone pour 2050 sur la chaine de valeur du ciment et du béton ?

L'industrie cimentière belge annonce sa « Roadmap 2050 du Ciment et du Béton » pour une construction circulaire et neutre en carbone à l'horizon 2050

Elle s'articule au travers de cinq domaines d'actions/étapes dans la construction , abrégés en « 5C

- **C**linker
- **C**iment
- **C**oncrete
- **C**onstruction
- (Re-)**C**arbonatation

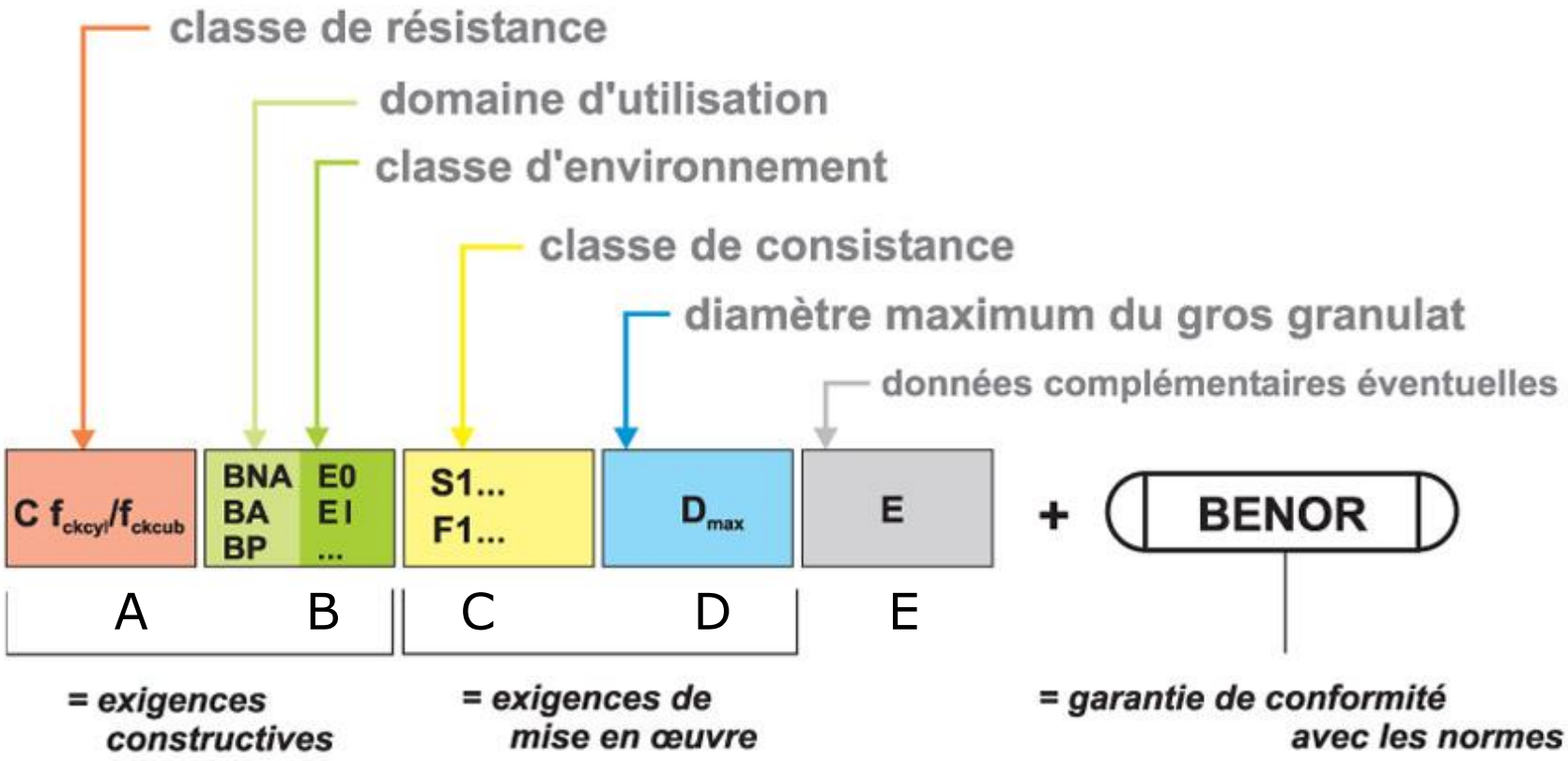


https://www.febelcem.be/fr/roadmap-2050/
https://www.febelcem.be/fr/videos/

prescription d'un béton selon les normes

NBN EN 206
& NBN B 15-001

sur base de **performances**



Le cahier des charges type, le CCTB 2022, permet la prescription des bétons armés

http://batiments.wallonie.be/

22.11.1a Poutres en béton armé coulé en place CCTB 01.07

DESCRIPTION

- Définition / Comprend

Il s'agit de l'ensemble des poutres, poutres en L, poutres en T exécutées en béton armé coulé en place. Les travaux comprennent les éléments décrits en 22 Superstructures en béton § Béton prêt à l'emploi et notamment les coffrages, les armatures (suivant le code de mesurage), le béton et la cure.

L'étude et les plans d'exécution sont / ne sont pas à charge de l'entreprise.

MATÉRIAUX

- Caractéristiques générales

Béton

- Qualité du béton selon la [NBN EN 206:2013+A1] et la [NBN B 15-001] : (voir également 22 Superstructures en béton).

A	B1	B2	C	D	E
Classe de résistance	**Domaine d'application**	**Classe d'environnement**	**Classe de consistance**	**Granulométrie maximale**	**Données complémentaires**
C25/30 // C30/37 // C35/45 // C45/55 // C50/60 // C55/67 // C60/75 // C70/85 // C80/95 // C90/105 // ***	Béton armé	*** / E0 / EI / EE1 / EE2 / EE3 / EE4 / ES1 / ES2 / ES3 / ES4 / EA1+*** / EA2+***/ EA3+***	au choix de l'entrepreneur : *** / S3 / S4 / S5 / *** / F3 / F4 / F5 / F6	au choix de l'entrepreneur : *** / 6 / 8 / 10 / 11 / 12 / 14 / 16 / 20 / 22 / 32 mm	***

Préparer son béton sur chantier selon le CCTB 2022 ?

http://batiments.wallonie.be/

22 Superstructures en béton

Le béton prêt à l'emploi est livré par une centrale à béton et est en conformité avec les Critères d'acceptabilité.

Dans le cas contraire, le maître de l'ouvrage se réserve le droit de faire procéder aux frais de l'entrepreneur à tous les contrôles nécessaires dans le cadre de la réception technique préalable suivant l'article A4.43 Réceptions techniques.

Uniquement pour des éléments de petit volume (<0,25 m^3) et moyennant l'approbation explicite de l'auteur de projet ou de l'ingénieur et en indiquant la composition exacte du béton, l'entrepreneur pourra ponctuellement utiliser du béton fabriqué sur place.

- Ex. 1 Chantier : réparations locales de balcons extérieurs
  Béton spécifié : C30/37 EE3…
  Béton contrôlé : C20/25 avec béton confectionné sur chantier avec trop d'eau
  => Usage de superplastifiant nécessaire !

- Ex. 2 Chantier : le **béton « sec »** livré par la centrale à béton doit aussi être mis en œuvre dans les délais courts avant la prise du béton (120 min ?)

Le cahier des charges type, le CCTB 2022, permet la prescription des bétons autoplaçants

http://batiments.wallonie.be/

Pour les bétons auto-plaçants, l'étalement au cône d'Abrams (consistance) est prescrit obligatoirement à l'aide d'une des classes suivantes : SF1 / SF2 / SF3 (selon la [NBN EN 12350-8])
Données complémentaires propres au béton auto-plaçant (E) :

- Classe de viscosité apparente : VS1 / VS2 (selon la [NBN EN 12350-8])
- Aptitude à l'écoulement : PL1/PL2 (selon la [NBN EN 12350-10, Essai pour béton frais - Partie 10: Béton auto-plaçant - Essai à la boîte en L]) ou PJ1/PJ2 (selon la [NBN EN 12350-12, Essai pour béton frais - Partie 12 : Béton auto-plaçant - Essai d'écoulement à l'anneau])
- Classe de résistance à la ségrégation : SR1 / SR2 (selon la [NBN EN 12350-11, Essai pour béton frais - Partie 11: Béton auto-plaçant - Essai de stabilité au tamis])

Le cahier des charges type, le CCTB 2022, permet la prescription des bétons apparents

Le type de béton apparent défini suivant la [NBN B 15-007] est ZBA/1 (par défaut) // ZBA/2 // ZBA/3 // ZBA/4 // ZBA/5 comme décrit en 22 Superstructures en béton.

La classe de finition suivant la [NBN B 15-007] est définie par la classe de béton (par défaut) / le détail des classes des caractéristiques comme décrit en 22 Superstructures en béton.
(soit par défaut)
1. la classe de béton (uniquement pour les bétons de type ZBA/1 et ZBA/2) : C (par défaut) / B / A
(soit)
2. le détail des classes des caractéristiques :(Pour les bétons de type ZBA/3 // ZBA/4 // ZBA/5 // ZBA/6 seules les caractéristiques pertinentes sont retenues)

- La texture : T1 (par défaut) / T2 / T3 / suivant description spécifique
- Le bullage : LBA1 (par défaut) / LBA2 / LBA3 / suivant description spécifique
- L'homogénéité de teinte : HT1 (par défaut) / HT2 / HT3 / suivant description spécifique
- La tolérance de forme : VF1 (par défaut) / VF2 / VF3 / suivant description spécifique

4. Classification : type de béton apparent

Code ZBA/3	Surface coffrée	Surface brute	Relief surface Grossièrement texturée	Exemple nervures des planches de coffrage

Un béton apparent se prescrit précisément selon la NBN B 15-007

Spécification du béton apparent gris ZBA/1 et ZBA/2

Liste non exhaustive

1. Choix de la classe de béton apparent
2. Joints
3. Trous d'entretoise
4. Arêtes
5. Joints de reprise
6. Joints de dilatation
7. Têtes de vis et de clous
8. Teinte grise
9. Mock-up

9 exigences détaillées quant au résultat final

10. Coffrage
11. Béton : constituants, composition, transport et production
12. Aspects de mise en œuvre

3 exigences relatives au processus de réalisation

- complétées ultérieurement, en fonction du résultat final souhaité.
- par les différents acteurs
- ces accords sur les exigences complémentaires devraient être conclus avant le début des travaux.

Le béton apparent: un travail d'équipe

arch. Annekatrien Verdickt – woning 'tussen muren' (B)

Un enrobage insuffisant prescrit ou réalisé peut conduire à la corrosion des armatures – ici initiée par la carbonatation

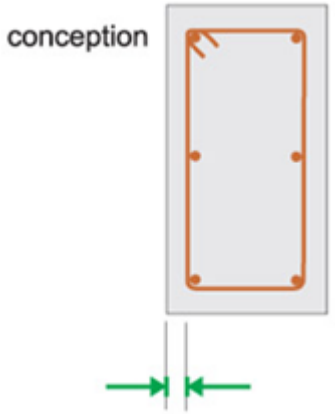
Un enrobage insuffisant prescrit ou réalisé peut conduire à la corrosion des armatures – attaque par les chlorures

Prescrire l'enrobage **nominal** sur les plans et le respecter

Présentation simplifiée de l'enrobage selon l'Eurocode 2

- **$c_{min,dur}$ = enrobage minimal lié à la durabilité**

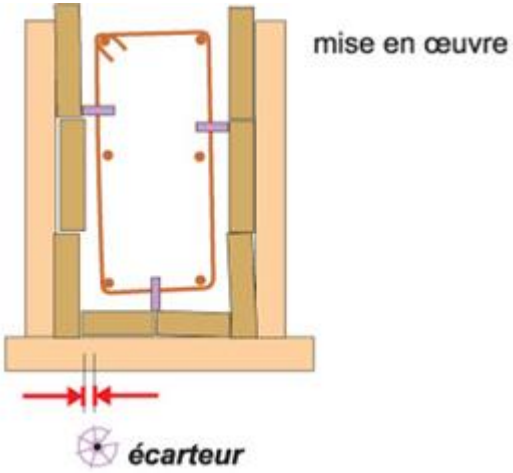
	Enrobage minimal pour BA pour classes d'environnement			
Durée	Intérieur	Ext. sans pluie	Gel + pluie	Gel + sels déverg
50 ans	15mm	25mm	30mm	45mm



- **Δc_{dev} = tolérance d 'exécution**
  = 10 mm coulé en place)

- c_{min} = enrobage minimal
  = max (10 mm, $c_{min,dur}$, diam.barre)

- C_{nom} = **enrobage nominal = enrobage min. + tolérance**
  = c_{min} + Δc_{dev}



Enrobage nominal = celui sur plans
= hauteur des écarteurs

Chantier : Ne pas oublier de préciser deux classes d'environnement en cas d'agression chimique

- Pour des silos extérieurs de stockage de maïs, le maïs fermentant s'acidifie fortement. L'acide dissout la pâte de ciment basique.
- Une classe d'environnement agressif chimiquement EA3 doit être prescrite en parallèle à une classe d'environnement EE3 gel + pluie.
- Ex : C30/37 BA EE3 S3 20 BENOR → C35/45 BA EE3 + EA3 S3 20 BENOR
- Prescrire éventuellement une surépaisseur sacrificielle à l'enrobage pour allonger la durée de vie de l'ouvrage

Chantier : Prévoir épaisseur voile suffisante pour vibration + armatures horiz. près des parements

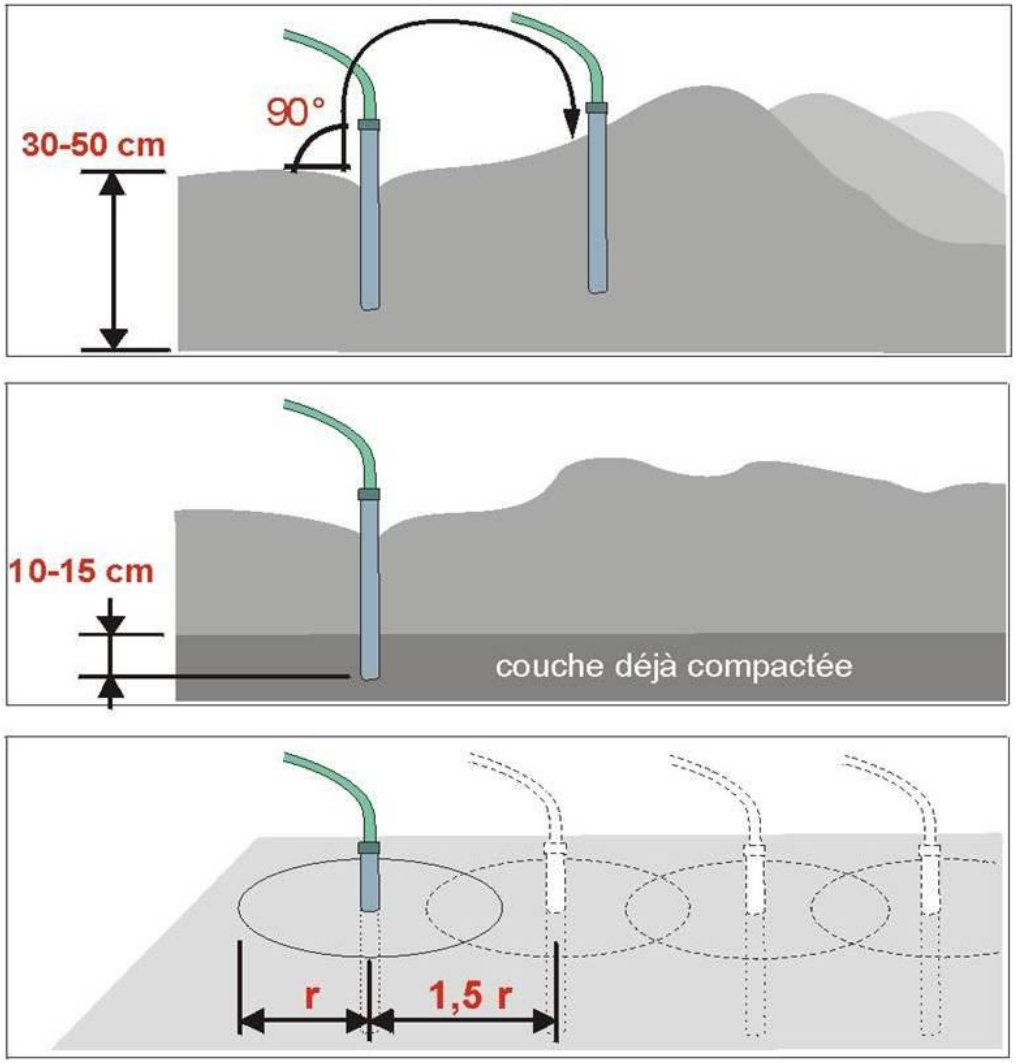
- Enrobage nominal = hauteur écarteurs
  = 30 (EE3) + 10 (tolérance)+ 10 (surépaisseur sacrificielle) = 50 mm.
- Armatures horizontales des voiles : à prévoir le plus près possible de la surface du parement (armatures verticales à l'intérieur) pour
  - **Couturer la fissuration** verticale liée au bridage du béton du voile par la dalle
  - Permettre une **vibration rapide** et efficace en donnant assez d'espace entre les nappes d'armatures pour le bétonnage et la vibration.

    L'intervalle entre deux points de plongée de l'aiguille est de l'ordre de 10 fois le diamètre de l'aiguille vibrante

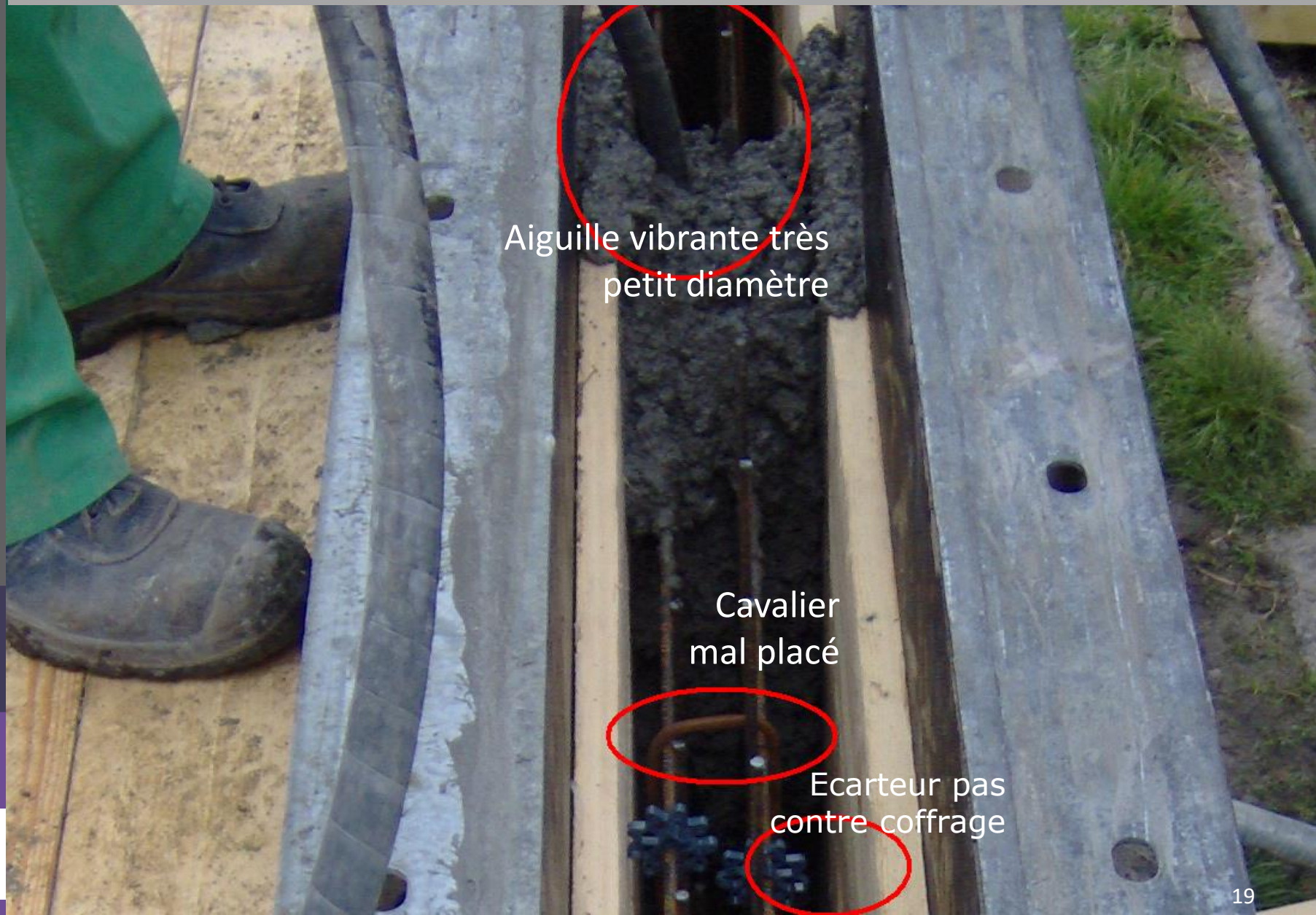
Ex : Espace pour aiguille vibrante = 200 mm (Epaisseur voile) - 2*50 mm (enrobage) - 2*10 mm (diamètre armatures horizontales) = 80 mm

=> OK aiguille de vibration de 55 mm de diamètre.

Chantier : Un béton doit toujours être vibré, compacté même en S4



Chantier : Prévoir épaisseur voile suffisante pour vibration + armatures horiz. près des parements



Chantier : Prévoir épaisseur voile suffisante pour mise en œuvre rapide endéans le délai garanti d'ouvrabilité

Chantier : Un béton doit toujours être vibré et… doit rester vibrable. (exc. Le BAP)

Les bétons doivent être protégés contre la dessiccation par une cure (maintien du coffrage ou produit de cure)

- Durée de cure minimale:
  - Classe d'environnement EI = 12 h
    - à l'exception des sols industriels et des bétons pour lesquels une qualité de surface élevée est exigée

  - Autres classes:

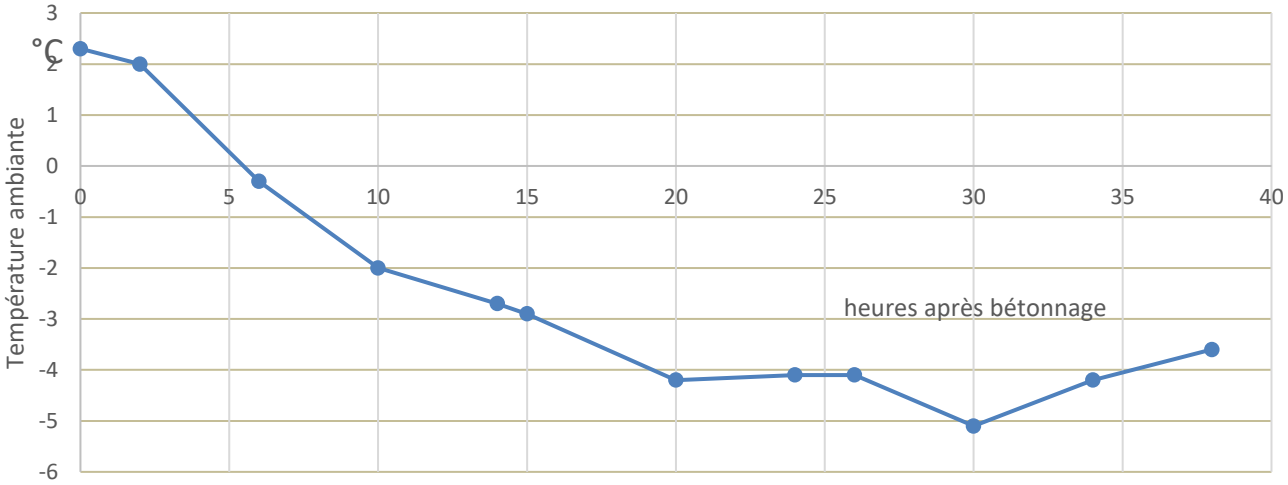
Voir NBN B 15-400 Exécution des structures

Absence de cure = risque de pulvérulence des surfaces

Durée minimale de la cure					
Conditions ambiantes	T° à la surface du béton	Evolution de la résistance du béton			
		Rapide	Moyenne	Lente	Très lente
BONNES					
Pas d'exposition directe au soleil et au vent	≥ 10 °C	1 jour	2 jours	3 jours	4 jours
	< 10 °C	2 jours	4 jours	5 jours	6 jours
Humidité relative de l'air ≥ 80 %					
NORMALES					
Ensoleillement moyen et/ou humidité relative ≥ 50 %	≥ 10 °C	2 jours	3 jours	4 jours	6 jours
	< 10 °C	4 jours	6 jours	8 jours	12 jours
MAUVAISES					
Fort ensoleillement et/ou vent fort et/ou humidité relative < 50 %	≥ 10 °C	3 jours	4 jours	7 jours	10 jours
	< 10 °C	5 jours	8 jours	10 jours	15 jours

Chantier : Si la météo signale des plongées de température (gel), reporter le bétonnage ou protéger le béton

Ex. Chantier : Bétonnage d'une terrasse en béton désactivé de 200 m^2 en hiver sans isolation contre le gel.



Observations :

- Déchaussement des granulats en surface.
- Le béton de surface a gelé

Solution : Démolition terrasse et reconstruction

Chantier : Prescrire les bétons et exécuter des ouvrages massifs – maitrise du retrait thermique

La réaction d'hydratation du ciment est exothermique

FEBELCEM

Chantier : Prescrire les bétons des ouvrages massifs avec un ciment lent (Low Heat)

- Composition des bétons de la casemate phase 1 (radier et voiles) et phase 2 (couronne) => choix d'un béton permettant un faible échauffement (Assistance technique - FEBELCEM)

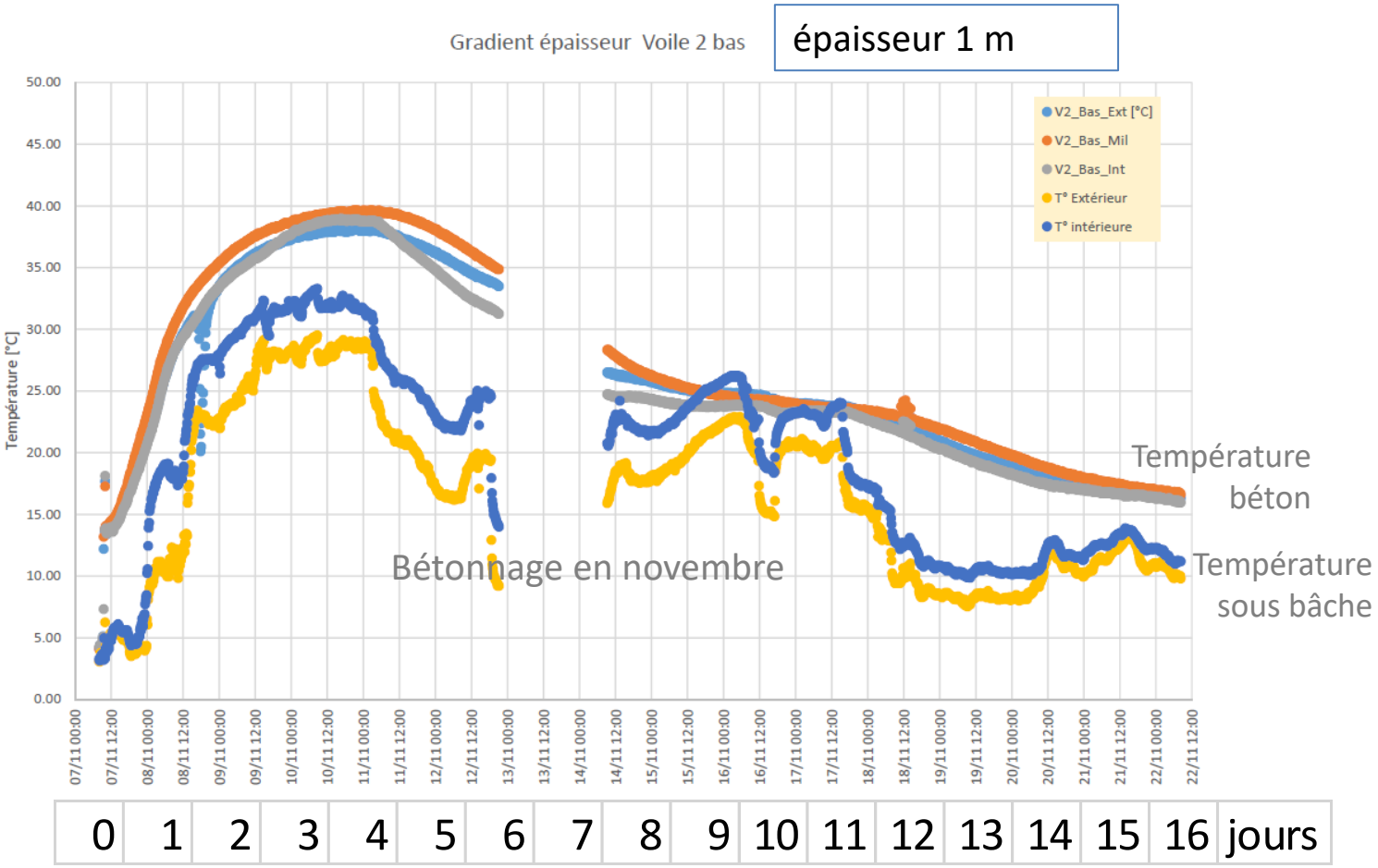
- Classe de résistance : C25/30 (C30/37 pour couronne)
- Classe d'environnement : EE2 (EE3 pour couronne)
- Classe de consistance: S3
- Dmax : 20 mm
- Données complémentaires :
  - Béton pompé
  - Ciment : CEM III/B 42,5 N HSR LA LH
  - Le dosage en ciment sera le plus faible possible dans le respect de la NBN EN 206-1 et NBN B 15-001 (300 kg/m3 mini et 320 kg/m3 mini pour couronne)
  - Gravillons : Granulats concassés calcaire (coefficient de dilatation thermique plus faible que les graviers roulés)
  - Sable : sable de rivière = sable roulé (meilleure ouvrabilité)
  - Adjuvant : HYDROFUGE

Chantier : Solution exécution – maitrise du gradient de température à basse température ambiante

- Mise en place de **thermocouples** pour monitorer les températures de cœur et de surface du béton
- Couverture de la casemate avec une **bâche épaisse** (10 mm)
- **Chauffage** du « cocon » avec des canons à chaleur durant deux semaines.
- Coupure du chauffage lorsque la différence de température entre l'air ambiant extérieur et le cœur du béton est redescendue à 15°.

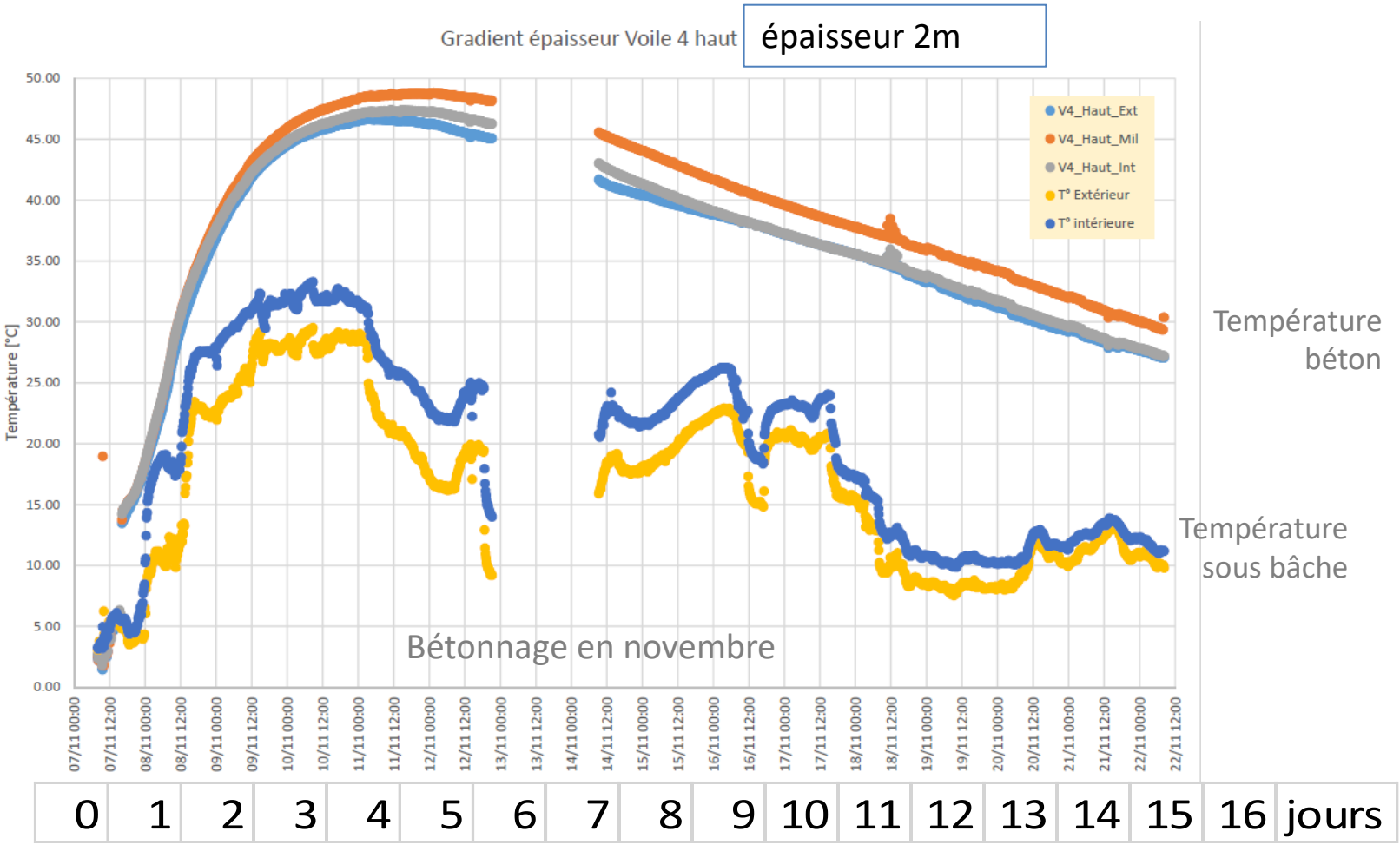
Conclusion : pas de grands calculs savants mais une réflexion saine de technologue du béton pour un résultat sans fissure.

Chantier : Ouvrages massifs, Solution exécution – maitrise du gradient de température par temps froid avec un chauffage sous bâche



T° int : température ambiante dans le cocon à l'intérieur de la casemate.
T° ext : température ambiante dans le cocon à l'extérieur de la casemate.

Chantier : Ouvrages massifs, Solution exécution – maitrise du gradient de température par temps froid avec un chauffage sous bâche



T° int : température ambiante dans le cocon à l'intérieur de la casemate.

T° ext : température ambiante dans le cocon à l'extérieur de la casemate.

Chantier : Utilisation des ouvrages doit être conforme aux hypothèses de conception

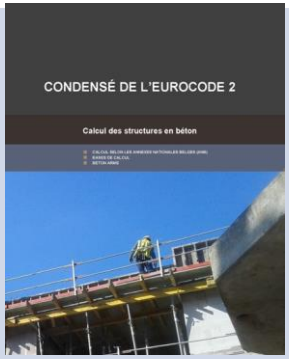
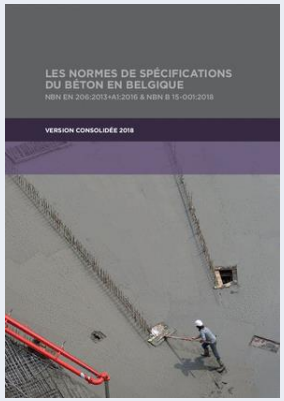
Stockage dans silos sur une hauteur
- prévue : 3 mètres
- exploitée : 9 mètres

Prescrivez explicitement la tolérance de planéité et la pente des dalles extérieures en résidentiel

Eviter les stagnations d'eau NIT 267

- Tolérance de **planéité** recommandée pour résidentiel = classe II = 5 mm/latte 2 m).
- Classe de planéité par défaut = classe IV = 9 mm/latte 2 m et
- **Pente** des dalles extérieures fonction de la planéité
  1,2 % pente théorique mini en classe II et
  2 % pente théorique mini en classe IV

Des publications pour nous guider dans l'application des normes

NORMES	PUBLICATIONS ASSOCIÉES (febelcem.be, cstc.be)
calcul (Eurocodes) **NBN EN 1992-1-1 (général)** **+ ANB** **NBN EN 1992-1-2 (feu) + ANB**	
Spécification **NBN EN 206+A1** **+ NBN B 15-001= ANB** **NBN B 15-007 (béton apparent)**	
Exécution **NBN EN 13670 + NBN B 15-400 = ANB**	NIT "Exécution des structures en béton" à paraître

En route vers des bétons durables !