Mise en œuvre correcte du bét dans les constructions

Retour d'expériences – Assistances techniques

Ir J.-F. Denoël

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

Comment obtenir des ouvrages durables en béton ?

- Préparer du béton sur chantier
- Réaliser des bétons apparents
- Placer les armatures
- Déverser le béton
- Vibrer le béton
- Documenter l'exécution pour un suivi de la cure
- Bétonner des ouvrages massifs par temps froid
- Prescrire la tolérance de planéité et une pente de dalles extérieures)
- 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, Buildwise)
5. **Réutilisation de la structure, des éléments ou recyclage** en fin de vie

Bureau d'étude

Centrale à béton

Entrepreneur

Responsabilité du MO et de son conseiller

Béton mis en œuvre doit être de composition adaptée à la classe d'environnement (E/C réduit)

Les bétons produits sur chantier ou allongés à l'eau peuvent difficilement donner des garanties de durabilité

Utilisation des ouvrages doit être conforme aux hypothèses de conception

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

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 m³) 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. 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 !)

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

Un béton **architectonique** fait référence à un béton pour des éléments préfabriqués en béton prescrit selon le PTV 21-601:2016

Un béton **apparent** fait référence à un béton coulé en place prescrit selon la NBN B 15-007:2018

https://batiments.wallonie.be

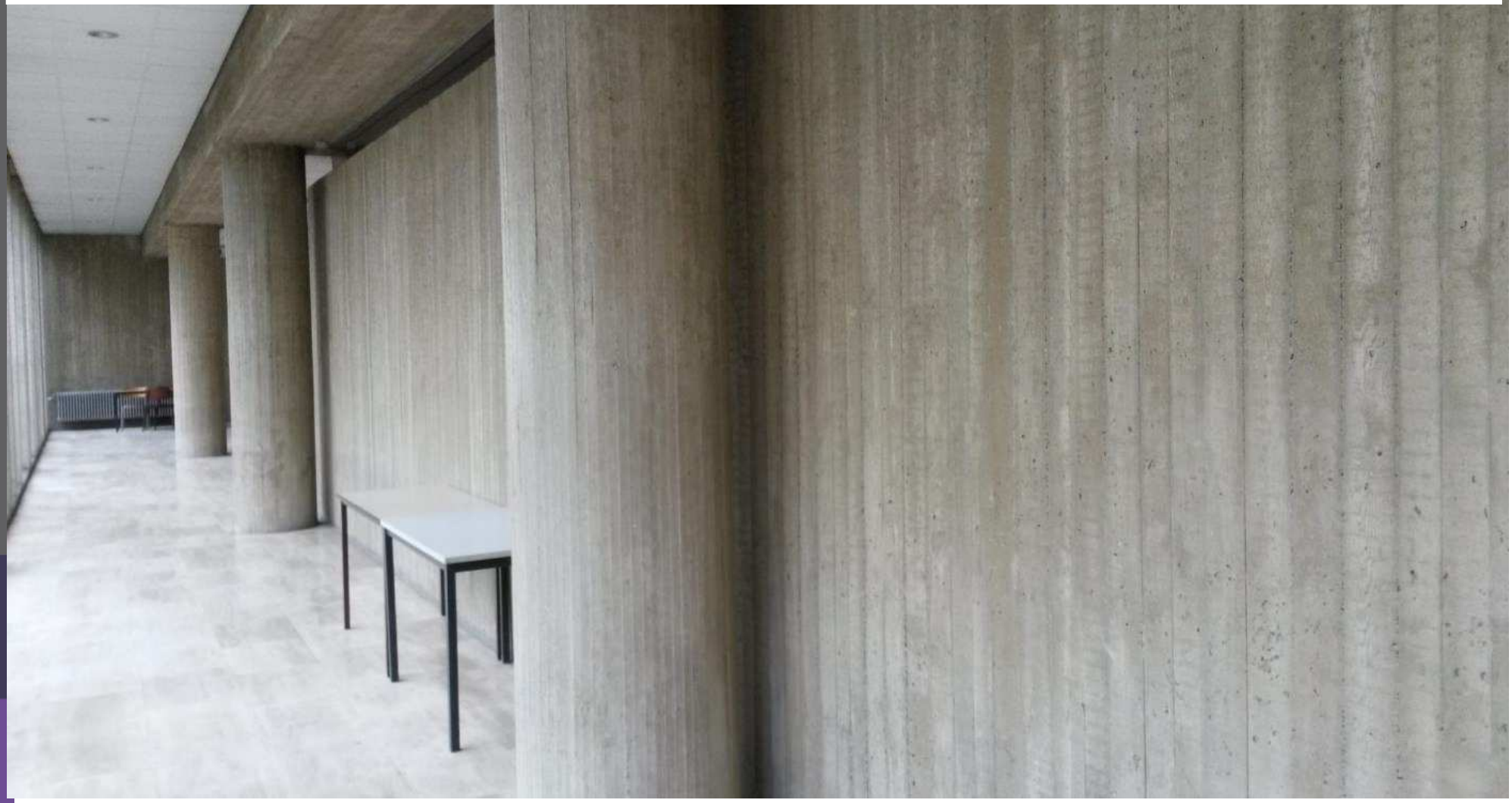
Le type de béton apparent défini suivant la [NBN B 15-007] est ZBA/1 (par défaut) // ZBA/2 // ZBA/3 // ZBA/4 // ZBA/5 comme décrit en 22 Superstructures en béton.

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 : ne pas faire l'impasse d'un mockup !

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

Tip : A réaliser impérativement

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
- les accords sur les exigences complémentaires devraient être conclus avant le début des travaux.

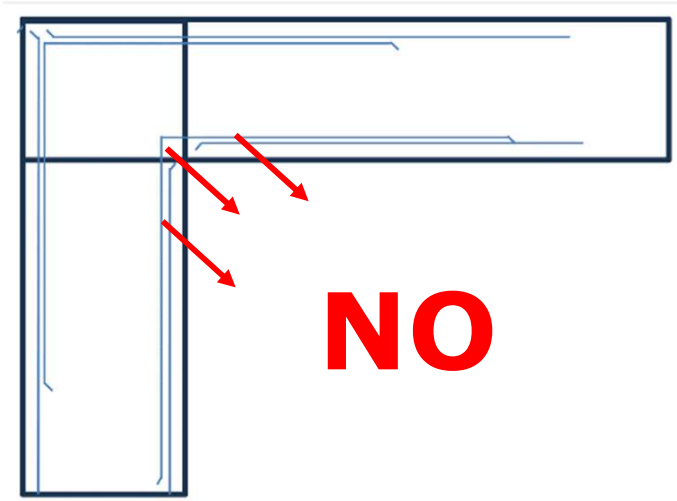
Contrôle de l'uniformité de teinte du béton apparent selon la NBN B 15-007 : pas approprié pour les taches

Le patron utilisé pour évaluer la teinte moyenne d'une zone à l'aide d'un colorimètre ne convient pas pour les taches => proposition d'amender la norme

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

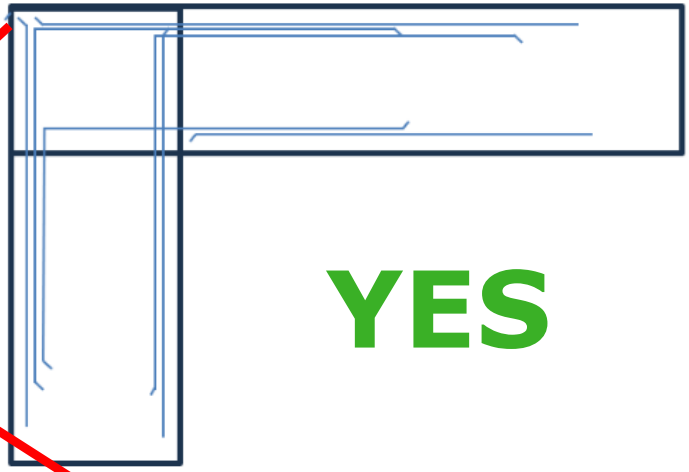
Un enrobage insuffisant prescrit ou réalisé peut conduire à la corrosion des armatures – attaque par les chlorures

Attention : dans les angles, pas de poussées au vide dans la disposition des armatures



NO

Ancrage correct des L



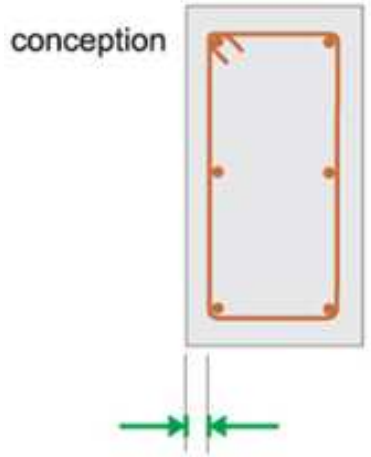
YES

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

Présentation simplifiée de l'enrobage selon l'Eurocode 2

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

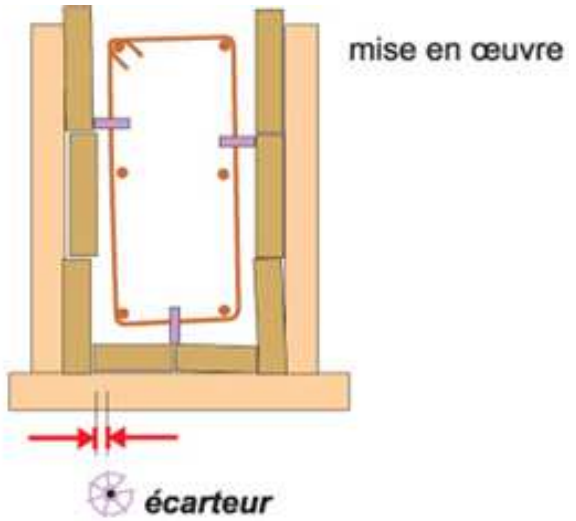
	Enrobage minimal pour BA pour classes d'environnement			
Durée	Intérieur	Ext. sans pluie	Gel + pluie	Gel + sels déverg
50 ans	15mm	25mm	30mm	45mm



- **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}



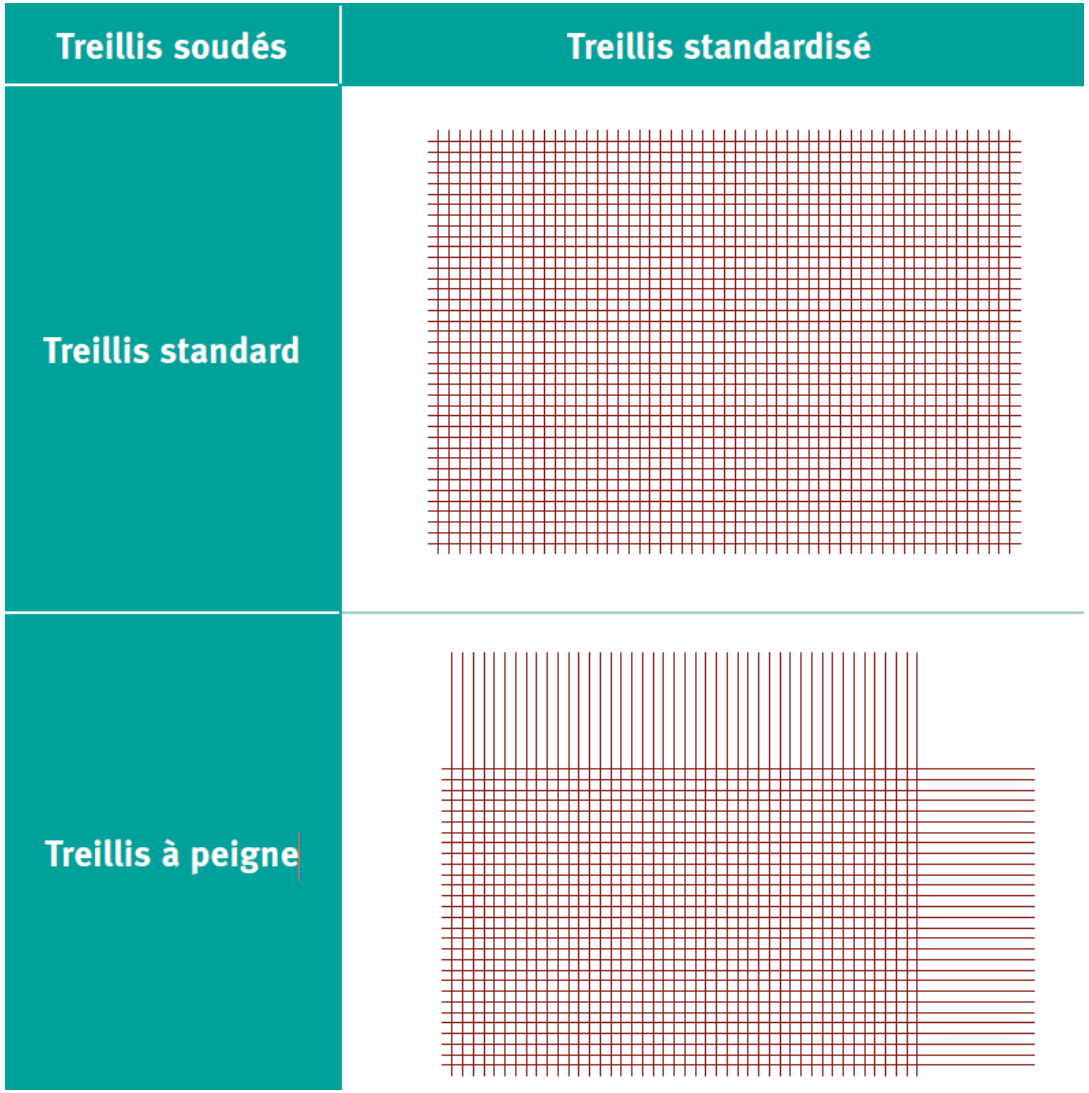
Enrobage nominal = celui sur plans
= hauteur des écarteurs

Tolérance d'exécution : pour obtenir des treillis correctement positionnés, utilisez des treillis à peigne

Pour des planchers ou voile de 20 cm d'épaisseur, les armatures doivent être positionnées avec une tolérance (de classe 1par défaut) (voir NIT 11.3.3)
Δc =-10 mm et +11 mm

=> usage de treillis à peigne ou de barres de liaison entre les treillis de type standard

Une superposition de treillis diam 8 au recouvrement de 3 treillis standards :
Δc=+32 mm >> +11 mm max risque de fissuration et de stabilité (bras de levier réduit)



Croquis (NIT 260)

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

- Enrobage nominal = hauteur écarteurs
  = 30 (EE3) + 10 (tolérance) = 40 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 7 à 8 fois le diamètre de l'aiguille vibrante

Ex : Espace pour aiguille vibrante = 200 mm (Epaisseur voile) - 2*40 mm (enrobage) - 2*10 mm (diamètre armatures horizontales) = 100 mm

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

Vue en plan d'un voile en BA

Limiter la hauteur de chute pour le béton frais à 1 mètre

Pour éviter la ségrégation, le béton est coulé avec une hauteur de chute limitée à 1 mètre

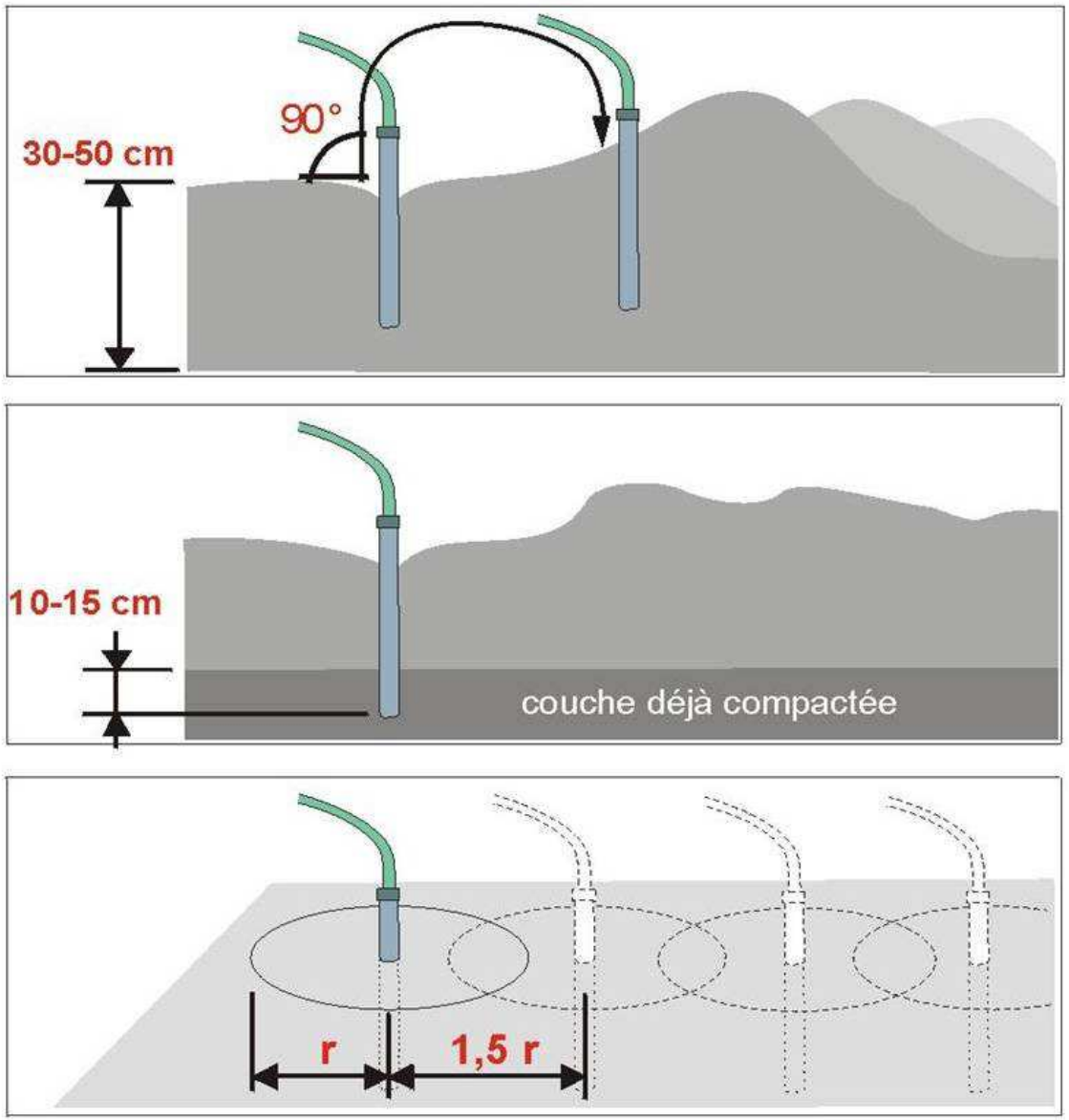
Conséquence pour un voile de 3… 4 mètres de haut :

Pour éviter la formation des nids de graviers munir le cufa ou l'extrémité du tuyau de la pompe à béton d'un manchon/chaussette en caoutchouc à descendre et à déplacer entre les lits d'armatures

⇒ l'épaisseur du mur doit être suffisante.

⇒ Autre solution : utiliser du BAP

Chantier : Un béton doit toujours être vibré, compacté même en S4 / entredistance 7…8 x diam aiguille



Prévoir suffisamment de personnel pour vibrer le béton surtout avec l'usage d'une pompe !

Ex : béton S4, débit pompe 20 m3/h, 3 à 4 aiguilles diam 55 mm (NIT 285 7.5.2.1)

Protéger les aiguilles vibrantes avec du caoutchouc pour ne pas endommager les coffrages de béton apparent

Bien vibrer un béton

	RISQUES	PRÉCAUTIONS
Survibration	Ségrégation, fuites de laitance tâches noires	Maîtriser la durée de vibration (10 à 30 secondes)
Sous-vibration	Nid de cailloux, porosité importante	Vibrer suffisamment
Revibration du béton	Bullage, marbrures tâches noires	Ne pas revibrer un béton déjà vibré
Mise en vibration des armatures	Apparition de «fantôme des armatures» Mauvaise adhérence Armatures-béton	Ne pas vibrer les armatures Bien caler les armatures
Déplacement du béton avec l'aiguille	Ségrégation	À éviter impérativement
Vibreurs trop petits	Nid de cailloux	Adapter le diamètre de l'aiguille au volume à vibrer

Bétonnage de voiles - Préconisations et mise en œuvre (fehrgroup.com)

Protéger le béton frais de la pluie – vibrer correctement - veiller à l'étanchéité des coffrages

Défaut d'

- Une vibration suffisante du béton
- une mise en œuvre dans le délai de maintien d'ouvrabilité,
- une hauteur de chute de déversement du béton réduite

L'usage de chanfrein permettrait de réduire les pertes de laitance et peut améliorer sensiblement l'esthétique

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

Prévoir suffisamment d’aiguilles de vibration pour mise en œuvre rapide endéans le délai garanti d’ouvrabilité

Un béton doit toujours être vibré (sauf le BAP) et… doit rester vibrable

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 Humidité relative de l'air ≥ 80 %	≥ 10 °C < 10 °C	1 jour 2 jours	2 jours 4 jours	3 jours 5 jours	4 jours 6 jours
NORMALES Ensoleillement moyen et/ou humidité relative ≥ 50 %	≥ 10 °C < 10 °C	2 jours 4 jours	3 jours 6 jours	4 jours 8 jours	6 jours 12 jours
MAUVAISES Fort ensoleillement et/ou vent fort et/ou humidité relative < 50 %	≥ 10 °C < 10 °C	3 jours 5 jours	4 jours 8 jours	7 jours 10 jours	10 jours 15 jours

Documentation d'exécution : Comment s'assurer du respect des durées de cure?

NIT 285 en 2.1.3 « La documentation de l'exécution est constituée de tous les documents rassemblés par l'entrepreneur lors de l'exécution comme **demandé dans les spécifications d'exécution**....P.ex. … les relevés des conditions climatiques (au minimum la température extérieure) pendant les opérations de bétonnage et de cure… »

Commentaire :

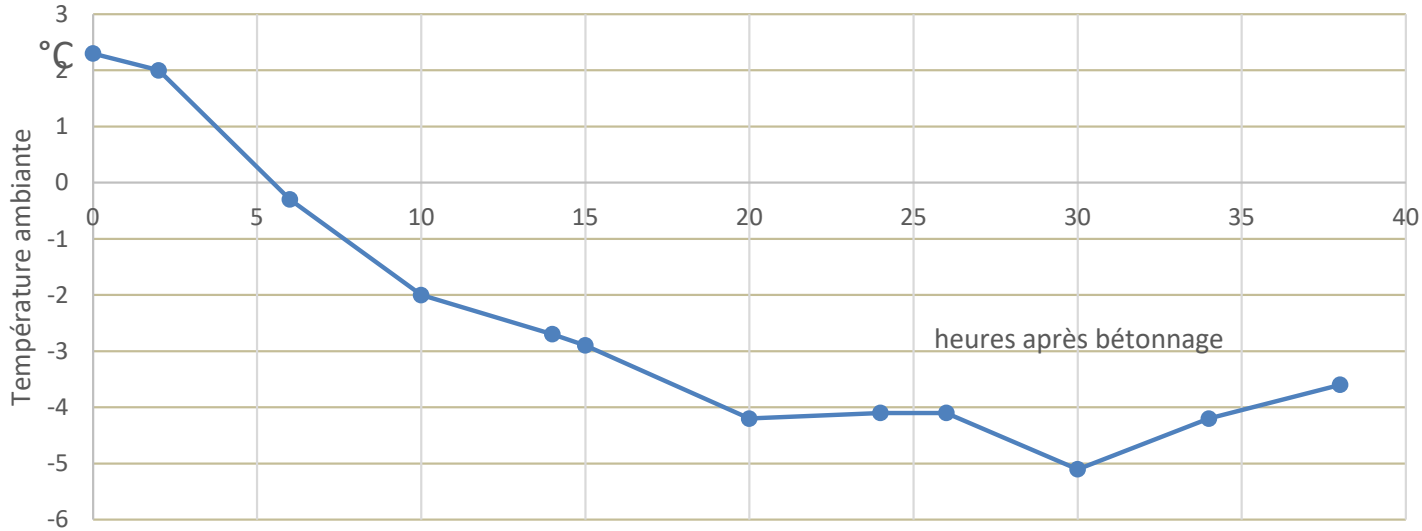
Par défaut, la classe d'exécution 1 est d'application : Si pas de demande de relevés des conditions climatiques, alors très peu d'enregistrements de chantier seront disponibles a posteriori.

Ce n'est qu'en classe d'exécution 2, qu'au minimum la $t°_{ext.}$ doit être relevée et **l'exécution documentée** selon A.4.2.3 de la NBN EN 13670:2010

FEBELCEM

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

Casemate IBA à Louvain-la-Neuve
Prototype pour protonthérapie
(murs et dalles de 1 à 2 m d'épaisseur)

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

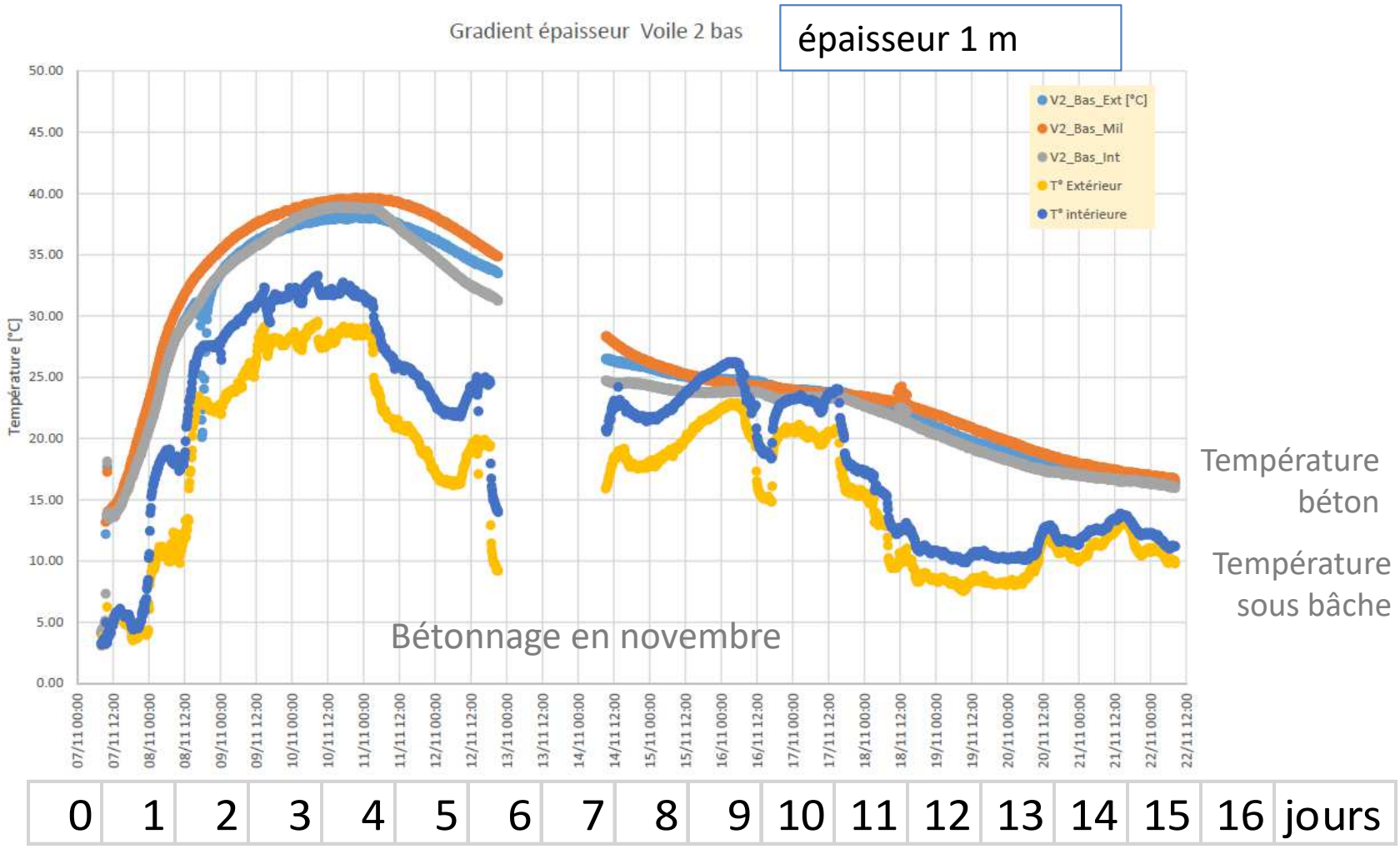
- Classe de résistance : C25/30 (C30/37 pour couronne)
- Classe d'environnement : EE2 (EE3 pour couronne)
- Classe de consistance: S3
- Dmax : 20 mm
- Données complémentaires :
  - Béton pompé
  - Ciment : CEM III/B 42,5 N HSR LA LH
  - Le dosage en ciment sera le plus faible possible dans le respect de la NBN EN 206-1 et NBN B 15-001 (300 kg/m^3 mini et 320 kg/m^3 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°.

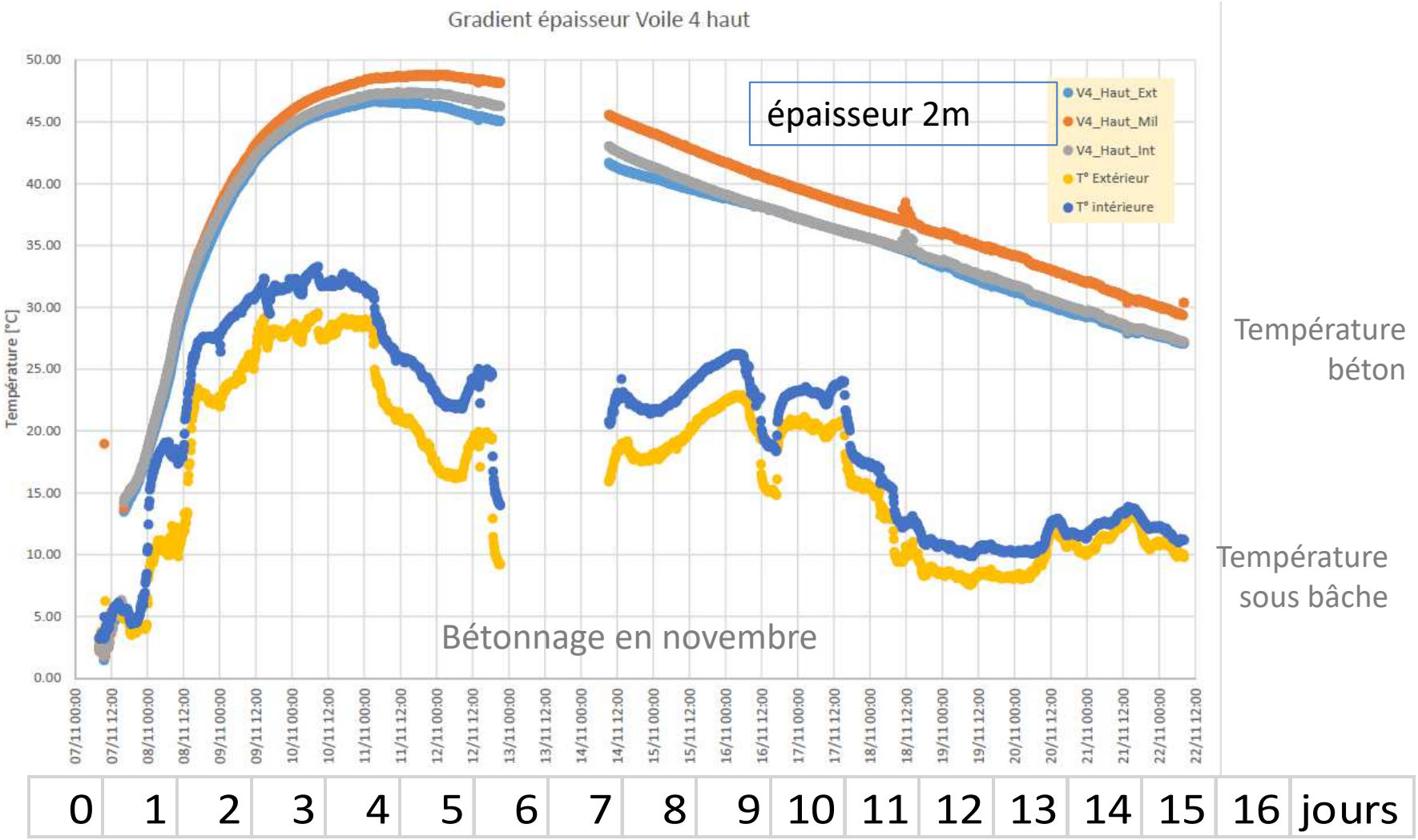
Conclusion : pas de grands calculs savants mais une réflexion saine de technologue du béton pour un résultat sans fissure.

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



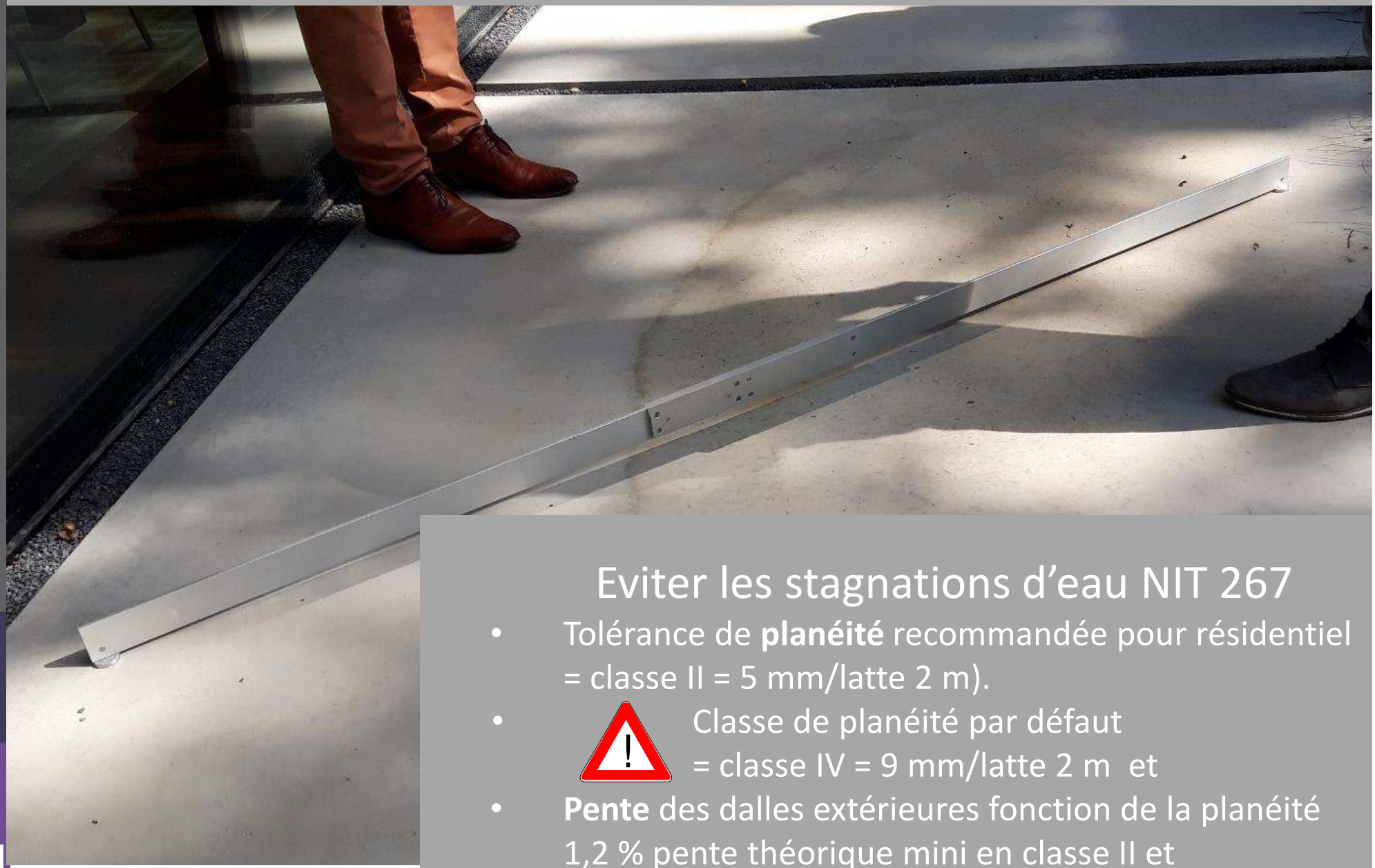
t° int : température ambiante dans le cocon à l'intérieur de la casemate.
t° ext : température ambiante dans le cocon à l'extérieur de la casemate.

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.

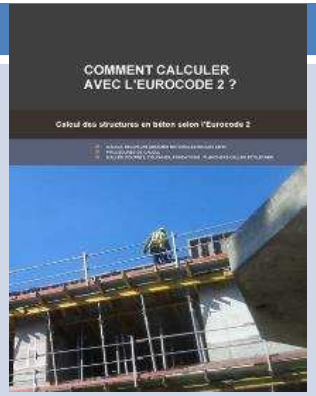
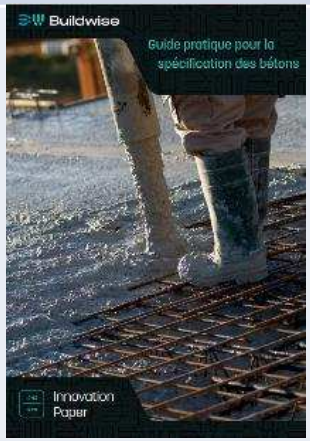
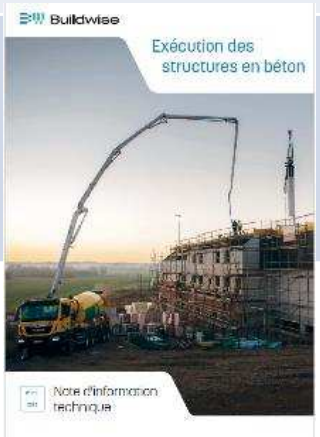
Attention : Prescrivez explicitement la tolérance de planéité et la pente des dalles extérieures en résidentiel



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, Buildwise.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 285 "Exécution des structures en béton" 

Crématorium d’Hofheide (Coussée & Goris architecten)

En route vers des bétons durables !