

LE BETON ET LE SECTEUR AGRICOLE (1)

Applications du béton prêt à l'emploi

**DOSSIER
CIMENT**

27
octobre 2001

ouvrage agricole

béton coulé in situ
durabilité technique

| | | |
|----|-----|-----|
| 26 | E12 | (X) |
|----|-----|-----|

DD3HD

L'agriculture, l'élevage et l'horticulture sont confrontés à de nouveaux défis économiques et environnementaux. Le béton, de par ses atouts, offre à ces secteurs des solutions durables et économiques.

Dès son origine, le béton fut apprécié pour sa solidité, sa qualité et sa longévité. Il permet par ailleurs une utilisation flexible et multifonctionnelle, tant pour de petits travaux (lorsque l'agriculteur coule lui-même son béton) que pour des constructions très complexes, telles les étables construites sur des caves à lisier.

Une autre qualité du béton, très appréciée par le secteur agricole, est son coût réduit et son aspect économique à l'emploi. Celui-ci ne nécessite en effet peu voire pas d'entretien.

Dans ce bulletin, nous ne parlerons que du béton prêt à l'emploi. L'accent est surtout mis sur l'agressivité de nombreux agents susceptibles d'attaquer le béton dans les exploitations agricoles et l'intérêt de prescrire le béton capable de répondre parfaitement aux exigences de durabilité. Ainsi, un tableau donne plusieurs applications accompagnées des spécifications du béton. De plus, des informations sont également données pour la mise en œuvre. De nombreux problèmes sont en effet souvent liés à des défauts d'exécution.

L'industrie des éléments préfabriqués en béton permet également de répondre aux besoins du secteur agricole en lui offrant une large palette de solutions. Un prochain bulletin fera l'objet de ces possibilités.

1. DURABILITE

Dans le domaine agricole, le béton est soumis à l'agression de nombreux produits. Plusieurs formes d'agression du béton sont possibles comme schématisé dans la figure 1.

1.1. Attaque par les acides

Le béton est un matériau basique et se voit donc attaqué par les acides. Ceux-ci réagissent avec les matériaux à base de calcium du béton durci pour mener à la formation de sels de calcium de l'acide corrodant (sel soluble). Il y a donc dissolution de la structure du ciment durci. Les granulats calcaires eux aussi sont attaqués par les acides. Les granulats siliceux (de rivière ou de mer) ainsi que ceux de porphyres sont résistants.

Dans le secteur agricole, l'attaque par les acides est la plus destructrice des agressions citées dans le schéma. Les principaux acides rencontrés sont les acides acétique et lactique. On les trouve par exemple dans les jus de silos. Les aliments pour animaux en contact avec la salive et tombant à côté de l'auge attaquent également le sol de l'étable ou de la porcherie.

La vitesse d'attaque dépend des éléments suivants :

- le degré d'acidité (pH) de la solution acide. Un pH entre 6,5 et 5,5 est considéré comme 'faiblement agressif', un pH entre 5,5 et 4,5 comme 'moyennement agressif' et un pH inférieur à 4,5 (jus de silos par exemple) comme 'fortement agressif';
- les solutions stagnantes sont moins agressives que les solutions ruisselantes et répétées;
- la solubilité du sel formé.

Comment prévenir ?

Les mesures à prendre pour ralentir l'attaque sont fonction du degré d'acidité. Plus le milieu est agressif, plus la porosité du béton doit être faible; le rapport eau/ciment doit donc être le plus réduit possible (fig. 2). Il y a toutefois lieu de retenir que l'attaque est inévitable à moins que l'on applique une couche protectrice (coating).

L'utilisation de granulats calcaires donne lieu à une attaque superficielle homogène et progressive. Pour les granulats non calcaires, seul le ciment est attaqué, ce qui donne une surface rugueuse (provoquant des blessures aux pattes des animaux) et mène à un descellement progressif des granulats.

Pour tenir compte de l'attaque due aux acides, on peut prévoir une épaisseur sacrifiée, dimensionnée sur la base de la durée de vie envisagée pour la construction d'une part et de la vitesse d'attaque d'autre part. Ceci est parfois une option intéressante à prendre lors de l'élaboration du projet.

1.2. Attaque par les sulfates

Les engrais et les déjections animales (fumier, lisier, purin) peuvent contenir des sulfates. On les trouve en combinaison avec différents cations comme le sodium, le calcium, l'ammonium et le magnésium.

Le sulfate de sodium réagit entre autre avec la chaux qui se libère lors de l'hydratation du clinker du ciment:



Le sulfate de calcium réagit avec les aluminates de calcium hydratés (principalement C₃A) et forme ainsi un sulfo-aluminate de calcium (appelé ettringite) dont la propriété est de gonfler considérablement en contact avec de l'eau. Les contraintes internes qui en résultent peuvent conduire à une fissuration du béton et même à sa destruction.

Comment prévenir ?

Pour éviter une attaque due aux sulfates, il faut :

- utiliser un ciment HSR tel que défini au cadre ci-contre;
- réaliser un béton avec un E/C réduit ($\leq 0,50$ voire 0,45).

1.3. Attaque par les sels d'ammonium et de magnésium

Des sels agressifs (comme les sels d'ammonium et de magnésium) décomposent le ciment durci. Ces deux sels se trouvent e.a. dans le lisier, le purin, les engrais chimiques.

Le magnésium se substitue au calcium du liant pour former, soit de l'hydroxyde de magnésium, soit du silicate de magnésium, précipitant sous forme de composé gélatineux. Il faut noter que si la cristallisation de Mg(OH)₂ est expansive, il n'en reste pas moins que l'attaque par le magnésium aurait plutôt un caractère dissolvant qu'expansif.

Le sel d'ammonium réagit avec la chaux (hydroxyde de calcium) pour donner un gaz qui s'échappe du béton (l'ammoniac - NH₃) et un sel de calcium généralement soluble.

Comment prévenir ?

La prévention consiste une fois de plus en l'amélioration de la compacité du béton, en diminuant le E/C par exemple (fig.2).

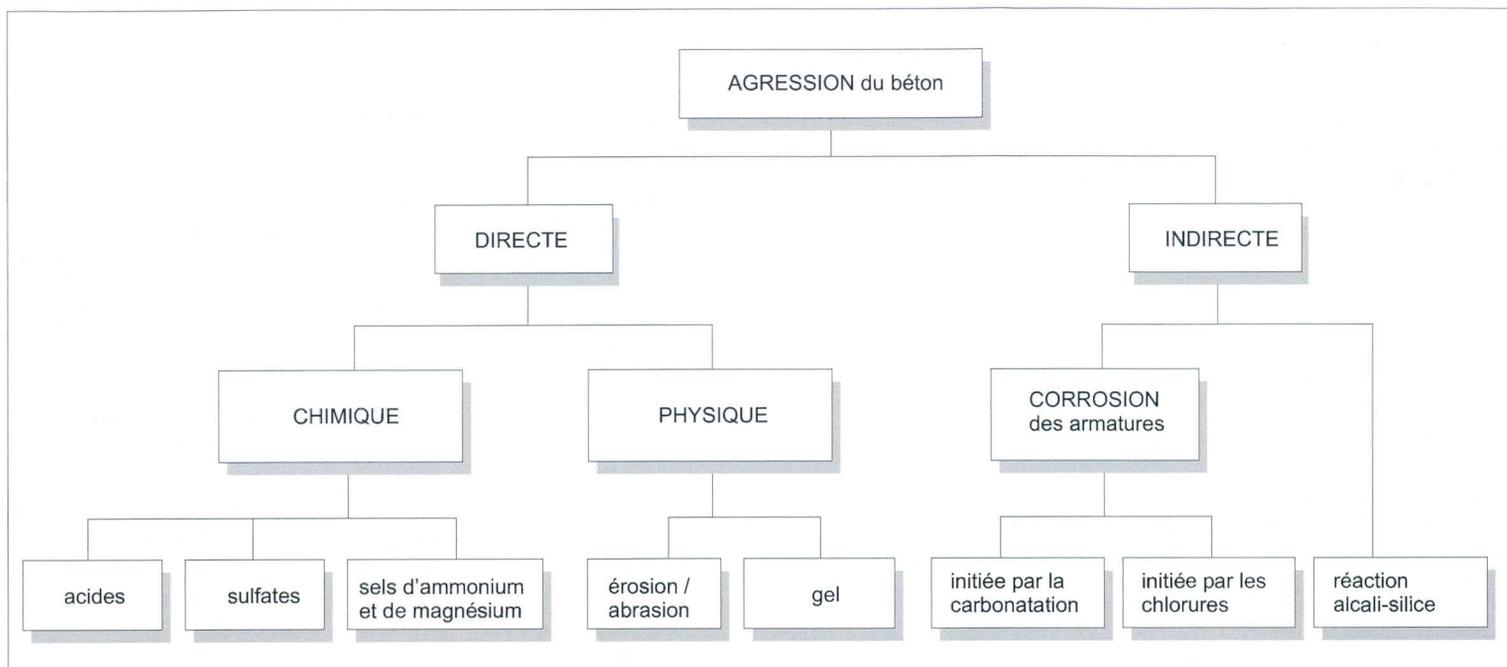


Fig.1 : Types d'agression du béton en agriculture

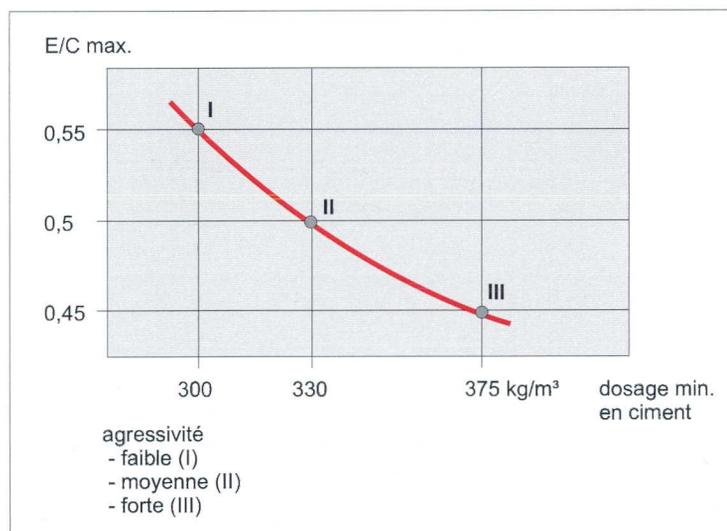


Fig.2 : Exigences de compacité (E/C) en fonction du degré d'agressivité et des dosages minima en ciment

APERÇU DES CIMENTS HSR ET LA GENEERALEMENT DISPONIBLES EN CENTRALE A BETON

Les dénominations normalisées ciments Portland (CEM I), de haut fourneau (CEM III) et composés (CEM V) sont complétées par le nombre correspondant à la valeur minimale de la résistance à la compression à 28 jours, exprimée en N/mm² (32,5 – 42,5 – 52,5). La mention des propriétés particulières "à haute résistance aux sulfates" (HSR) et "teneur limitée en alcalis" (LA) y est ajoutée, le cas échéant.

- **Ciment Portland** : CEM I 42,5 (R HSR LA).
R signifie une résistance plus élevée au jeune âge
- **Ciments de haut fourneau** :
 - Ciment de haut fourneau 36/65 : - CEM III/A 32,5 LA
- CEM III/A 42,5 LA
 - Ciment de haut fourneau 66/80 : - CEM III/B 32,5 HSR LA
- CEM III/B 42,5 HSR LA

Les nombres 36/65 ou 66/80 indiquent les teneurs en masse minimales et maximales de laitier en % par rapport à la somme de la masse du laitier de haut fourneau et du clinker Portland.

- **Ciment composé** : CEM V/A (S-V) 32,5 HSR LA

1.4. L'érosion (l'abrasion)

L'érosion a souvent pour effet d'accentuer les attaques chimiques décrites ci-dessus. En effet, lorsque les solutions sont ruiselantes, l'apport d'ions neufs active les réactions.

Une autre forme d'érosion est l'action physique d'un courant d'eau, éventuellement accentuée si cette eau est chargée. Cette forme a notamment lieu lors du lavage à haute pression des étables ou du matériel agricole.

Comment prévenir ?

La prévention consiste en la prescription d'une bonne résistance mécanique du béton. La protection du béton contre la dessiccation pendant le durcissement du béton joue également un grand rôle. Toute fissure de retrait est un point de départ de l'érosion privilégié.

1.5. Le gel

Les dégâts du gel de l'eau contenue dans les bétons non résistants se manifestent sous la forme d'un écaillage. En effet, l'eau qui gèle se dilate. La glace occupe un volume d'environ 9 % supérieur à celui de l'eau.

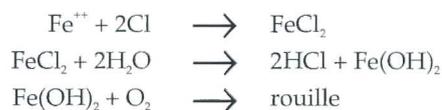
Comment prévenir ?

Il faut utiliser des bétons de très haute qualité (résistance à la traction élevée et quasi pas d'eau contenue, c'est-à-dire une fois de plus, à E/C réduit). L'utilisation d'un adjuvant entraîneur d'air (bulles jouant le rôle de vase d'expansion pour l'eau) peut également s'avérer nécessaire.

1.6. Dégradation par la corrosion des armatures

L'alcalinité normale du béton (pH > 12,5) protège les armatures contre la corrosion. On parle de passivation de l'acier. Cependant la carbonatation, ou la transformation de la chaux (Ca(OH)₂) libérée par l'hydratation du ciment en carbonate (CaCO₃) sous l'action du CO₂ de l'air progresse de la surface vers l'intérieur en abaissant le pH. Ainsi, lorsque celle-ci atteint l'armature, cette dernière est dépassivée, c'est-à-dire que par abaissement du niveau d'alcalinité du milieu, elle n'est plus protégée contre la rouille. Si dans ce cas en présence d'eau ou même d'humidité, l'oxygène de l'air atteint l'armature, rien n'empêche plus la formation expansive d'oxyde de fer (Fe₂O₃); l'armature rouille.

Un autre cas possible de corrosion des armatures est celle initiée par les chlorures. Admettons que l'eau des pores autour de l'armature contienne des ions Cl⁻. Ceux-ci peuvent être présents dans le béton par des adjuvants accélérateurs, des granulats marins ou parvenir du milieu extérieur (eau de mer, sels de déverglaçage). Si ces ions Cl⁻ atteignent l'armature, ceux-ci réagissent avec les ions Fe⁺⁺ pour former du FeCl₂. Ce chlorure de fer se dissout très bien et s'oxyde (si présence d'oxygène) pour former la rouille :



Cette corrosion sous forme de piqûres est extrêmement dangereuse parce qu'elle se produit localement et entraîne une réduction de la section d'armature. Lorsque celle-ci devient trop petite, l'armature se rompra brusquement, ce qui peut avoir des conséquences désastreuses.

Comment prévenir ?

- La compacité du béton garante de sa faible porosité à l'eau et à l'air demeure, ici comme ailleurs, le meilleur agent anticorrosion.
- Prévoir des enrobages d'armatures suffisants, c'est-à-dire prévoir un parcours aussi long que possible pour le CO₂ et l'O₂. Les épaisseurs d'enrobage spécifiées par la norme NBN B15 - 002 en fonction des conditions d'exposition du béton (tableau 1) doivent être considérées comme des minima! Pour obtenir l'enrobage nominal, il y a lieu d'ajouter les tolérances de pose de l'ordre de 5 à 10 mm.

Tableau 1: Enrobage minimum des armatures en fonction de la classe d'exposition

| | | Classe d'exposition | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------------------|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2a | 2b | 3 | 3S | 4a | 4b | 5a | 5b | 5c |
| Enrobage minimum (mm) | Béton armé | 15 | 20 | 25 | 40 | 40 | 40 | 40 | 25 | 30 | 40 |
| | Béton précontraint | 25 | 30 | 35 | 50 | 50 | 50 | 50 | 35 | 40 | 50 |

1.7. Dégradation par la réaction alcali-silice

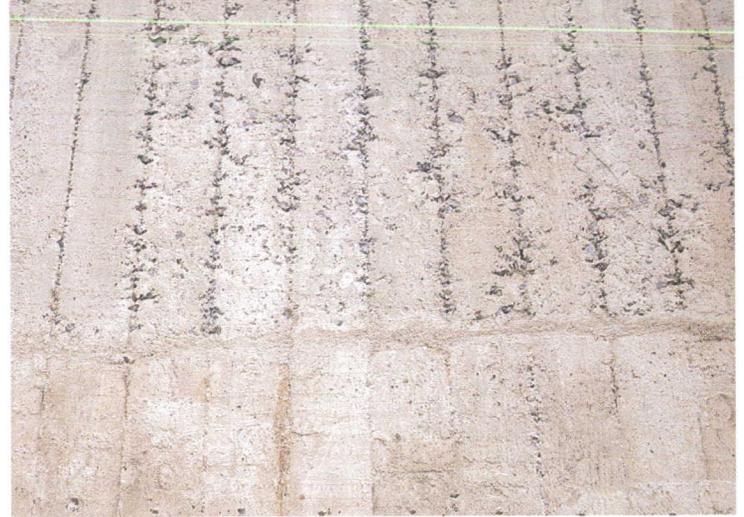
Le terme de réaction alcali-silice couvre un ensemble de réactions qui peuvent se produire entre certains constituants des granulats (des silices réactives) et les alcalis présents dans le béton ou apportés par des agents extérieurs. Le produit issu de la réaction est un gel alcali-silice ayant la capacité d'attirer l'eau et qui gonflera. Si l'espace d'expansion est insuffisant, des contraintes internes se développent et peuvent éventuellement entraîner la fissuration. Il est prouvé que trois conditions doivent être simultanément remplies pour l'apparition de réactions alcali-silice et qu'il suffit que l'une d'elles soit éliminée pour écarter tout danger de dégradation. Les trois conditions sont les suivantes :

1. un environnement humide (humidité relative dans le béton d'au moins 85 % environ);
2. la présence dans le béton de granulats potentiellement réactifs (sensibles aux alcalis);
3. la teneur en alcalis du béton doit dépasser un certain seuil.

Comment prévenir ?

La méthode de loin la plus pratique est d'utiliser un ciment à faible teneur en alcalis (ciment LA). L'utilisation d'un ciment LA doit aller de pair avec les mesures usuelles pour obtenir un béton compact. La pénétration des alcalis et de l'eau (indispensable pour la réaction) ainsi que la mobilité des ions alcalins dans le béton s'en trouvent considérablement freinées.

On peut également choisir un granulat non réactif. Il existe plusieurs méthodes d'essai pour vérifier sa réactivité. Seuls des laboratoires spécialisés peuvent les effectuer.



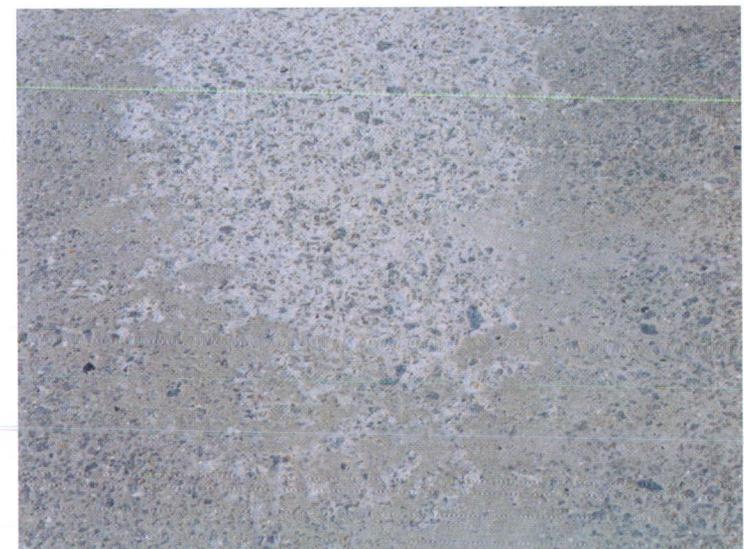
1



2



3



4

Les anomalies suivantes peuvent être évitées le plus souvent:

- 1- Fuite de laitance à cause d'un coffrage de mauvaise qualité et/ou non humidifié avant le coulage du béton
- 2- Fissures de retrait plastique dues à une mauvaise protection du béton jeune contre la dessiccation
(NB: 1 et 2 constituent des points de départ privilégiés de l'érosion...)
- 3- Corrosion des armatures suite à un enrobage insuffisant
- 4- Attaque acide locale: lorsque le béton de surface est de qualité médiocre, la pâte de ciment se dissout plus vite

2. SPECIFICATION DU BETON - RECOMMANDATIONS

Il s'agit de l'étape fondamentale pour obtenir un béton de qualité et donc durable. La composition du béton doit être étudiée en fonction de la durabilité, de la résistance mécanique et de l'ouvrabilité.

Le but est d'obtenir une forte compacité des bétons soumis à l'agressivité de l'environnement (voir tableaux 2 et 3).

Le béton doit être spécifié selon la norme NBN B15-001 'Béton – Performances, production, mise en œuvre et critères de conformités' en vigueur depuis 1992. Des informations détaillées concernant la prescription des bétons selon cette norme peuvent être trouvées dans le bulletin n° 19. Ainsi, le béton sera commandé, de préférence par écrit, en communiquant les quatre données de base (A, B1-B2, C et D) et éventuellement des données complémentaires (E) :

A : la résistance à la compression définie par la classe de résistance;

B : la durabilité traduite par le domaine d'utilisation (B1) et la classe d'exposition (B2);

C : l'ouvrabilité, exprimée par la classe de consistance;

D : la dimension nominale maximale (D_{max}) pour les granulats .

Cette méthode permet de prescrire un béton porteur de la marque de qualité BENOR, ce qui est non seulement commode mais offre aussi une garantie de qualité à l'utilisateur.

En effet, la marque BENOR garantit la conformité du béton aux 'performances spécifiées'. Cette marque implique que le contrôle de qualité du producteur a été validé par un organisme de contrôle externe. L'utilisateur peut donc se passer du contrôle du béton par ses propres soins. Il doit simplement contrôler la conformité des bons de livraison avec la commande et de l'exécution des travaux. Avant le déchargement, le producteur doit remettre à l'utilisateur le bon de livraison portant la marque BENOR.

Il est important de savoir que le béton doit être mis en place endéans les 100 minutes qui suivent sa fabrication, hormis dans le cas de l'utilisation d'un retardateur de prise. En cas d'ajouts, par exemple d'eau, au béton sur chantier par le client ou à sa demande, le béton n'est plus couvert par la marque BENOR.

Le tableau 4 donne les applications les plus répandues dans le domaine agricole. Elles ont été complétées par les données de base permettant de prescrire le béton le plus durable possible.

(NB: Ces informations sont données à titre d'exemple et n'engagent pas la responsabilité des auteurs.)

Tableau 2: Degré d'agressivité de quelques agents en agriculture

| AGENTS | DEGRE D'AGRESSIVITE | | | |
|--|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| | inoffensif (0) | faible (I) | moyen (II) | fort (III) |
| Fumier | | | | |
| Lisier | | | | |
| Purin | | | | |
| Déchets d'animaux, d'abattoirs | | | | |
| Carburant diesel, essence | | | | |
| Huile minérale | | | | |
| Huile et graisse végétale | | | | |
| Ensilage | | | | |
| Jus de silos | | | | |
| Jus de fruits | | | | |
| Sucre | | | | |
| Chaux | | | | |
| Engrais chimique | | | | |
| Laiterie (acide lactique, eau de laiterie) | | | | |

| Types de constructions en béton | Types d'agression du béton | | | | | | |
|--|---|----------|---------------------------------|--------------------|-----|-------------------------|------------------------|
| | Acides | Sulfates | Sels d'ammonium et de magnésium | Erosion / abrasion | Gel | Corrosion des armatures | Réaction alcali-silice |
| Fosses à fumier, à lisier | - dalle de sol | | | | | | |
| | - parois, toit | | | | | | |
| | - aires pour déchets de légumes, fruits | | | | | | |
| Silos pour ensilage | | | | | | | |
| Aires de stockage | - pommes de terre, betteraves | | | | | | |
| | - fruits, légumes | | | | | | |
| | - engrais chimiques | | | | | | |
| Bâtiments pour porcs et bovins | - couloir d'affouragement | | | | | | |
| | - aires de couchage | | | | | | |
| | - aires à excréments | | | | | | |
| | - salle de traite | | | | | | |
| Bâtiments pour volailles | - élevage sur sol | | | | | | |
| | - élevage en batterie | | | | | | |
| Revêtements de sol pour cultures en serres | | | | | | | |
| Revêtements divers, routiers | | | | | | | |

Tableau 3: Aperçu des constructions soumises à l'agression en agriculture



5- Utilisation d'une pompe à béton pour la construction d'une fosse à lisier

| Types de constructions en béton | | Données de base | | | | | Données complémentaires |
|--|--|------------------|--|--------------|--------------|--------------|---|
| | | A | B1 BA = béton armé BN = non armé | B2 | C | D | E type de ciment (et teneur minimum) |
| Fosses à fumier, à lisier | - dalles de sol | C30/37 | BA | 5b | S2, S3 ou S4 | 20, 28 ou 32 | HSR LA |
| | - parois, toit | C30/37 | BA | 5c | S3 | 14, 20 ou 28 | HSR LA (min. 375 kg/m ³) |
| | - aires pour déchets de légumes, fruits | C30/37 | BA | 5b ou 5c | S2, S3 ou S4 | 20 ou 28 | LA (min. 375 kg/m ³) |
| Silos pour ensilage | - herbe | C25/30 ou C30/37 | BA | 5b | S2, S3 ou S4 | 14, 20 ou 28 | LA |
| | - maïs | C30/37 | BA | 5c | S2, S3 ou S4 | 14, 20 ou 28 | LA (min. 375 kg/m ³) |
| | - pulpe de betteraves | C30/37 | BA | 5c | S2, S3 ou S4 | 14, 20 ou 28 | LA (min. 375 kg/m ³) |
| Aires de stockage | - pommes de terre, betteraves | C25/30 ou C30/37 | BA | 2a | S2, S3 ou S4 | 20, 28 ou 32 | LA |
| | - céréales | C25/30 ou C30/37 | BA | 1 | S2, S3 ou S4 | 20, 28 ou 32 | - |
| | - fruits, légumes | C25/30 ou C30/37 | BA | 5a | S2, S3 ou S4 | 20, 28 ou 32 | LA |
| | - engrais chimiques | C30/37 | BA | 5c | S2, S3 ou S4 | 20, 28 ou 32 | HSR LA (min. 375 kg/m ³) |
| Bâtiments pour porcs et bovins | - couloirs d'affouragement | C30/37 | BA | 5b ou 5c | S2, S3 ou S4 | 14, 20 ou 28 | LA (min. 375 kg/m ³) |
| | - aires de couchage | C30/37 | BA | 5b ou 5c | S2, S3 ou S4 | 14, 20 ou 28 | HSR LA (min. 375 kg/m ³) |
| | - aires à excréments | C30/37 | BA | 5c | S2, S3 ou S4 | 14, 20 ou 28 | HSR LA (min. 375 kg/m ³) |
| | - salles de traite | C30/37 | BA | 5c | S2, S3 ou S4 | 14, 20 ou 28 | LA (min. 375 kg/m ³) |
| Bâtiments pour volailles (sols) | - élevage sur sol | C25/30 | BN ou BA | 5b | S2, S3 ou S4 | 14, 20 ou 28 | HSR LA |
| | - élevage en batterie | C25/30 | BN ou BA | 2a | S2, S3 ou S4 | 14, 20 ou 28 | - |
| Revêtements de sol pour cultures en serres | C25/30 ou C30/37 | BN ou BA | 5b | S2, S3 ou S4 | 20 ou 28 | HSR LA | |
| Revêtements divers, routiers | - chemins agricoles (coffrages fixes) | C30/37 ou C35/45 | BN ou BA | 2b, 3 ou 3S | S2, S3 ou S4 | 20, 28 ou 32 | LA |
| | - chemins agricoles ('slipform') | C30/37 ou C35/45 | BN ou BA | 2b, 3 ou 3S | S1 | 20, 28 ou 32 | LA |
| | - surfaces de nettoyage (produits phytosanitaires) | C30/37 | BN ou BA | 5b | S2, S3 ou S4 | 20, 28 ou 32 | HSR LA |

Tableau 4: Exemples de spécifications de bétons dans les cas les plus courants

Les données présentées ci-dessus appellent aux commentaires suivants :

- La classe de résistance (donnée A) et la classe d'exposition (donnée B2) ne sont pas indépendantes. En effet, une classe d'exposition sévère (5b ou 5c) exige une teneur en ciment minimale plus élevée et un rapport eau/ciment maximal plus faible; la résistance à la compression sera donc plus grande.
- Dans le cas de la classe d'exposition 5c, il est souhaitable de protéger le béton contre un contact direct avec le milieu agressif par un revêtement (coating par exemple).
- En ce qui concerne les classes de consistance (donnée C), les classes S1 et S2 sont réservées pour une mise en œuvre utilisant des systèmes de vibration puissants et mécanisés (slipform-paver, poutres vibrantes lourdes, ...). En cas d'une mise en place manuelle et traditionnelle du béton (surtout en combinaison avec des armatures) avec des engins de compactage légers, la classe S3 est idéalement d'application. Si les faibles moyens de mise en place nécessitent l'utilisation de la classe de consistance la plus élevée, il y a lieu d'imposer une limite supérieure à l'affaissement (S4 avec un slump maximum de 210 mm). Il ne faut pas oublier qu'en classe de consistance S4, le mortier du béton risque plus facilement de remonter à la surface, ce qui est préjudiciable pour la durabilité et pour certaines performances telles que la résistance à l'usure, l'absorption d'eau,...
- Lorsque l'accès au chantier est difficile, l'utilisation d'une pompe à béton peut être nécessaire. Dans ce cas, la granulométrie, le diamètre maximum du gros granulat et la teneur en fines du béton doivent répondre à des critères plus stricts. L'exigence de pompabilité sera donc mentionnée explicitement comme 'donnée complémentaire' (E) sur le bon de commande.

3. EXIGENCES EN TERMES DE MISE EN ŒUVRE

L'obtention d'un béton de haute qualité passe donc par une spécification correcte de celui-ci. Néanmoins, il faut rester très attentif à la mise en œuvre et à la protection du béton jeune contre la dessiccation.

3.1. Armatures et enrobage

Les armatures sont mises en place avant le bétonnage et sont maintenues par des dispositifs adéquats (écarteurs, supports d'armatures, ...). Il y a lieu de respecter l'épaisseur d'enrobage (voir § 1.6.).

Pour rappel, cette épaisseur se mesure à partir de l'armature la plus proche du coffrage. Vu qu'un enrobage adéquat est primordial pour la durabilité ultérieure de l'ouvrage, un léger surdimensionnement des épaisseurs peut empêcher en pratique un sous-dimensionnement de l'enrobage.

3.2. Mise en place du béton

Il faut éviter autant que possible tous les facteurs favorisant la ségrégation du béton, tels que la mise en place du béton à partir d'une hauteur de chute trop importante (supérieure à 1 mètre), de trop petits coffrages, la formation de cônes durant la mise en place du béton, etc.

Il faut remarquer qu'une hauteur de chute trop importante donne au béton frais une force dynamique qui peut :

- provoquer une ségrégation;
- déformer, voire même ouvrir le coffrage;
- déplacer les écarteurs et ainsi diminuer le recouvrement des armatures;
- déplacer les armatures.

La hauteur de chute peut être diminuée en utilisant des goulottes. Ainsi le béton coulera dans le coffrage au lieu d'y tomber.

Etant donné qu'un béton jeune risque de subir des dégradations dues au gel, le bétonnage sur un support ou dans un coffrage gelé doit être formellement proscrit.

3.3. Serrage

Le béton doit également être correctement vibré et compacté pour que les caractéristiques requises du béton durci soient obtenues et que les barres d'armatures soient correctement enrobées. Le compactage adéquat est atteint lorsque le béton ne s'affaisse plus, que sa surface est fermée et que seules quelques petites bulles d'air s'échappent encore à la fin de la vibration.

Les aiguilles vibrantes sont souvent utilisées. Le choix d'un diamètre d'aiguille est fonction de sa maniabilité et du diamètre de sa sphère d'influence. Des temps de vibration courts combinés à une faible distance entre les points de vibration sont préférés par rapport à des temps de vibration plus longs combinés à des distances plus importantes.

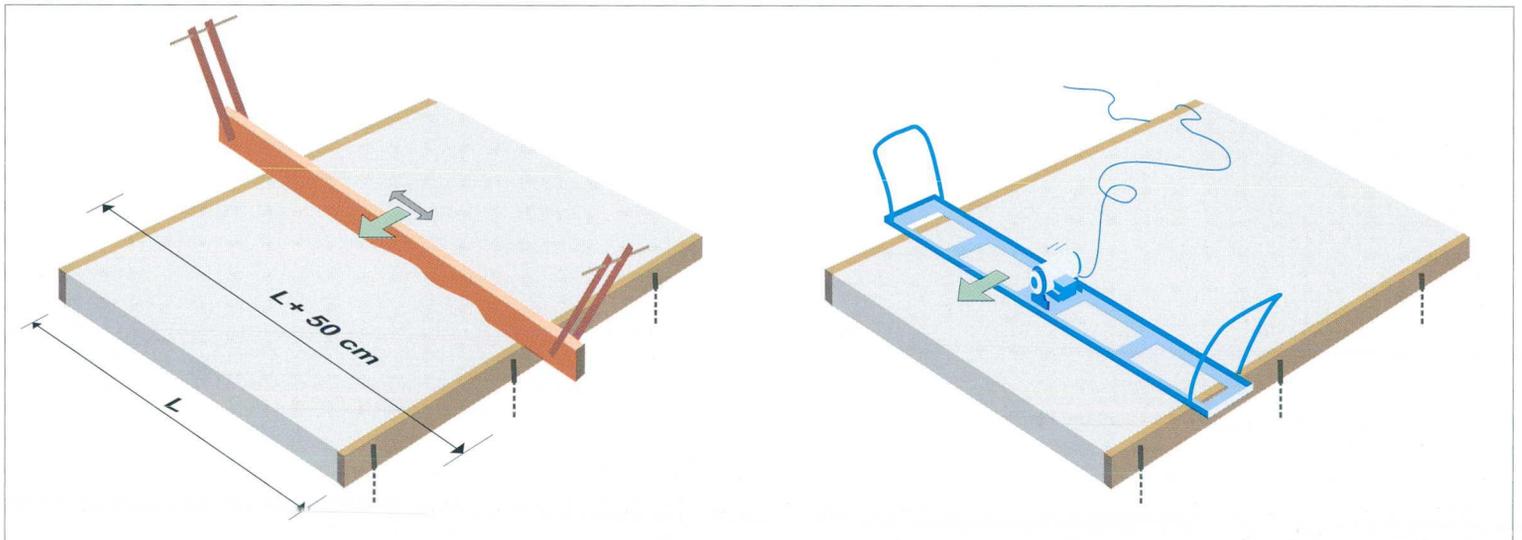
Il va de soi que le diamètre de l'aiguille doit être inférieur à la plus petite distance mesurée horizontalement entre deux armatures.

Lorsque le bétonnage est réalisé par couches, il est conseillé d'enfoncer les aiguilles plus profondément que la couche à compacter (jusqu'à 10 cm) pour permettre une liaison entre les divers tronçons vibrés individuellement. Les dames ou poutres vibrantes (fig. 3) sont principalement utilisées pour le compactage de couches de béton planes ou en pente douce d'épaisseur n'excédant pas 20 cm.

La dame est utilisée en cas de béton fluide. Elle consiste essentiellement en un madrier de bois muni de deux poignées et ayant une longueur d'au moins 50 cm supérieure à la largeur entre éléments de coffrage. Cette dame frappe le revêtement jusqu'à ce qu'elle touche les bords supérieurs du coffrage. A ce moment, on lui imprime un mouvement de va et vient transversal. En progressant de la sorte, la dame pousse devant elle un excédent de béton qui est repris à la pelle pour combler les zones où l'épaisseur de béton est insuffisante. Le serrage est terminé lorsque la laitance remonte en surface et que cette dernière est bien fermée.

La poutre vibrante est constituée d'une poutre en métal sur laquelle est fixé un moteur électrique muni d'un balourd. Cet appareil est simplement posé à cheval sur les bords du coffrage et traîné lentement au fur et à mesure que le niveau du béton s'affaisse jusqu'à correspondre avec celui du coffrage.

Fig. 3: Serrage du béton à la dame ou par poutre vibrante



3.4. Finition de dallages

La finition d'une dalle en béton constitue un des éléments importants à prendre en compte. En effet, au même titre qu'une épaisseur insuffisante ou une armature sous-dimensionnée, une finition mal choisie ou mal mise en œuvre peut en limiter l'usage et selon le cas, poser des problèmes d'entretien de la dalle.

Dans ce chapitre, on entend par finition tout traitement, en dernière phase de la mise en œuvre, de la surface du béton. Ce traitement consiste soit à l'apport sur le béton encore frais d'une couche de mortier d'agrégats durs et riches en liant et serrée par des moyens mécaniques puissants tels que les 'hélicoptères' (finition poli), soit à broser la surface du béton frais.

Des informations concernant l'exécution de ces finitions peuvent être trouvées au *bulletin n° 24*.

Une finition *poli miroir*, tant prisée dans les halls industriels, ne convient en général pas pour des applications générales. Si elle présente l'avantage d'une surface parfaitement fermée par le polissage et l'adjonction d'une couche d'usure et donc d'une assez bonne résistance aux sollicitations, elle a malheureusement l'inconvénient d'être extrêmement glissante en cas de pluie et n'est donc appliquée que dans des cas bien déterminés.

Afin de parer à cet inconvénient, on peut naturellement décider de ne pas polir le dallage. Ceci rend l'intégration d'une couche d'usure impossible et en plus, ne tient pas compte du fait qu'une dalle *brute de règle* ne présente pas un aspect esthétique particulièrement régulier puisque les traces de règle restent apparentes. Par contre, elle est compatible avec l'usage d'un entraîneur d'air qui améliore la résistance au gel.

Entre ces deux extrêmes, une série d'alternatives sont possibles. Elles présentent chacune des avantages et des inconvénients. On parle ainsi de *lissage mécanique simple*, de *demi-polissage*, de finition type *peau-de-pêche*, type *peau-d'orange*, etc. Ces finitions constituent des situations intermédiaires entre la dalle polie miroir et la brute de règle. A chacune d'entre elles correspond une méthodologie de mise en œuvre spécifique, bien connue de l'homme de métier, qui peut souvent se résumer à un nombre de passages à l'hélicoptère muni de taloches et/ou de passages à l'hélicoptère muni de palettes. Celles-ci ont donc comme point commun une finition partielle qu'il est difficile de décrire et donc de comparer. Elles peuvent ainsi présenter des caractéristiques similaires rendant floue la distinction entre ces finitions. Ainsi, on conseille vivement à l'utilisateur final du dallage d'être présent au moment de mise en œuvre afin de pouvoir la faire correspondre au mieux à ses desiderata et éviter ainsi tout malentendu lié au caractère subjectif de cette terminologie. En effet, il arrive encore trop fréquemment que des dallages réalisés selon les règles de l'art et conformément au cahier des charges soient considérés comme trop lisses ou trop rugueux par leur utilisateur. La visite de références avant le début des travaux permet aussi de lever partiellement l'ambiguïté.

La finition *bossée* qui, comme son nom l'indique, consiste à broser la surface du béton frais présente l'avantage d'une rugosité assez prononcée et est dès lors souvent retenue.

3.5. La cure du béton

La cure, c'est-à-dire la protection du béton jeune contre la dessiccation, pour l'obtention d'une couche superficielle durable et de bonne qualité est fondamentale. Celle-ci doit débiter immédiatement après le compactage du béton.

Si un séchage prématuré (dessiccation) n'est pas empêché, des fissures peuvent apparaître et la surface du béton peut devenir plus poreuse. Le risque de dessiccation n'est pas uniquement présent par temps chaud. Un vent sec et des basses températures sont des facteurs aussi néfastes.

Les principales méthodes de cure sont :

- garder les coffrages en place;
- couvrir la surface d'un film plastique;
- revêtir la surface d'une couverture humide (p.ex. sable, jute);
- appliquer un produit de cure ('curing compound') en une couche suffisamment épaisse.

La durée minimale de la cure est fonction du type de ciment utilisé, de la température du béton en cours de cure ainsi que des conditions ambiantes (ensoleillement, humidité relative de l'air, vitesse du vent,...). D'une manière générale, la durée minimale de cure est de 3 jours mais peut s'étendre jusqu'à 10 jours dans les conditions les plus sévères. Pour des durées plus précises, le lecteur se référera au *bulletin n° 22*.

3.6. Les joints de retrait

Dans le cas de revêtements de sol en béton, il convient comme détaillé dans le *bulletin n° 24*, de procéder à un sciage de joints de retrait dans un délai de 24 heures après la mise en œuvre du béton.

Une attention particulière est recommandée au niveau du contrôle du comportement des joints sciés au cours du temps. Leur contrôle régulier permet de procéder à temps à leur entretien (remplissage). Ceux-ci constituent en effet, des points faibles dans la dalle où apparaîtront inévitablement les premiers désordres si rien n'est fait pour l'éviter.

DOSSIER CIMENT - n° 27- octobre 2001- 'LE BETON DANS LE SECTEUR AGRICOLE (1) - Applications du béton prêt à l'emploi'
ADDENDA décembre 2005

Tableau 1 : Enrobage minimum des armatures en fonction de la classe d'exposition

Le tableau 1 donne l'enrobage minimum pour les classes d'exposition définies dans l'ancienne norme NBN B 15-002:1999 - "Eurocode 2 : Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments". Cette norme est toujours d'application et ne sera retirée qu'après l'approbation et la publication de l'Annexe Nationale (ANB) de la nouvelle norme NBN EN 1992-1:2005 - "Eurocode 2 : Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments". Il faudra attendre cette Annexe pour connaître l'enrobage minimum exigé en fonction des classes d'environnement définies dans la NBN B 15-001:2004 - "Supplément à la norme NBN EN 206-1 - Béton - Partie 1 : Spécification, performance, production et conformité".

Tableau 4 : Exemples de spécifications de bétons dans les cas les plus courants

Suite à la mise en application des normes NBN EN 206-1 - "Béton - Partie 1 : Spécification, performance, production et conformité" et NBN B 15-001:2004 "Supplément à la norme NBN EN 206-1", le tableau 4 est modifié comme suit :

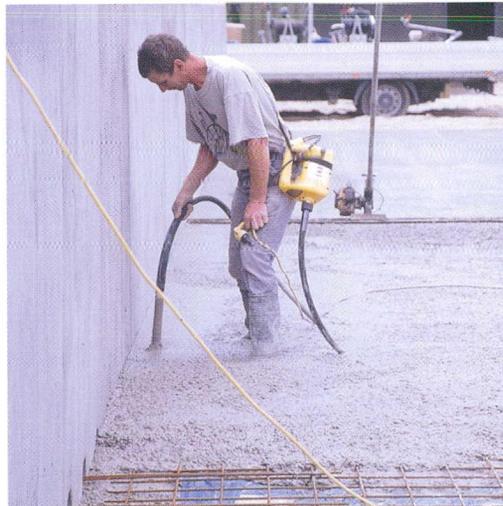
| EXIGENCE DE BASE : CONFORMITÉ aux normes NBN EN 206-1:2001 et NBN B 15-001:2004 | | | | | | | |
|---|--|---|------------|--------------------------|--------------|--|-------------------------|
| Types de constructions en béton | Données de base | | | | | Données complémentaires E type de ciment (et teneur minimum) | |
| | A | B1 <small>BA = béton armé BNA = non armé</small> | B2 | C | D | | |
| Fosses à fumier, à lisier | - fosses enterrées | C30/37 | BA | EE1 et EA2 | S3 ou S4 | 20, 22 ou 32 | HSR LA |
| | - fosses hors sol | C30/37 | BA | EE3 et EA2 | S3 ou S4 | 20, 22 ou 32 | HSR LA |
| | - aires pour déchets de légumes, fruits; fumières... | C30/37 | BA | EE3 et EA2 | S2, S3 ou S4 | 20, 22 ou 32 | HSR LA |
| Silos pour ensilage | - herbe | C30/37 | BA | EE3 et EA2 | S2, S3 ou S4 | 20, 22 ou 32 | LA |
| | - maïs | C35/45 | BA | EE3 et EA3 | S2, S3 ou S4 | 20, 22 ou 32 | LA (min. 375 kg/m³) |
| | - pulpe de betteraves | C35/45 | BA | EE3 et EA3 | S2, S3 ou S4 | 20, 22 ou 32 | LA (min. 375 kg/m³) |
| Aires de stockage | - betteraves (extérieur) | C30/37 | BA | EE3 | S2, S3 ou S4 | 20, 22 ou 32 | LA |
| | - céréales, pommes de terre (intérieur) | C25/30 ou C30/37 | BA | E I | S2, S3 ou S4 | 20, 22 ou 32 | - |
| | - fruits, légumes intérieur extérieur | C30/37 | BA | E I et EA2 EE3 et EA2 | S2, S3 ou S4 | 20, 22 ou 32 | LA |
| | - engrais chimiques | C35/45 | BA | E I et EA3 | S2, S3 ou S4 | 20, 22 ou 32 | HSR LA (min. 375 kg/m³) |
| Bâtiments pour porcs et bovins | - couloirs d'affouragement | C35/45 | BA | E I et EA3 | S2, S3 ou S4 | 14,16, 20 ou 22 | LA (min. 375 kg/m³) |
| | - aires de couchage | C30/37 | BA | E I et EA2 | S2, S3 ou S4 | 14,16, 20 ou 22 | HSR LA |
| | - aires à excréments | C30/37 | BA | E I et EA2 | S2, S3 ou S4 | 14,16, 20 ou 22 | HSR LA |
| | - salles de traite | C35/45 | BA | E I et EA3 | S2, S3 ou S4 | 14,16, 20 ou 22 | LA (min. 375 kg/m³) |
| Bâtiments pour volailles (sols) | - élevage sur sol, aires à excréments | C25/30 | BNA ou BA | E I et EA2 | S2, S3 ou S4 | 14,16, 20 ou 22 | HSR LA |
| | - élevage en batterie, couloir technique | C25/30 | BNA ou BA | E I | S2, S3 ou S4 | 14,16, 20 ou 22 | - |
| Revêtements de sol pour cultures en serres | C30/37 | BNA ou BA | E I et EA2 | S2, S3 ou S4 | 20 ou 22 | HSR LA | |
| Revêtements divers, routiers | - chemins agricoles (coffrages fixes) | C35/45 | BNA ou BA | EE4 | S2 ou S3 | 20, 22 ou 32 | LA (min. 375 kg/m³) |
| | - chemins agricoles ('slipform') | C35/45 | BNA ou BA | EE4 | S1 | 20, 22 ou 32 | LA (min. 375 kg/m³) |
| | - surfaces de nettoyage (produits phytosanitaires) | C30/37 | BNA ou BA | EE3 et EA2 | S2, S3 ou S4 | 20, 22 ou 32 | HSR LA |



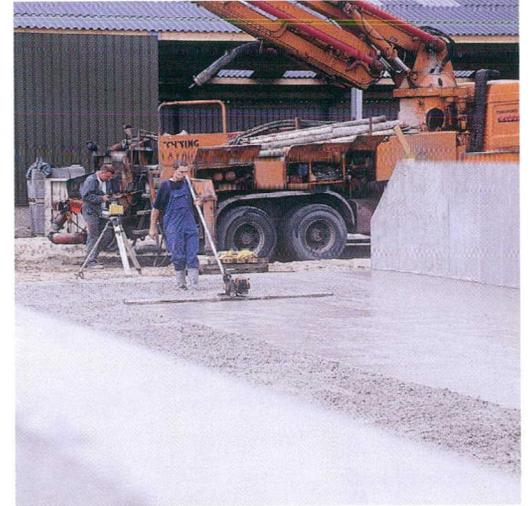
6



7



8



9

Bétonnage d'une dalle de fond d'un silo:

- 6- Mise en place du béton
- 7- Armatures se prolongeant au droit des évidements des murs en béton préfabriqué
- 8- Serrage du béton à l'aide d'une aiguille vibrante
- 9- Lissage de la dalle
- 10- Finition à l'hélicoptère
- (NB: Opter pour un demi-polissage!)
- 11- Pulvérisation d'un produit de cure



10



11



ce bulletin est publié par :
FEBELCEM - Fédération de
l'Industrie Cimentière Belge
rue Volta 8 - 1050 Bruxelles
tél. (02) 645 52 11
fax (02) 640 06 70
<http://www.febelcem.be>
e-mail: info@felbelcem.be

auteur:
Ir C.Ployaert

éditeur responsable:
J.P. Jacobs

dépot légal:
D/2001/0280/15



BIBLIOGRAPHIE

Agrabéton – Themanummer *duurzaamheid*
Jaargang 5, nummer 1, april 1995

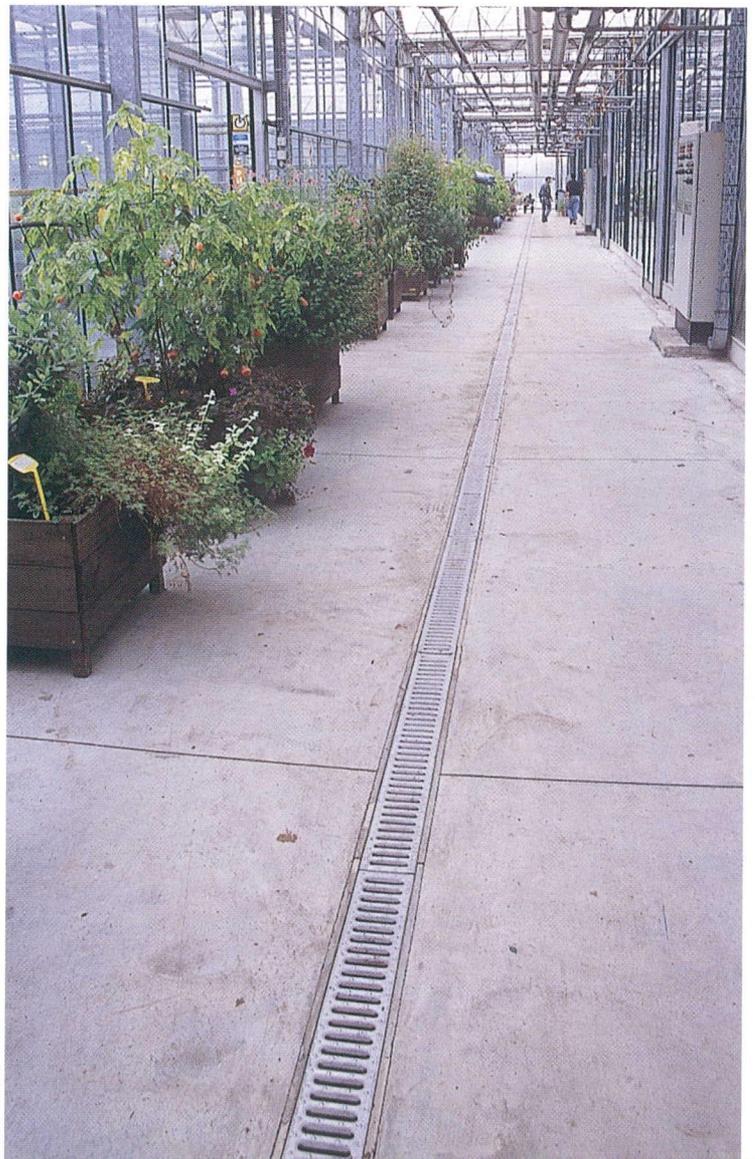
APERS J.
Durabilité du béton
Technologie du béton – Complément 1998
Bruxelles : GBB (Groupement belge du Béton)

La durabilité primaire du béton
Bruxelles : FIC (FEBELCEM), bulletin n° 17, avril 1984

PLOYAERT Cl. ; VERMEULEN G.
Revêtements extérieurs en béton, revêtements monolithiques plans sans courbe d'usure, technologie du béton
AgriBETON, jaargang 3, nr. 3, 3e trim. 2000, pp. 12-17

FRENAY J.W. ; ZILVERBERG H.
Duurzaamheid van betons in agrarische milieus
IMAG-DLO, rapport 93-17, CUR rapport 167, novembre 1993

COLLARD R.
Finitions
AgriBETON, jaargang 3, nr. 3, 3de trim. 2000, pp. 18-19



Photos:
A. Nullens (couverture, 6-10)
diathèque FEBELCEM (1-4)
P. Van Audenhove (5)
Cl. Ployaert (11)
M. Gronemberger (p.12)