



Chemins de roulement pour les bassins de décantation des stations d'épuration

Des 700 stations d'épuration publiques des eaux usées que compte la Belgique, 30 % ont été érigées au cours des 15 dernières années. Les stations d'épuration et tous les ouvrages annexes, tels que les collecteurs, constituent un domaine de prédilection pour l'ingénierie civile, où le béton occupe une place de choix.

1 Objet du présent article

Cet article a pour objet de suggérer des options techniques visant à réduire le risque de dommages aux chemins de roulement des décanteurs de stations d'épuration. Il se limite à cette problématique en se concentrant exclusivement sur la mise en œuvre et les caractéristiques des matériaux utilisés. Le dimensionnement et les armatures minimales nécessaires pour maîtriser la fissuration ne sont pas abordés. L'article se prolonge en suggérant une méthodologie possible de réparation en cas de dommages.

En complément de l'expérience acquise par les ingénieurs de SECO, l'article est basé essentiellement sur les documents suivants :

- les normes NBN EN 206-1, NBN B 15-001, prNBN B 15-400 et NBN EN 13670 [2, 4, 8, 9]
- les 'Recommandations pour la construction en béton des ouvrages d'épuration des eaux' [11]
- la NIT 247 [10].

2 Causes potentielles des désordres et recommandations

Outre des actions environnementales classiques auxquelles est soumis tout béton armé, les chemins de roulement subissent des sollicitations d'ordre mécanique, chimique et thermique. Chacune de ces sollicitations entraîne des contraintes spécifiques, qui peuvent se combiner et influencer le choix des caractéristiques du béton, des armatures et de l'équipement roulant à utiliser.

2.1 Sollicitations mécaniques

Les galets ou les roues des ponts racleurs, des agitateurs, etc. engendrent d'importantes contraintes, tant de cisaillement en surface (frottement de la roue qui circule sur

le chemin de roulement) que de pressions verticales (variables en fonction de la charge du pont, de la surface de contact et de la dureté du bandage des galets de roulement). Les contraintes sont généralement plus importantes avec des galets rigides qu'avec des roues caoutchoutées.

L'usure à la surface des chemins de roulement est tributaire de la résistance mécanique du béton, laquelle est fonction à la fois de la composition du matériau et de la qualité de sa mise en œuvre. Certains traitements de surface (au moyen de quartz ou de produits à base corindon, par exemple) peuvent augmenter la résistance à l'usure.

Recommandations

- Béton d'une résistance minimum C_{30/37} ayant subi un traitement superficiel constitué par un ajout en surface d'un mélange de quartz ou de corindon et de ciment (5 à 6 kg/m², 1 part de ciment pour 2 parts de quartz ou de corindon sec).
- Limitation de la teneur en eau.

2.2 Sollicitations chimiques

Le béton armé est soumis aux agressions environnementales comme tout béton exposé à l'extérieur (carbonatation, pluie et gel), mais il subit également des sollicitations chimiques liées à son usage spécifique; celles-ci proviennent soit des effluents traités dans les bassins de décantation (vapeurs ou eaux agressives, projections, etc.), soit de traitements saisonniers appliqués à la surface de l'ouvrage (utilisation de sels de déverglaçage pour éviter que les galets ne patinent).

La résistance des chemins de roulement aux agents chimiques est, elle aussi, fonction des caractéristiques du béton et de la qualité de sa mise en œuvre.

Recommandations

- Choix d'une classe d'environnement EE₃ (si pas de sels de déverglaçage) ou EE₄ (si usage de sels de déverglaçage) combinée à une classe d'environnement chimique EA₂ minimum (agression chimique moyenne) ou EA₃ (agression chimique forte).
- Limitation de l'absorption d'eau par immersion (*water absorption by immersion*) : WAI (0,50) ou WAI (0,45) respectivement pour les classes d'environnement EE₃ ou EA₂ et EE₄ ou EA₃.
- Fuseau granulométrique continu du sable, qui sera de préférence de type roulé. Le diagramme de la figure 1 (p. 2) illustre la courbe granulométrique qu'il conviendrait d'approcher.
- Usage d'un ciment à haute résistance aux sulfates si la teneur en sulfates de l'eau est supérieure à 500 mg/l.

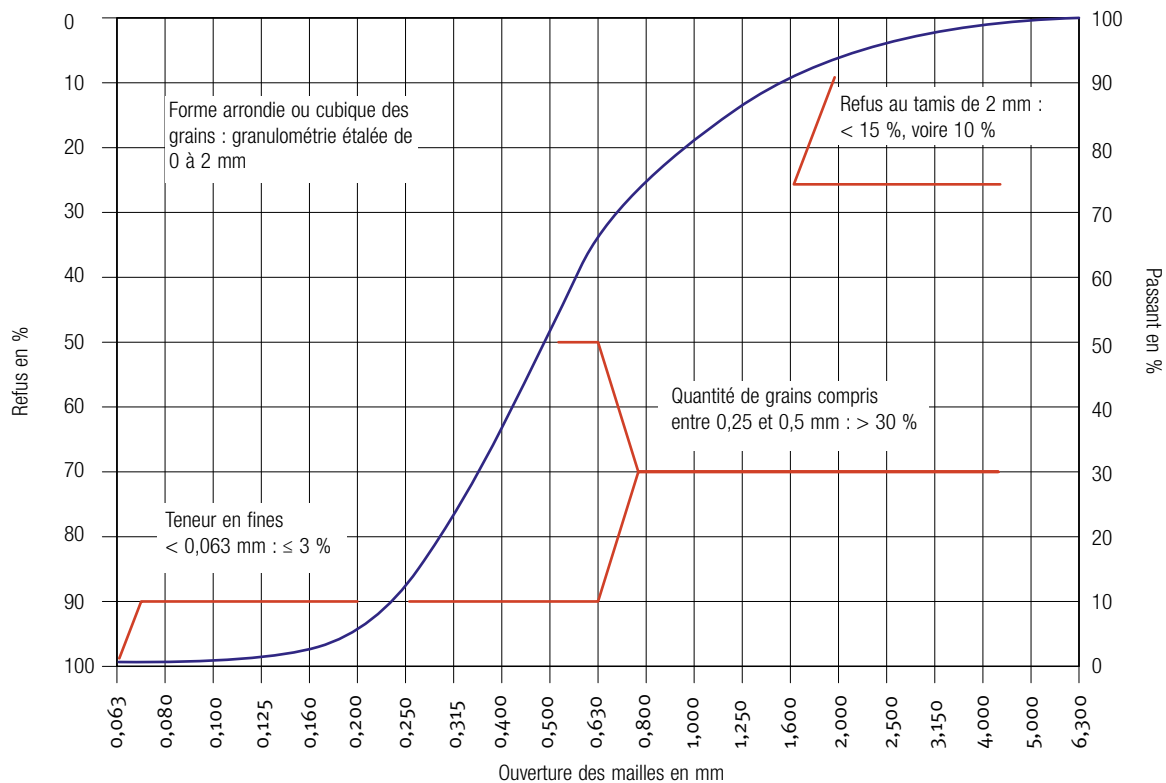
2.3 Sollicitations thermiques

On distingue les sollicitations thermiques provoquées par :

- un gradient thermique d'origine climatique (exposition dissymétrique au soleil)
- un gradient thermique dû à la différence entre la température de l'effluent traité et celle du milieu ambiant à l'extérieur du bassin
- un gradient thermique lié à l'exploitation (lampe ou fil chauffant, sels de déverglaçage utilisés pour dégeler les chemins de roulement en hiver).

Les deux premières causes sont intégrées dans les hypothèses de dimensionnement de l'ouvrage et sont prises en compte dans le calcul des armatures.

Les sollicitations thermiques liées à l'exploitation proviennent, quant à elles, de l'effet thermique généré par l'équipement de dé-



1 Courbe granulométrique recommandée pour le sable [11].

givrage des chemins de roulement. Outre les sels de déverglaçage, on distingue essentiellement deux systèmes : le câble chauffant dans le béton et les lampes chauffantes (système le plus utilisé).

2.3.1 Câbles chauffants

Le câble chauffant est soit placé après bétonnage de l'ensemble des bassins – ce qui nécessite des saignées –, soit fixé sur les armatures avant bétonnage. Sa puissance est fonction de sa profondeur par rapport à la surface du béton. La mise en place d'une brosse à neige en avant du pont en augmente l'efficacité.

La technique présente les avantages et inconvénients suivants :

- elle ne demande pas d'entretien
- le gradient thermique est constant
- par contre, la mise en œuvre est difficile : encombrement, positionnement par rapport aux armatures, saignées éventuelles à pratiquer
- risque de bris (réparation très difficile et onéreuse)
- enfin, la sollicitation thermique dans l'ouvrage est permanente en période hivernale.

Compte tenu de ses inconvénients, le câble chauffant est de moins en moins utilisé en Belgique.

2.3.2 Lampes chauffantes

Pour qu'une lampe chauffante soit efficace, elle doit être combinée avec une brosse à neige placée devant l'appareillage. La puissance recommandée des lampes s'élève à 500 W minimum.

Ce système présente les avantages et inconvénients suivants :

- il est d'un entretien aisé
- il est facile à mettre en œuvre (appareillage solidaire du pont racleur)
- le gradient thermique, très local et limité à la surface, génère peu de sollicitations thermiques dans l'ouvrage
- par contre, le béton subit de nombreux cycles de gel et de dégel. En effet, la lampe chauffante a pour effet de dégeler la surface devant le premier galet de roulement, mais l'énergie qu'elle développe pourrait s'avérer trop faible pour assécher la surface en même temps. Il s'ensuit qu'après le passage du galet, l'eau plus fluide demeurée en surface pénètre plus

facilement dans le béton, recommence à geler et ainsi de suite lorsque la vitesse de rotation du pont est lente. Ces cycles de gel et de dégel affectent la durabilité des chemins de roulement, car l'eau pénétrant dans les pores de surface peut saturer ceux-ci et, en gelant, engendrer des contraintes d'éclatement dans le support à la suite de l'expansion de la glace.

Ajoutons qu'en cas de réparations du chemin de roulement, un effet thermique dû à l'ensoleillement peut, selon le matériau utilisé (voir § 5), générer des contraintes de cisaillement entre le béton de base et la zone réparée. En effet, les résines époxydiques des mortiers de réparation résineux s'échauffent plus rapidement que le béton et transmettent mal au support les calories absorbées; le gradient thermique est concentré dans le surfaçage, ce qui induit un cintrage qui peut provoquer, à l'interface, des tensions d'adhérence voisines de la résistance à la traction ultime du béton.

Le système par lampe chauffante est le plus répandu sur l'ensemble des chantiers de la Société publique de gestion des eaux (SPGE). Il est parfois combiné avec l'emploi de sels de déverglaçage. Cette combinaison cumule deux paramètres agressifs pour



le béton. Dans la mesure du possible, il conviendrait d'éviter l'utilisation de sels de déverglaçage, car leur action entraîne des dégradations aux conséquences plus ou moins importantes pour la durabilité du béton. Ces dégradations sont notamment dues à la présence d'ions chlore fort agressifs sur les aciers proches de la surface, d'où leur corrosion accompagnée d'une expansion et d'un éclatement local du béton; ces ions favorisent également la saturation des pores par l'eau, qui reste plus longtemps liquide en période hivernale en raison du phénomène de surfusion. Les cycles de gel-dégel en seront d'autant plus critiques. La concentration de sels de déneigement dans la croûte de béton peut en outre provoquer des éclatements par cristallisation des sels lorsque le béton s'assèche.

Enfin, la présence d'une couche surfacique moins gélive, car saturée en chlore, participe à la génération d'un gradient thermique entre la zone de surface et celle plus profonde, avec un risque de fissuration subséquent (déplacement du point de congélation en fonction de la concentration en chlorures et de la profondeur).

Recommandations visant à limiter les sollicitations thermiques

- Respecter les quantités minimales d'armatures pour lutter contre la fissuration.
- Utiliser de préférence le système de lampe chauffante.
- Placer une brosse à neige en aval du système de roulement.
- Éviter si possible l'usage de sels de déverglaçage.
- Choisir le ciment en fonction du type d'agressivité chimique; les classes de résistance spécifiées dans le tableau A sont des classes minimales. Un ciment 'low heat' s'impose en présence d'un voile d'une épaisseur supérieure à 50 cm.

2.4 Mise en œuvre

La qualité de la mise en œuvre des bétons est sans aucun doute l'un des facteurs clés favorisant la durabilité et la fonctionnalité de l'ouvrage.

L'excédent d'eau, l'insuffisance de vibration, la mise en œuvre d'un béton ayant déjà commencé sa prise, le manque de compacité, l'absence de protection et de cure durant les premières heures, voire les premiers jours qui suivent le coulage sont autant d'éléments qui affectent la durabilité du béton des chemins de roulement.

2.4.1 Facteurs d'influence liés au béton

L'excédent d'eau est souvent lié à une volonté d'améliorer l'ouvrabilité du béton en cours d'exécution; on procède ainsi à des ajouts d'eau intempestifs en fin de bétonnage, car le mélange commence à se raidir soit à cause d'un début de prise, soit parce que le superplastifiant n'est plus efficace. L'excès d'eau peut également résulter de la composition initiale du béton et en particulier à rapport E/C trop élevé. En effet, plus ce rapport est élevé, plus le retrait hydraulique (dû au séchage lent du béton) sera important, et plus la fissuration sera importante. De telles conditions augmenteront d'autant la porosité et l'affaissement du béton (phénomène qui se traduit par des fissures et de petites ondulations au droit des étriers supérieurs des voiles).

Recommandation

- Respecter un facteur E/C de 0,50 maximum et, de préférence, de 0,45 (pour une classe d'environnement EE4 ou EA3), et utiliser un superplastifiant pour permettre une bonne ouvrabilité.

La compacité du béton contribue à sa résistance chimique et mécanique. La compacité est liée à la composition du mélange (courbe granulométrique et taille des granulats) et à sa consistance. Une courbe granulométrique continue et des granulats d'une dimension nominale la plus grande possible ont pour effet de diminuer la porosité.

Recommandations

- Prévoir une classe d'absorption d'eau WAI (0,45) ou WAI (0,50) suivant la classe d'environnement préconisée.
- La dimension nominale des granulats sera le plus grand possible, tout en étant compatible avec l'espacement des armatures et leur enrobage : elle correspondra au maximum à 1/5 de l'épaisseur minimale de l'élément et à 3/4 de l'écartement minimal des armatures. Cette caractéristique est également favorable à la résistance.
- La classe de consistance sera S3 ou S4; son obtention requiert l'usage d'un superplastifiant.
- Un granulats calcaire est préférable, car un granulats roulé de type siliceux accroît encore la dilatation thermique du béton et, donc, sa propension à se fissurer.

2.4.2 Règles de bonne pratique applicables à la mise en œuvre en général

Il convient d'appliquer les règles de mise en œuvre édictées dans les normes prNBN B 15-400 et NBN EN 13670. Certaines sont rappelées ci-dessous.

La vibration du béton influence sa compacité et son homogénéité. Trop vibré, le mélange présente une remontée de laitance en surface et une accentuation du phénomène de ségrégation; trop peu vibré, le béton manque de compacité.

A Choix du ciment en fonction des conditions d'environnement.

Milieu agressif en termes de sulfates, AVEC usage de sels de déverglaçage	Milieu agressif en termes de sulfates, SANS usage de sels de déverglaçage	Milieu non agressif en termes de sulfates, AVEC usage de sels de déverglaçage
Le ciment doit être résistant aux sulfates (SR).	Le ciment doit être résistant aux sulfates (SR).	Le ciment ne doit pas nécessairement être résistant aux sulfates.
CEM I 42,5 N LA	CEM III/B 42,5 N LA	CEM III/A 42,5 N LA
	CEM V/A (S-V) 32,5 N LA (sans addition de type II)	CEM I 42,5 N LA CEM I 42,5 R LA
	CEM I 42,5 N LA	

**B** Durée minimale de la cure.

Conditions ambiantes	Température 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 $\geq 80\%$	$\geq 10\text{ °C}$ $< 10\text{ °C}$	1 jour 2 jours	2 jours 4 jours	3 jours 5 jours	4 jours 6 jours
NORMALES : ensoleillement moyen et/ou humidité relative $\geq 50\%$	$\geq 10\text{ °C}$ $< 10\text{ °C}$	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 $< 50\%$	$\geq 10\text{ °C}$ $< 10\text{ °C}$	3 jours 5 jours	4 jours 8 jours	7 jours 10 jours	10 jours 15 jours

Recommandation

→ Respecter le temps de vibration, le diamètre des aiguilles vibrantes et les prescriptions relatives à leur utilisation.

Le dépassement du temps théorique de mise en œuvre du béton conduit à travailler avec un matériau qui a déjà commencé sa prise. Cette pratique a des conséquences à la fois sur son ouvrabilité (en diminution), sur sa résistance (également en diminution) et sur sa porosité (en augmentation).

Le délai garanti de mise en œuvre, spécifié sur le bon de livraison, est la durée calculée à partir du premier contact entre le ciment et l'eau, au cours de laquelle le mélange ne fera prise en aucun cas. Durant cette période, le béton peut être travaillé, c'est-à-dire qu'il peut être coulé, serré et faire l'objet d'une cure, sans préjudice pour sa résistance en compression et sa durabilité. Le producteur mentionne le délai de mise en œuvre en minutes sur le bon de livraison en prenant en compte la composition et la température du béton. Ce délai ne garantit aucunement le maintien de la consistance du béton au cours de cette période. Toutefois, la classe de consistance doit être maintenue au moins durant 30 minutes après l'arrivée sur le chantier (en cas d'ajout de superplastifiant sur chantier, après ajout et malaxage de celui-ci dans le camion-malaxeur).

Recommandation

→ Demeurer strict sur le respect des prescriptions en matière d'ouvrabilité et de délais garantis de mise en œuvre du béton.

La protection du béton des chemins de roulement par mise sous bâche ou planches de protection ou par application de produits de

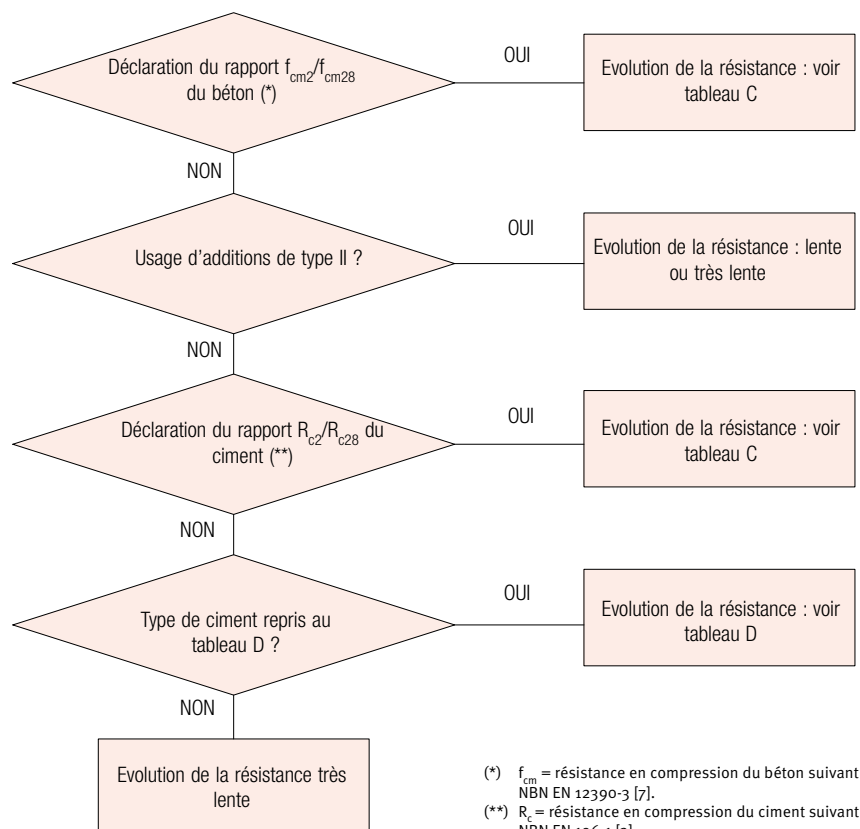
cure permet de prévenir le retrait plastique par dessiccation des surfaces exposées. En cela, cette protection limite le retrait plastique et hydraulique, et, par conséquent, la fissuration. La durée de protection dépend des conditions climatiques, de l'évolution de la résistance et de la température de surface du béton.

La durée de cure minimale s'étend de 1 jour (conditions favorables) à 15 jours (conditions défavorables). Il augmente avec les facteurs

qui contribuent à favoriser la dessiccation du béton : degré d'ensoleillement, vent, humidité relative basse. Il diminue d'autant plus que la vitesse d'évolution de la résistance du matériau est rapide. Le temps de cure dépend également de la température de surface du béton : il est plus élevé pour des températures inférieures à 10 °C que pour des températures supérieures à cette valeur.

Recommandations

→ Respecter les temps de cure imposés dans

2 Détermination de l'évolution de la résistance du béton.

(*) f_{cm} = résistance en compression du béton suivant NBN EN 12390-3 [7].

(**) R_c = résistance en compression du ciment suivant NBN EN 196-1 [3].



C Evolution de la résistance du béton en fonction du rapport f_{cm2}/f_{cm28} du béton ou du rapport R_{c2}/R_{c28} du ciment (*).

Rapport f_{cm2}/f_{cm28} du béton (*) ou rapport R_{c2}/R_{c28} du ciment (²)	Evolution de la résistance du béton
$\geq 0,5$	Rapide
$\geq 0,3$ à $< 0,5$	Moyenne
$\geq 0,3$ à $< 0,5$	Lente
$< 0,15$	Très lente

(*) f_{cm} = résistance en compression du béton suivant NBN EN 12390-3 [7].
 (²) R_c = résistance en compression du ciment suivant NBN EN 196-1 [3].

D Evolution de la résistance du béton en fonction du type de ciment (*).

Type de ciment	Evolution de la résistance du béton
CEM I 52,5 N ou R CEM I 42,5 N ou R	Rapide Moyenne
CEM III/A 52,5 N ou 42,5 N	Moyenne
CEM III/B 42,5 N	Lente
CEM V/A 32,5 N	Lente

la norme prNBN B 15-400. Pour le type de béton usuel en station d'épuration, ce délai s'étend en général de 3 à 8 jours.

→ La cure sera exécutée par défaut conformément au tableau B. L'évolution de la résistance du béton (rapide, moyenne, lente ou très lente) sera déterminée sur la base de la figure 2 (p. 4).

La hauteur de chute du béton ne peut dépasser 1 m. Le cas échéant, il y a lieu d'utiliser des accessoires tels que des grues à grappins ou à cuffats munis d'un tube plongeur.

Recommandation

→ Mise en place du béton au moyen d'un tube plongeur.

2.4.3 Règles de bonne pratique pour la mise en œuvre de la couche d'usure

Le béton utilisé pour le chemin de roulement est souvent additionné d'un produit à base de ciment-corindon ou de ciment-quartz, afin d'augmenter la résistance de la surface de roulement (notamment vis-à-vis de l'abrasion) et d'éliminer les fissures dues à l'affaissement du béton. Cet ajout se fait environ une heure après le bétonnage.

Cette opération nécessite de prévoir des coffrages plus hauts que le niveau théorique du voile. On veillera cependant à limiter cette surhauteur, de façon à maintenir un accès aisé pour le travail de finition (talochage et lissage, incorporation du mélange de ciment-quartz ou de ciment-corindon).

Recommandations

- Idéalement, on bétonne un surplus de hauteur de 5 à 10 cm et on enlève ce surplus de béton plus ou moins 1 heure après le coulage.
- On procède à un talochage de la surface supérieure, ce qui permet de refermer les fissures dues au tassement du béton et de lisser la surface, en y incorporant un mélange de ciment-quartz ou de ciment-corindon à raison de 5 à 6 kg/m² constitué d'une part de ciment pour deux parts de sable sec.
- Le coffrage ne dépassera pas de plus de 20 à 30 cm le niveau fini théorique du voile.

2.5 Chemins de roulement métalliques

Une autre solution pour les chemins de roulement consiste à réaliser ceux-ci en acier inoxydable.

Remarque

De façon à limiter le risque d'obtenir un béton de mauvaise qualité dans la partie supérieure du voile (fin de mixeur, ségrégation par excédent en eau, dépassement du délai de mise en œuvre) et de devoir enlever cette couche, on pourrait bétonner les derniers 20 cm dans une seconde phase (1 heure après la dernière coulée) et procéder de façon similaire pour la finition (talochage, ajout du mélange ciment-quartz ou ciment-corindon, etc.). Si cette technique présente l'inconvénient de décaler la fin du bétonnage, elle permet cependant de mieux contrôler la qualité de la dernière coulée (béton généralement le plus sollicité).

La partie de béton constituant le chemin de roulement est recouverte de capots métalliques. L'espace entre les pièces métalliques et le sommet du voile est injecté au moyen d'un mortier sans retrait.

En ce qui concerne le choix des tôles métalliques, les précautions suivantes permettent d'améliorer la durabilité de l'ouvrage et de limiter le risque de désordre :

- afin d'améliorer leur tenue dans le temps, les tôles seront en acier inoxydable austéno-ferritique (duplex) 1.4462 (2205) si on fait usage de sels de déneigement et en acier inoxydable austénique 1.4301 (304), 1.4311 (304 LN) ou 1.4597 en l'absence de sels de déneigement. Elles pourront éventuellement être protégées d'une autre manière contre la corrosion, à condition que l'efficacité de la protection ait été démontrée en tenant compte de l'usure
- elles devraient être de type larmé en surface (pour limiter le risque de patinage du galet de l'équipage mobile)
- on choisira de préférence des tôles d'une longueur réduite présentant des découpes d'extrémité à 45°
- elles seront munies de deux rebords métalliques permettant leur fixation latérale au moyen de chevilles en acier inoxydable
- elles seront percées de trous pour per-

(*) La définition de l'évolution de la résistance du béton sur la base des tableaux C ou D n'est pas comparable à la définition des classes S, N et R donnée dans la norme NBN EN 1992-1-1 (§ 3.1.2.(6) [6].

mettre l'injection de mortier de remplissage à leur sous-face

- une fois les capots métalliques placés et fixés, l'espace entre les tôles et le béton de support est rempli par injection d'un mortier sans retrait au travers du ou des percements prévus à cet effet (*a priori* au moins deux percements : un point d'injection et un évent).

3 Suggestions quant au choix du béton

Les différentes recommandations formulées ci-avant conduisent aux suggestions suivantes quant au choix du béton.

Afin d'assurer la constance et le contrôle de la qualité, il importe que le béton soit conforme aux normes NBN EN 206-1 et NBN B 15-001, et qu'il bénéficie d'un label de qualité de type BENOR ou équivalent.

Prescriptions pour un béton résistant aux sulfates, au gel et aux sels de déverglaçage :

- classe de résistance : C35/45
- domaine d'utilisation : BA (béton armé)
- classes d'environnement : EE4 (car sels de

déneigement) + EA2 (agressivité chimique moyenne) ou EA3 (agressivité chimique forte)

- classe de consistance : S3 ou S4
- dimension maximale D_{max} du granulat : 22 mm
- exigences complémentaires :
 - usage de granulats calcaires
 - ciment CEM I LA d'une classe de résistance 42,5 N minimum et résistant aux sulfates (SR)
 - classe d'absorption d'eau WAI (0,45) (car EE4) selon l'annexe O de la norme NBN B 15-001.

Prescriptions pour un béton résistant aux sulfates et au gel en l'absence de sels de déverglaçage :

- classe de résistance : C35/45 si EA3 ou C30/37 si EA2
- domaine d'utilisation : BA (béton armé)
- classes d'environnement : EE3 + EA2 (agressivité chimique moyenne) ou EA3 (agressivité chimique forte)
- classe de consistance : S3 ou S4
- dimension maximale D_{max} du granulat : 22 mm
- exigences complémentaires :
 - usage de granulats calcaires
 - classe d'absorption d'eau WAI (0,50)

ou WAI (0,45) (si EA3) selon l'annexe O de la norme NBN B 15-001

- ciment LA résistant aux sulfates (SR).

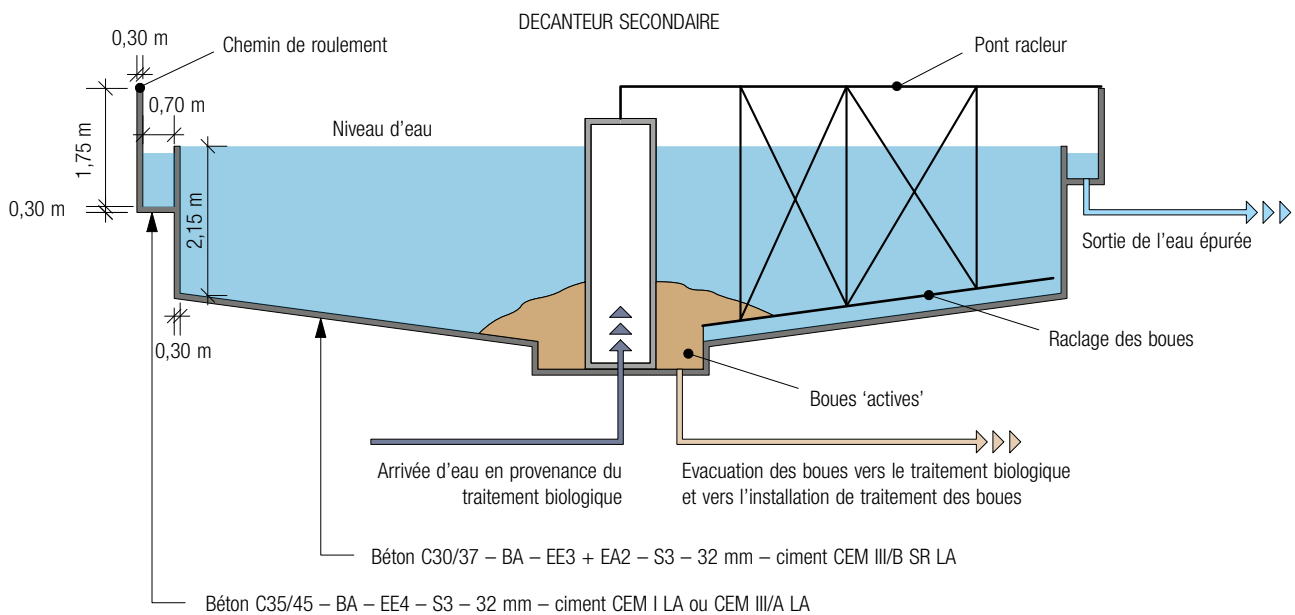
Prescriptions pour un béton soumis à un environnement sans sulfates, mais avec sels de déverglaçage :

- classe de résistance : C35/45 (EA3)
- domaine d'utilisation : BA (béton armé)
- classes d'environnement : EE4
- exigences complémentaires :
 - classe de consistance : S3 ou S4
 - usage de granulats calcaires dont la dimension maximale D_{max} s'élève à 22 mm
 - classe d'absorption d'eau WAI (0,45) selon l'annexe O de la norme NBN B 15-001
 - ciment CEM I ou CEM III/A LA.

Prescriptions pour un béton à résistance modérée aux agents chimiques en l'absence de sulfates et de sels de déverglaçage :

- classe de résistance : C35/45
- domaine d'utilisation : BA (béton armé)
- classes d'environnement : EE3
- classe de consistance : S3 ou S4
- exigences complémentaires :
 - usage de granulats calcaires dont la dimension maximale D_{max} s'élève à 22 mm

3 Exemple de décanteur secondaire conçu à partir de deux types de bétons différents et permettant d'adapter le type de ciment à l'agression effectivement présente.





– type de ciment : tous les ciments LA sont autorisés.

4 Suggestions portant sur la conception de l'ouvrage

Des innovations dans la conception pourraient être envisagées afin d'optimiser le choix du type de ciment et du type de béton compte tenu des agressions.

Sachant que chaque ciment a ses spécificités, on peut certainement considérer que les ciments CEM III/B et CEM I 42,5 à haute résistance aux sulfates conviennent le mieux pour les bassins envisagés ici, pour autant qu'ils soient exposés à des sulfates. Le ciment CEM III/B à haute résistance aux sulfates pourrait être préféré non seulement pour des raisons environnementales et économiques, mais également pour limiter les fissures thermiques au cas où l'on bétonne sur un sol durci ou si les voiles ont plus de 50 cm d'épaisseur.

Il convient toutefois de noter que le ciment CEM III/B est un ciment lent : sa cure doit donc être allongée et son usage ne convient pas au bétonnage à basse température (en dessous de 5 °C) lorsqu'il y a un risque de gel.

Si le bassin est entièrement réalisé avec un ciment CEM III/B, on devrait idéalement utiliser ce dernier pour le chemin de roulement aussi. Or, un béton composé de ciment CEM III/B offre une résistance aux sels de déneigement beaucoup moindre que celle obtenue avec un ciment CEM I ou CEM III/A. Dans la partie supérieure d'un bassin de décantation, l'eau est épurée et donc moins agressive : l'usage d'un ciment à haute résistance aux sulfates ne se justifie dès lors plus. Les ciments CEM I LA ou CEM III/A LA devraient donc être préférés pour le chemin de roulement.

Par ailleurs, si ce dernier est exposé aux sels de déneigement, il faudra considérer la classe d'environnement EE4. Or, la partie inférieure du bassin ne doit pas nécessairement satisfaire à cette classe d'environnement.

On peut dès lors conseiller d'utiliser deux types de béton différents pour tenir compte des conditions d'exposition, en prévoyant un débordement sur lequel repose le chemin de roulement :

- le débordement et donc la partie supérieure seront réalisés avec un béton T(0,45) (conformément à la classe EE4) et



un ciment CEM III/A LA ou CEM I LA

- la partie inférieure sera en béton T(0,50) (conformément à la classe EE3) composé d'un ciment à haute résistance aux sulfates tel (éventuellement) qu'un CEM III/B LA, un CEM V LA ou un CEM I LA SR.

Ce type de démarche est adopté notamment par la société AQUAFIN.

On pourrait travailler avec deux types de bétons différents dans un même bassin sans prévoir de débordement, mais cette solution serait moins esthétique, car les bétons présenteront de fortes différences de couleur.

5 Suggestions portant sur les techniques de réparation

5.1 Contexte général

Du fait des sollicitations auxquelles ils sont soumis, les chemins de roulement consti-

tuent souvent un point faible des ouvrages, nécessitant entretiens et réparations. Les réparations peuvent faire appel à différents types de matériaux :

- mortier hydraulique en couche épaisse
- mortier époxydique mince (< 5 mm)
- mortier époxydique épais
- traitement de surface et protection par 'capots' métalliques.

Le choix des matériaux et l'importance de la réparation seront fonction de l'ampleur des dégradations, de la nature de celles-ci et des possibilités de mise à l'arrêt de l'ouvrage.

5.2 Réparation par mortier hydraulique en couche épaisse

Le principe de cette technique consiste à décaper la couche de roulement sur une épaisseur de 4 à 6 cm minimum, de façon à dégager complètement les étriers supérieurs des voiles sur une profondeur d'environ 2 à 3 cm. On prêtera une attention particulière au décapage, de manière à éviter d'endommager le béton sain (fissuration due au décapage). Notons que le décapage à haute pression hydraulique permet de limiter le phénomène de microfissuration.

La surface décappée est ensuite nettoyée afin de retirer les éléments non adhérents et autres poussières. Les éventuelles fissures et les joints de reprise dans les voiles sont repérés de façon à y faire correspondre les éventuels joints de structure (*) créés dans la zone de réparation.

La partie démolie est remplacée par un

(*) Ces joints sont facultatifs dans le cas des mortiers hydrauliques et sont recommandés pour les mortiers époxydiques.

Remarque

Lorsqu'il apparaît que les étriers sont plus profonds que l'enrobage théorique de 4 cm, il y a lieu de sceller des demi-cadres (ø 8 mm minimum) dans le béton, tous les 25 cm environ, au moyen d'une résine de scellement adéquate, en respectant les prescriptions d'ancrage. On placera également des barres filantes longitudinales (au minimum 2 ø 8 mm) dans les angles des demi-cadres constitués par les étriers nouvellement placés.



mortier hydraulique à haute résistance et à retrait compensé de classe R4 selon la norme NBN EN 1504-3 [5] les PTV 563 [1] ou équivalent; ce mortier sera composé de liants hydrauliques et renforcé éventuellement par des fibres métalliques. Le produit peut être coulé dans un coffrage rapporté suffisamment rigide (de type métallique, par exemple) et étanché latéralement pour éviter les coulées sur les voiles. Notons que l'usage de fibres métalliques provoque l'apparition de rouille en surface, ce qui nuit notamment à l'esthétique et peut endommager les galets (en particulier s'ils sont en caoutchouc).

Le mortier est taloché en évitant autant que possible l'apparition de fibres en surface; un produit de cure est appliqué dès la prise.

Afin de limiter les contraintes provoquées par la dilatation ou le retrait thermique, il est conseillé de réaliser des joints minces dans la nouvelle couche rapportée au droit des fissures actives et au moins tous les 4 mètres. Ces joints d'une profondeur de 2 cm, disposés à 45° par rapport à la ligne de roulement, sont exécutés à la disqueuse (en dehors des étriers) dans les 12 à 24 heures qui suivent la mise en place du mortier. Ils sont ensuite remplis d'un mastic polysulfide coulable résistant aux hydrocarbures et présentant une dureté Shore moyenne.

Dans l'état actuel des connaissances, il semble que ce type de réparation soit celui qui comporte le moins d'inconvénients. Le mortier hydraulique offre en outre l'avantage de posséder un coefficient de dilatation thermique équivalent à celui du béton et un module d'élasticité voisin de celui du béton du voile existant. Cette similitude limite les

contraintes de cisaillement à l'interface de la réparation.

5.3 Réparation par mortier époxydique en couche mince (< 5 mm)

De mise en œuvre aisée, cette technique permet une circulation rapide après réparation. Néanmoins, qu'il soit appliqué en couche mince ou en couche épaisse, le mortier se détruit dans le temps et la tenue de la réparation est aléatoire. On relève plusieurs causes possibles de détérioration :

- la différence de module d'élasticité entre le béton de support et la couche mince rapportée, qui entraîne un arrachement de la couche superficielle, celle-ci étant soumise à des contraintes différentielles résultant des coefficients de dilatation thermique différents
- le vieillissement de la résine époxydique (UV, cycles de gel/dégel, pluie, etc.)
- une résistance insuffisante en cas de pontage des fissures actives, entraînant un écaillage progressif au droit des fissures
- une faible porosité de la couche époxydique qui forme une barrière pare-vapeur, ce qui peut induire un cloquage par tension de vapeur.

5.4 Réparation par mortier époxydique en couche épaisse

Cette technique consiste à appliquer un mortier époxydique de 20 à 50 mm d'épaisseur. Si l'augmentation de l'épaisseur atténue les effets dénoncés ci-avant, la problématique liée à la différence de module d'élasticité demeure néanmoins. De petites fixations

mécaniques à l'interface permettent de maîtriser le cisaillement et la tendance au cintrage, qui pourrait provoquer des pertes locales d'adhérence (cf. § 2.3).

Comme pour les mortiers hydrauliques, il est recommandé de réaliser des joints à intervalles réguliers dans la couche rapportée.

5.5 Réparation par traitement de surface et protection par capots métalliques

Ce type de réparation consiste à combiner un traitement du béton de surface abîmé et la reconstruction du chemin de roulement au moyen de tôles métalliques.

Le choix des tôles métalliques répond aux mêmes règles que celles énoncées au § 2.5.

5.6 Conclusions concernant les réparations

En l'état actuel des connaissances, la réparation au moyen d'un mortier hydraulique en couche épaisse (mise en œuvre sur une épaisseur de 2 à 3 cm sous les étriers du sommet des voiles) et, mieux, par coulage d'un nouveau béton (reconstitution du chemin de roulement) semble donner les meilleurs résultats.

Cependant, cette technique nécessite un arrêt de l'ouvrage pas toujours compatible avec le fonctionnement de la station d'épuration. Dans ce cas, l'alternative qui consiste à placer des capots métalliques peut se révéler plus adéquate. ■

M. Demanet, ir., Services Development Manager, SECO

V. Pollé, ir., chef adjoint du département Matériaux, technologie et enveloppe, CSTC

Cl. Ployaert, ir., ingénieur conseil, Febelcem

Outre les auteurs précités, le présent article a été rédigé en collaboration avec :

B. Parmentier (CSTC)

F. Dury, J.-F. Gheysens, B. Gravis, A. Questiaux et S. Taminiou (SECO)

C. Ladang (BCCA)

ainsi que des collaborateurs des sociétés AIDE, AVE, IBW, IDEA, IGRETEC, INASEP et IPALLE.



BIBLIOGRAPHIE

1. Belgian Construction Certification Association
PTV 563 Prescriptions techniques pour mortiers de réparation du béton. Bruxelles, BCCA, Prescriptions techniques – Technische Voorschriften, n° 563, 2007.
2. Bureau de Normalisation
NBN B 15-001 Béton. Spécification, performances, production et conformité. Complément national à la NBN EN 206-1:2001. Bruxelles, NBN, 2012.
3. Bureau de Normalisation
NBN EN 196-1 Méthodes d'essais des ciments. Partie 1 : détermination des résistances mécaniques. Bruxelles, NBN, 2005.
4. Bureau de Normalisation
NBN EN 206-1 Béton. Partie 1 : spécification, performances, production et conformité. Bruxelles, NBN, 2001.
5. Bureau de Normalisation
NBN EN 1504-3 Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton. Définitions, exigences, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité. Partie 3 : réparation structurale et réparation non structurale. Bruxelles, NBN 2006.
6. Bureau de Normalisation
NBN EN 1992-1-1 Eurocode 2 : calcul des structures en béton. Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments (+AC:2010). Bruxelles, NBN, 2005.
7. Bureau de Normalisation
NBN EN 12390-3 Essais pour béton durci. Partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes (+ AC:2011). Bruxelles, NBN, 2009.
8. Bureau de Normalisation
NBN EN 13670 Exécution des structures en béton. Bruxelles, NBN, 2010.
9. Bureau de Normalisation
prNBN B 15-400 Exécution des structures en béton. Supplément national à la NBN EN 13670:2010. Bruxelles, NBN, 2012.
10. Centre scientifique et technique de la construction
Conception et exécution des ouvrages étanches en béton. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 247, novembre 2012.
11. Ployaert Cl.
Recommandations pour la construction en béton des ouvrages d'épuration des eaux. Bruxelles, Fédération de l'industrie cimentière belge (FEBELCEM), 2006.