

Béton hydraulique

Durabilité et pathologie du béton

par **Michel ADAM**
Expert agréé par la Cour de Cassation

1. Conception, calcul et plans	C 2 250 - 2
1.1 Fissuration du béton.....	— 2
1.2 Corrosion des armatures	— 2
2. Détermination du béton.....	— 3
2.1 Choix du ciment et dosage. Rapport eau/ciment.....	— 3
2.2 Béton prêt à l'emploi	— 5
3. Mise en œuvre.....	— 6
3.1 Cas des bétons banchés dans les coffrages métalliques	— 6
3.2 Cure du béton	— 6
Références bibliographiques	— 6

La durabilité d'un béton est essentiellement liée à deux facteurs :
— sa constitution ;
— sa mise en œuvre.

La pathologie est fonction des mêmes facteurs.

On constate, en plus, que les désordres sont un peu comme les épidémies et se répandent à une période donnée ou dans une région déterminée. C'est ainsi que la durabilité d'un béton fait en 1987 à Bordeaux peut n'avoir rien de commun avec un béton fait au même endroit vingt ans plus tôt ou fait à la même date à Marseille.

Certains thèmes sont classiques comme les questions liées aux enrobages des armatures, d'autres reflètent une évolution du matériau de base comme le ciment, ou la recherche de nouveaux composants généralisée hâtivement.

Le présent article se limite à l'étude des cas classiques et aux incidents rencontrés le plus fréquemment au cours des années 80.

Il convient également de préciser que les textes réglementaires traitent au premier chef de la stabilité des ouvrages, mais prescrivent un certain nombre d'actions pour assurer leur durabilité. C'est ainsi que la stricte application des textes régissant la conception et l'exécution du béton donne de fortes chances à l'ouvrage construit de durer.

Toutefois, la réalité n'est pas là et des précautions supplémentaires sont nécessaires. Nous allons les traiter, en abordant successivement les différentes phases de la conception et de l'exécution du béton.

1. Conception, calcul et plans

Les principaux risques pour un ouvrage calculé correctement concernent la fissuration du béton et la corrosion des armatures.

1.1 Fissuration du béton

Outre l'application des prescriptions générales traitant des joints de retrait, il faut permettre les mouvements différentiels des parties d'un même élément soumises à des environnements distincts : c'est le cas des balcons par rapport aux planchers qu'ils prolongent, qui doivent être redécoupés (figure 1) avec un espacement a tel que :

$$a \leq 3b$$

Au-delà, on est sûr que la nature produira une fissure pour reconstituer le joint qui n'a pas été fait.

De même, le comportement thermique d'un élément présentant d'importants écarts de section provoquera immanquablement la fissuration des zones minces n'offrant pas de volant thermique (figure 2). Pour limiter ce type de désordre, il faut dessiner des sections dont l'épaisseur varie très progressivement, ou renforcer considérablement les armatures des zones de transition.

1.2 Corrosion des armatures

Concernant la corrosion, les règlements, qu'ils soient nationaux ou internationaux, prévoient, pour assurer aussi bien la liaison entre les armatures et le béton que la protection des armatures contre la corrosion, un enrobage minimal.

Cet enrobage est généralement lié :

- à l'environnement selon son degré d'agressivité ;
- au type d'ouvrage ;
- à la dimension des granulats.

Logiquement, c'est le bureau d'études qui définit les dimensions géométriques des pièces, le diamètre des armatures et leur position dans les coffrages.

C'est ensuite le chantier qui dispose les armatures dans les coffrages et qui définit la composition du béton en fonction :

- de la résistance prise en compte dans les calculs et des matériaux disponibles ;
- de l'agressivité du milieu ambiant.

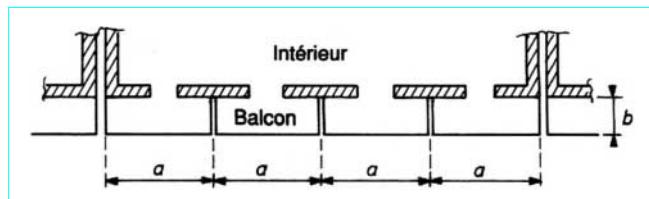


Figure 1 – Coupe horizontale de la façade d'un immeuble avec balcons

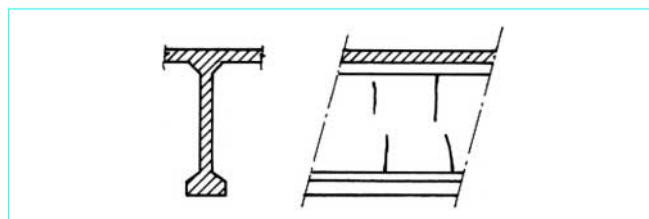


Figure 2 – Élément présentant d'importants écarts de section

Cette opération se fait en recherchant la manière la plus économique d'appliquer la réglementation.

À ce jour, la réglementation française, et elle n'est pas la seule, associe avec raison le dosage en ciment C par mètre cube de béton compacté à la dimension D du plus gros granulat par la formule :

$$C = \frac{500}{\sqrt[5]{D}} \quad (\text{milieu ordinaire})$$

$$\text{ou} \quad C = \frac{700}{\sqrt[5]{D}} \quad (\text{milieu agressif})$$

avec C en kg/m^3 et D en mm.

Donc, à qualité égale, cette formule pousse le chantier à choisir le granulat le plus gros possible, mais cette valeur est limitée par les possibilités d'enrobage des armatures, qui sont ainsi définies d'après la réglementation :

- d'une part, par les conditions d'ambiance (tableau 1) ;
- d'autre part, la relation liant l'enrobage e à la dimension D du granulat (figure 3) :

$$\text{Eurocode : } \begin{cases} e > D & \text{si } D < 32 \text{ mm} \\ e > D + 5 \text{ mm} & \text{si } D \geq 32 \text{ mm} \end{cases}$$

Règle française : $e > D$.

Tableau 1 – Valeurs de l'enrobage e en fonction des conditions d'ambiance

Réglementation	Conditions d'ambiance		
	Non sévère	Modérément sévère	Sévère
Eurocode	15 mm	25 mm	35 mm
Règles françaises	10 mm	20 mm	40 mm

Sur le dessin (théoriquement), il est exact qu'un caillou de dimension D peut se placer entre une armature et un coffrage espacés d'une distance e .

En réalité, lorsque l'on remplit les coffrages de béton, les choses sont différentes. Deux ou plusieurs cailloux s'arc-boutent entre le coffrage et l'armature et créent un barrage derrière lequel le béton se met difficilement en place et se compacte moins bien qu'à cœur. Le béton est alors relativement plus poreux au droit de l'armature qui, au bout d'un temps plus ou moins long, va se corroder et faire éclater le béton ; le processus de dégradation est ainsi amorcé.

L'expérience montre aujourd'hui que de nombreux désordres de surface, corrosion d'armature et écailleage de béton surtout, créent des risques pour les passants et sont à l'origine de travaux de ravalement qui alourdissent considérablement les frais de maintenance (figure 4).

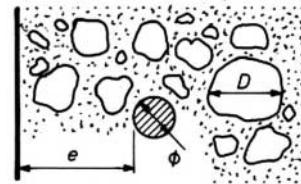


Figure 3 – Dimension de l'enrobage



Figure 4 – Armatures mal enrobées lors du coulage du béton (le ragréage n'est qu'un mauvais remède)



Figure 5 – Détail d'un flan de poteau dont le côté vu a été traité avec un retardateur de surface

L'observation des ouvrages nous a montré que manifestement le béton d'enrobage au droit d'une armature présente en général une compacité plus faible que le béton de masse (figure 5).

Les études systématiques de la composition locale de béton à divers emplacements par rapport aux armatures (figure 6) ont montré que, pour avoir une homogénéité et une compacité satisfaisantes au droit des armatures, l'épaisseur e d'enrobage est essentiellement liée à la dimension du granulat D et que la relation suivante devait être satisfait :

$$e > 1,8 D$$

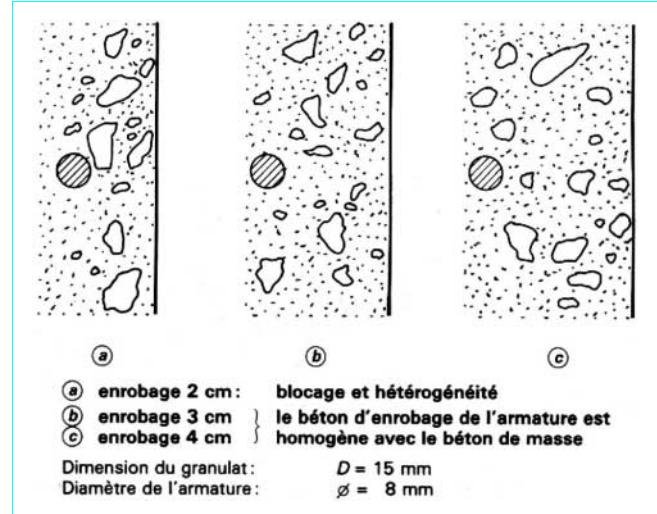


Figure 6 – Relevés de coupes de béton effectuées au droit d'une armature horizontale le long d'un coffrage vertical

2. Détermination du béton

2.1 Choix du ciment et dosage. Rapport eau/ciment

L'agressivité du milieu où se trouve l'ouvrage doit être prise en considération pour le choix du béton, indépendamment des problèmes de résistance mécanique.

Des indications générales concernant le dosage en ciment sont données dans le DTU 21 *Exécution des travaux en béton* et dans le fascicule 65 du CCTG *Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint*, étant précisé que les valeurs données concernant les ciments CPA ou CLK et que, pour les ciments CPJ, il faut en connaître les composants actifs et travailler à valeur équivalente.

Ainsi, avec un CPJ constitué de 63 % de clinker, 10 % de laitier et 17 % de cendres, qui sont tous des éléments actifs, on s'en tiendra aux dosages préconisés par les formules du règlement, mais avec un ciment CPJ constitué de 75 % de clinker et 25 % de filer, dont l'activité chimique est tout à fait négligeable, il conviendra d'augmenter le dosage préconisé de près de 33 %, le filer pouvant jouer seulement un rôle quant à la compacité, mais en aucun cas en tant que liant ni en tant qu'élément résistant à l'agressivité du milieu ambiant.

De plus, les éléments fins que sont les fillers inactifs demandent une certaine quantité d'eau pour que le béton puisse être mis facilement en place et bien entendu ne réagiront pas avec cette eau.

Il demeurera, après durcissement, une certaine quantité d'eau libre qui constituera, en augmentant la porosité du béton, un cheminement préférentiel pour les agents agressifs.

Ainsi, l'eau tient une place considérable dans le comportement d'un béton et, si l'on en met trop par rapport au **ciment actif**, on court à des ennuis.

Prenons l'exemple du CPJ précité à 25 % de filer. Pour avoir une maniabilité correcte sans utiliser d'adjvant, il est nécessaire, sur un chantier classique de bâtiment, de viser un rapport eau/ciment apparent :

$$E/C = 0,60$$

Or le ciment actif représente seulement 75 % du poids de ciment acheté et le rapport E/C réel est de :

$$E/C = 0,60/0,75 = 0,80$$

Ainsi, pour un ciment apparemment dosé à 350 kg/m³, le dosage réel est dans ce cas de :

$$0,75 \times 350 = 262,5 \text{ kg/m}^3$$

et l'eau libre restant dans le béton en fin d'hydratation du ciment sera de :

$$0,6 \times 350 - 0,28 \times 262,5 = 136,5 \text{ L/m}^3$$

sachant que la quantité d'eau nécessaire à l'hydratation du ciment est de 28 % du poids du ciment actif.

Ces 136,5 L créent, dans le béton, une porosité certaine.

C'est un facteur dont il faut tenir compte et qu'il faut compenser :

- en augmentant le dosage en ciment fillerisé (CPJ) ;
- en utilisant des adjuvants réducteurs d'eau ;
- en assurant une cure suffisante du béton.

Le rôle de la cure (article *Béton hydraulique. Mise en œuvre* [C 2 230] dans cette rubrique) est primordial avec tous les ciments lents à réagir et c'est le cas de ceux qui comportent des constituants secondaires tels que le laitier ou les cendres pour lesquels l'eau libre doit rester suffisamment longtemps disponible dans le béton, aussi bien près de la surface qu'à cœur.

Le rôle du rapport E/C est tout aussi important. Quel que soit le cas d'utilisation, il faut chercher à réduire ce rapport et éviter de dépasser 0,6.

À cet effet, trois moyens sont disponibles :

- augmenter l'énergie de mise en place (vibration puissante) ;
- augmenter le dosage en ciment qui, en soi, constitue un plastifiant dans le béton frais ;
- utiliser des adjuvants réducteurs d'eau ou fluidifiants, ce qui nécessite des essais d'étude puis de convenance lors de la mise au point du béton.

Cela peut être particulièrement utile lorsque l'on traite le béton par la chaleur pour en accélérer le durcissement (article *Prise et durcissement des bétons. Les effets thermomécaniques* [C 2 235] dans cette rubrique).

Dans le cas de milieux agressifs, pour augmenter la compacité du béton, on cherchera à abaisser le rapport E/C en deçà de 0,50 (0,45 et même 0,40 avec de bons moyens de serrage) et l'on utilisera des ciments adaptés :

- ciments inscrits sur la liste « prise-mer » de la COPLA (Commission interministérielle permanente des liants hydrauliques et des adjuvants du béton), liste régulièrement publiée par l'AFNOR ;
- ciments CLC ou CLK.

Une classification des milieux agressifs dans les sols est donnée dans le fascicule de documentation AFNOR P 18-011 [7] qui propose un choix de ciments en conséquence (tableau 2). Cela ne dispense pas de faire une étude spécifique dans les cas douteux, en liaison avec le fabricant de ciment. Il existe également, pour ce faire, des Guides d'emploi des ciments [2] auxquels on pourra se référer utilement.

Tableau 2 – Agressivité de solutions et de sols (d'après la norme P 18-011)

Agents agressifs	Degré d'agressivité			
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
Agressivité des solutions en fonction de leur concentration en agents agressifs et de leur pH (eaux stagnantes ou à faible courant, climat tempéré, pression normale)				
CO ₂ agressif (1)..... (mg/L)	15 à 30	30 à 60	60 à 100	> 100
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	250 à 600	600 à 1 500 (2)	1 500 à 6 000	> 6 000
Mg ²⁺ (mg/L)	100 à 300	300 à 1 500	1 500 à 3 000	> 3 000
NH ₄ ⁺ (mg/L)	15 à 30	30 à 60	60 à 100	> 100
pH	6,5 à 5,5	5,5, à 4,5	4,5 à 4	< 4
Cas de l'eau douce				
TAC (3)	≤ 1 mEq/L			
Agressivité des sols en fonction de la teneur en SO₄²⁻				
SO ₄ ²⁻ dans le sol sec (4)..... (%)	0,24 à 0,6	0,6 à 1,2	1,2 à 2,4	> 2,4
SO ₄ ²⁻ extrait du sol sec (5) (mg/L)	1 200 à 2 300	2 300 à 3 700	3 700 à 6 700	> 6 700
Niveau de protection	1	2	2	3

(1) Excès de CO₂ dissous par rapport au CO₂ nécessaire au maintien en solution des hydrocarbonates de Ca et Mg.
(2) La limite est fixée à 3 000 mg/L pour l'eau de mer.
(3) Titre alcalimétrique complet (norme NF T 90-036).
1 mEq = 5° français = 2,8° allemands = 50 mg/L de Ca CO₃ éq.
(4) Extraction par HCl à chaud.
(5) Extraction par l'eau : rapport eau/sol = 2/1.

Remarques
Si plusieurs agents agressifs sont présents simultanément, la classe d'agressivité à prendre en compte est celle de l'agent dont la concentration ou le pH correspond au plus fort degré d'agressivité.
Si les agents agressifs sont en concentrations inférieures à celles qui correspondent au degré faiblement agressif, l'environnement est considéré comme non agressif (A₀).

2.2 Béton prêt à l'emploi

Dans le cas où l'entreprise a recours à un fabricant, il convient, dans la commande, de préciser au mieux les besoins du chantier.

À cet effet, la norme NF P 18-305 [8] offre un éventail de produits relativement vague, mais aussi la **possibilité de viser très précis**. C'est ainsi que l'on trouve :

- les BCN (bétons à caractéristiques normalisées) définissant :
 - la dimension maximale D des granulats,
 - la maniabilité par l'affaissement au cône,
 - et la résistance mécanique conventionnelle à 28 j.

Une formule :

$$C = \frac{250 + 10 f_{ck}}{\sqrt[5]{D}} \text{ (en kg/m}^3\text{)}$$

avec f_{ck} (MPa) résistance caractéristique à la compression, D (mm) dimension du plus gros granulat, établie du temps où l'on ne mettait pas de filler dans les ciments, est censée assurer un dosage minimal en ciment C et donc une certaine durabilité au béton ;

— les BCS (bétons à caractéristiques spécifiées). Ici l'acheteur définit son béton et le fabricant met à sa disposition son matériel pour le réaliser.

De plus, la norme précise que le BCN n'exclut pas la possibilité, pour le client, de spécifier des **caractéristiques complémentaires** – non définies dans la norme – tenant compte des conditions particulières au chantier ou à l'ouvrage à réaliser.

Ce point est **capital**, car il permet toute adaptation :

- au chantier ;
- à l'ouvrage ;

du béton se trouvant dans les familles de fabrication normales du producteur et bénéficiant, si l'usine est à la marque NF-BPE, du contrôle correspondant.

Reprendons comme **exemple** l'étude de la durabilité d'un ouvrage lié au dosage en ciment.

Pour un BCN, le fabricant n'est tenu d'assurer qu'une résistance à 28 j à la compression et un dosage minimal. Par contre, l'entrepreneur doit livrer un béton en conformité avec le DTU 21 ou le fascicule 65 (Exécution du béton), mais surtout il est tenu par le Code Civil à garantir la responsabilité décennale sinon trentenaire.

Soit un béton à 25 MPa de résistance caractéristique, la norme sur les BPE prescrit pour les granulats de 25 mm un dosage minimal C de :

$$C = \frac{250 + 250}{\sqrt[5]{25}} = 262,65 \text{ kg/m}^3$$

Or nous avons, sur le marché, du CPJ à 25 % de filler, ce qui permet de descendre en éléments actifs du ciment à $0,75 \times 263 = 197 \text{ kg/m}^3$ (la norme admet une teneur maximale de 35 % et il existe un ciment à la marque NF à 27 % de filler fabriqué en Allemagne).

Le fascicule 65, comme le DTU 21, admet un tel dosage en ouvrage intérieur, du moment que les résistances mécaniques demandées par les calculs sont atteintes. Mais, pour assurer la durabilité des ouvrages, si le béton est exposé à l'extérieur sans agressivité particulière, les dosages en CPA ou CLK sont donnés par :

$$C = \frac{550}{\sqrt[5]{25}} = 288,9 \text{ kg/m}^3$$

Le DTU précise que les ciments CPJ doivent justifier de caractéristiques actives équivalentes à celles des CPA ou des CLK, comme nous l'avons vu précédemment.

De son côté, le fascicule 65 précise, dans l'annexe technique T 24.1, que l'éventualité de remplacement d'une certaine quantité de ciment requise pour des prescriptions particulières (mise en œuvre, qualité de parement) par une égale quantité de fines pour faire l'objet d'une étude spécifique.

C'est dire la prudence avec laquelle on devra utiliser les ciments fillerisés, surtout s'il s'agit de béton prêt à l'emploi.

Notons, d'après la figure 7, que, pour faire cadrer la norme avec les règles d'exécution du béton, on ne peut commander des bétons pour les ouvrages extérieurs que dans les classes :

- B 30 et au-dessus, en atmosphère non agressive ;
- B 45 et plus, en milieu agressif.

Mais ce n'est pas tout. Les fabricants ont estimé qu'ils vendaient mieux leur béton en ne se référant ni aux BCN ni aux BCS, mais à des bétons de marque.

Ce sont les bétons les plus divers où une résistance mécanique est parfois annoncée mais non point garantie. Le dosage n'est jamais évoqué ; par contre, il est annoncé des avantages immédiatement palpables tels que :

- prix compétitif ;
- bonne maniabilité ;
- qualité honnête de parement correspondant à un béton soigné.

Il arrive encore que de tels bétons ou mortiers, mis au point pour un usage donné, puissent être maladroitement conseillés aux utilisateurs pour un usage différent. Ainsi, des mortiers retardés mis au point pour hourder des maçonneries seront utilisés pour réaliser une chape au sol et fissureront allègrement au bout d'une dizaine de jours.

Il faut savoir que de tels bétons ne relèvent en aucun cas de la marque NF BPE et ne sont nullement contrôlés par les organismes chargés de gérer la marque.

C'est pourquoi il convient, à la commande de tels bétons, d'obtenir du fabricant qu'il garantisse la conformité de la composition (et donc du dosage) aux prescriptions des textes réglementaires, en l'occurrence, selon le cas :

- le DTU 21 [5] ;
- le fascicule 65 [4].

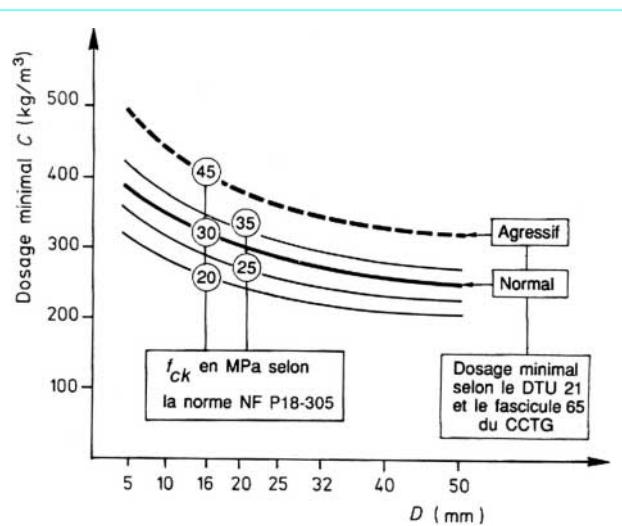


Figure 7 – Dosages minimaux en ciment imposés : d'une part, par la norme NF P 18-305 sur les bétons prêts à l'emploi [8] ; d'autre part, par le fascicule 65 du CCTG et le DTU 21 [4] [5].

3. Mise en œuvre

La réussite de la mise en œuvre est liée à un nombre considérable de facteurs.

Il convient simplement d'évoquer ici les facteurs les plus importants tels que :

— le **temps écoulé entre la fabrication et la mise en place dans les coffrages**, qui doit être inférieur au temps de début de prise, lui-même fonction du ciment, de la température (il diminue quand la température augmente), du rapport eau/ciment (il croît avec E/C), de l'adjuvant utilisé ;

— la **qualité des reprises de bétonnage**. Sur du **béton frais**, il faut pouvoir homogénéiser les lits successifs de bétonnage le plus souvent par vibration. Sur du **béton durci**, il y a tout intérêt à redémarrer le bétonnage avec une gâchée enrichie en mortier, la surface de reprise ayant au préalable été repiquée à vif et arrosée ;

— la **manière de déverser le béton** à son emplacement définitif en limitant les hauteurs de chute libre (1,5 m est un maximum pour un béton correct) pour ne provoquer ni ségrégation ni emprisonnement d'air.

Des méthodes et des détails sur ces opérations beaucoup plus généralisées dans les pays anglo-saxons que chez nous sont donnés dans les ouvrages spécialisés.

Nous insisterons ici sur les seuls points suivants qui nous paraissent les plus négligés actuellement :

— l'effet de la température ambiante pendant la période de coffrage ;

— la cure du béton.

3.1 Cas des bétons banchés dans les coffrages métalliques

Il faut savoir :

— qu'une banche métallique est un excellent échangeur thermique ;

— qu'un mur de bâtiment en béton banché a rarement plus de 20 cm d'épaisseur et souvent moins ;

— qu'en hiver et en demi-saison il fait froid et que le béton coulé à 4 ou 5 h de l'après-midi dans des banches métalliques aura sa prise et son durcissement d'autant plus ralenti que le ciment utilisé a moins d'éléments actifs (CPJ fillérisé), que son dosage est faible et sa classe de résistance basse.

Avec un BCS, l'entreprise peut imposer un dosage en ciment.

Avec un BCN, le dosage minimal est fixé par la norme :

$$C = \frac{250 + 10f_{ck}}{\sqrt[5]{D}}$$

Avec un **béton de marque**, on ne sait rien sur le dosage qui peut être nettement au-dessous du seuil précisé par la norme des BPE (NF P 18-305).

Il en résulte que le béton banché coulé un soir peut le lendemain matin, lors du décoffrage, avoir une résistance juste suffisante à cœur

pour être stable, mais insuffisante en peau pour tenir au décoffrage, ce qui produira inéluctablement des arrachages de surface qu'il faudra r agréer, et il convient de noter que le coût des r agréages est souvent très supérieur aux économies faites en utilisant un béton de marque à la place d'un BCN ou d'un BCS.

C'est pourquoi il est recommandé par temps froid, lorsque l'on utilise des banches métalliques, de se servir de bétons correctement dosés en ciment de classe d'autant plus forte qu'il fait froid la nuit.

À titre d'**exemple**, pour décoffrer après une nuit, on peut retenir :

- au-dessus de 15 °C : les CPJ 45 et un dosage de 280 kg/m³ ;
- au-dessus de 10 °C : les CPA 55 et un dosage de 300 à 320 kg/m³ ;
- au-dessus de 5 °C : les CPA HPR et un dosage de 350 kg/m³ ;
- au-dessous de 5 °C : il vaut mieux s'abstenir ou retarder le décoffrage d'une journée pour les CPA HPR, toutes questions de gel mises à part.

3.2 Cure du béton

Il convient, en premier lieu, de souligner que la meilleure des cures est le maintien en place des coffrages. Cependant, pour des raisons économiques, le coffrage sera très généralement retiré dès que le béton aura atteint une résistance mécanique suffisante pour être autostable. Dès lors, un autre système doit assurer la relève pour empêcher l'eau de s'évaporer et c'est l'objet principal de la cure.

La cure a également pour objet d'assurer la protection du béton contre :

- le délavage par la pluie ;
- le froid en hiver ;
- les gradients thermiques internes, pour les éléments à fortes variations d'inertie géométrique.

Dans ces derniers cas, la cure doit consister non seulement à réaliser une barrière hydraulique, mais aussi thermique.

Il est par ailleurs évident que la cure des surfaces non coiffées doit débuter dès la fin du surfacage, pour que le béton puisse atteindre de bonnes conditions de durabilité.

On évite ainsi, ou tout du moins on limite :

- l'apparition du retrait superficiel avec son cortège de faïençages et de fissures qui constituent un cheminement préférentiel pour la neutralisation du béton et donc la moins bonne protection des aciers ;
- l'hydratation incomplète du ciment, laquelle conduit à une baisse des résistances superficielles.

Les éléments les plus perturbateurs, en dehors du risque de gel en hiver, sont les actions du soleil et du vent qui tous deux dessèchent la surface du béton. Pour se prémunir contre ces actions, on utilise généralement l'un des procédés suivants : emploi de films plastiques ou de bâches humides, arrosage en pluie fine, application d'un produit de cure.

Un facteur important est la durée du traitement. Elle est précisée dans le fascicule 65 (article *Béton hydraulique Mise en œuvre* [C 2 230] dans cette rubrique).

Références bibliographiques

- | | | |
|---|---|--|
| [1] ADAM (M). – <i>Aspect du béton, techniques, réalisation, pathologie</i> . Collection de l'ITBTP (1971). | [3] <i>Manual of concrete practice. Part 2. Construction practices and inspection</i> (révisé chaque année). ACI. | [6] Travaux des comités ISO 71 et CEN 104. <i>Exécution du béton</i> . |
| [2] ADAM (M). – <i>Guide pratique pour l'emploi des ciments</i> . 8 ^e édition, Eyrolles (1985). | [4] Fascicule 65 du CCTG des marchés publics de travaux. <i>Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint</i> . | [7] FDP 18-011 Bétons. <i>Classification des environnements agressifs</i> . AFNOR, mai 1985. |
| | [5] DTU 21. <i>Exécution des travaux en béton</i> . | [8] Norme NF P 18-305. <i>Bétons prêts à l'emploi préparés en usine</i> . AFNOR, déc. 1981. |