Conception des projets de voiries et d'aménagements urbains - Partie 2

Septembre 2020

À lire aussi

Conception des projets de voiries et d'aménagements urbains - Partie 1
Lire la suite

4 • Les sollicitations propres au béton

Dès sa mise en œuvre, le béton – par suite de l'hydratation du ciment – est le siège de phénomènes physiques et chimiques qui amènent sa transformation de l'état plastique à l'état solide. Durant cette phase, le béton subit ses premières sollicitations, qui sont de nature hygrométrique et thermique.

Elles se concrétisent sous forme de retrait hygrométrique et de mouvements thermiques.

Après son durcissement, le béton subira toujours les effets des mêmes sollicitations mais, compte tenu de son état solide, son comportement sera tout à fait différent de celui du béton frais.

4.1 / Les sollicitations du béton frais

4.1.1 / Le retrait hygrométrique

Avant la prise, le retrait hygrométrique – ou « premier retrait » – du béton frais est principalement dû au départ de l'eau présente, soit par évaporation, soit par percolation dans la plate-forme support. Ce phénomène se produit alors que l'eau n'est pas encore fixée chimiquement et physiquement. Le retrait est d'autant plus important que la teneur en eau du béton est élevée, que les conditions atmosphériques sont défavorables (température élevée, vent sec…) et que la plate-forme support est plus absorbante.

En l'absence des dispositions constructives (Cf. Encart 1), ce retrait peut entraîner l'apparition de fissures dites de « retrait plastique ». Elles se manifestent, dès les premières heures qui suivent le bétonnage, sous forme de fissures relativement courtes, en général obliques ou longitudinales par rapport à l'axe du revêtement ; leur profondeur peut être importante. En principe, ces fissures n'évoluent pas. En revanche, une perte d'eau excessive peut avoir des conséquences néfastes sur la résistance du béton et en particulier sur sa résistance au gel et aux sels de déverglaçage.

Règles de l'Art ou dispositions constructives pour réduire le retrait hygrométrique

Dispositions constructives à adopter pour réduire les effets des sollicitations du béton frais, par suite du retrait hygrométrique

- Limiter la teneur en eau du béton : rapport E/C < 0,45. En effet, pour s'hydrater, le ciment a besoin d'environ 35 % de son poids en eau (de 20 à 25 % étant fixés chimiquement, les 10 % restants étant fixés physiquement par absorption). En d'autres termes, le rapport eau/ciment d'un béton ne devrait théoriquement pas dépasser 0,35. Dans la pratique et compte tenu des moyens utilisés pour la mise en œuvre, on exige que ce rapport soit inférieur à 0,45. Toute eau excédentaire est nuisible car elle est susceptible de s'évaporer et donc d'augmenter le retrait hygrométrique.
- Protéger le béton frais pour réduire ou annuler l'évaporation de l'eau. Cette disposition peut être assurée soit par la pulvérisation d'un produit de cure, soit par un film polyane.
- Arroser abondamment la plate-forme support avant le bétonnage, surtout en période de fortes chaleurs, pour éviter la percolation de l'eau du béton.

4.1.2 / Le retrait d'hydratation et le retrait thermique

Dès le début de la prise et du durcissement, le ciment prélève une partie de l'eau pour s'hydrater, et cette hydratation s'accompagne d'une diminution de volume (de l'ordre de 10 %). Le béton se contracte. On dit alors que cette contraction est provoquée par le retrait d'hydratation ou « second retrait ».

De plus, le revêtement est aussi le siège de sollicitations d'ordre thermique, provoquées par les variations journalières de la température ambiante qui peuvent s'ajouter, dans la pratique, aux premières causes de contraction.

Les retraits d'hydratation et thermique se traduisent par des contractions qui se manifestent au sein du revêtement. Mais celles-ci sont empêchées ou freinées par le frottement du revêtement sur la plate-forme support et entraînent le développement de contraintes de traction dans le revêtement. Ces contraintes sont proportionnelles à l'amplitude des retraits combinés, à la longueur du revêtement et à la valeur du coefficient de frottement entre béton et plate-forme support. Lorsque, à un moment donné et à un endroit particulier, cette contrainte est supérieure à la résistance à la traction du béton, le revêtement en béton se fissure.

Règles de l'Art ou dispositions constructives pour réduire Le retrait d'hydratation et le retrait thermique

Dispositions constructives à adopter pour réduire les effets du retrait d'hydratation et du retrait thermique

- Réduire l'amplitude des retraits combinés, ce qui suppose la réduction du retrait d'hydratation et du retrait thermique, mais surtout leur superposition. Le retrait d'hydratation est un phénomène inéluctable pour lequel il n'existe aucun remède. En revanche, on peut réduire le retrait thermique en privilégiant l'utilisation de gravillons calcaires et en évitant ceux qui sont siliceux. En fait, pour réduire l'amplitude de retraits combinés, il faut surtout éviter que le retrait d'hydratation ne se superpose au retrait thermique. Cela peut arriver, en particulier, lorsque le moment – où la vitesse maximale du second retrait – coïncide avec le refroidissement nocturne, dans une période de l'année où les écarts de température entre la nuit et le jour sont forts. La fissuration du béton est, dans ce cas, certaine. C'est le béton mis en place dans la matinée qui se trouve dans cette situation, alors que celui répandu l'après-midi est encore, pendant la nuit, le siège d'un dégagement de chaleur et n'est pas assez âgé pour que le second retrait entre dans sa phase critique au moment où agit le retrait thermique nocturne.
- Maîtriser le retrait en le concentrant dans des joints ou en utilisant des armatures longitudinales continues dans le revêtement béton (pour plus d'information, voir Routes Info #05 - Bases techniques).
- Réduire le frottement entre le revêtement et la plate-forme support : la réalisation des joints et l'utilisation d'une interface glissante (type feuille de polyane) apportent une réponse à cette exigence.
- Adapter les dispositions de bétonnage aux conditions climatiques. En cas de fortes chaleurs, et dans le but de se prémunir contre un retrait prématuré du béton, il faut réduire les délais séparant la mise en œuvre du béton et le sciage des joints de retrait. Le bétonnage peut se faire alors le matin avec un sciage en fin de journée ou de préférence, un bétonnage dans l'après-midi avec un sciage le lendemain matin.

4.2 / Les sollicitations du béton durci

Les sollicitations du béton durci, indépendantes du trafic, sont dues :

- au retrait thermique et hygrométrique ;
- à la dilatation thermique ;
- au gradient de température.

4.2.1 / Le retrait thermique et hygrométrique

Après son durcissement, le béton continue à se contracter sous l'effet du retrait hygrométrique (perte d'eau, mais dans des proportions plus faibles puisqu'une grande partie de cette eau a été fixée chimiquement et physiquement) et sous l'effet du retrait thermique (variations journalières de la température ambiante).

Les retraits hygrométrique et thermique se traduisent par des contractions qui se manifestent au sein de la dalle en béton. Ces contractions entraînent inéluctablement l'ouverture des joints (de part et d'autre de la dalle). Elles sont proportionnelles à l'amplitude des retraits thermique et hygrométrique et à la longueur de la dalle. Or, une ouverture excessive au niveau d'un joint

présente les inconvénients suivants :

- déficience du transfert de charge d'une dalle à l'autre ;
- introduction dans le joint d'objets nuisibles et infiltration de l'eau.
- Pour réduire les effets des retraits hygrométrique et thermique du béton durci, les dispositions constructives spécifiques sont à prévoir (Cf. Encart 3).

Encart 3

Dispositions constructives pour réduire les retraits hygrométrique et thermique

Dispositions à prendre pour limiter l'ouverture des joints :

- Réduire le retrait hygrométrique en maintenant la protection du béton pendant sept jours. En principe, les produits de cure assurent cette protection.
- Réduire le retrait thermique en évitant l'utilisation de granulats siliceux dans la confection du béton.
- Réduire la longueur des dalles ou – ce qui revient au même – réduire l'espacement des joints. Les calculs et l'expérience ont montré que l'espacement des joints doit être de l'ordre de 25 fois l'épaisseur de la dalle, sans toutefois dépasser 5 m.

4.2.2 / La dilatation thermique

La dilatation d'une dalle en béton, observée à la suite d'une augmentation de la température ambiante, est freinée ou empêchée par le frottement du béton sur la plate-forme support. Apparaissent alors dans la dalle des contraintes de **compression** que le béton supporte parfaitement. De plus, elles peuvent intervenir de manière bénéfique pour réduire les contraintes provoquées par le gradient thermique (Cf. paragraphe 4.2.3.), grâce à l'effet de précontraintes qu'elles confèrent à la dalle.

Aucune précaution particulière n'est exigée pour remédier aux effets de la dilatation thermique, sauf dans le cas de bétonnage hivernal ou à certains endroits ou points singuliers lorsque le revêtement rencontre des objets fixes ou lorsqu'il est contigu à des ouvrages fixes tels les regards, les candélabres, les façades d'immeuble, les ponts, ou en amont de virages à faible rayon de courbure ou en amont de **section** matérialisant un changement de pente. Il est alors judicieux de réaliser des joints de dilatation ou de désolidarisation (Cf. Encart 4).

Encart 4

Dispositions constructives particulières pour réduire les effets de la dilatation thermique

Il faut réaliser des joints de dilatation (environ 2 cm) autour des points singuliers et, dans le cas d'un bétonnage hivernal, selon un schéma d'implantation déterminé avec la note de calcul exposée dans l'ANNEXE 2.1 (Pages 40 et 41) du guide SPECBEA « Voiries et aménagements urbains. Tome 3 : Les règles de l'art ». Afin de ne pas multiplier les discontinuités, on peut éventuellement transformer un joint de construction prévu (fin de journée ou arrêt de bétonnage) en **joint de dilatation**. Sous trafic, les joints de dilatation doivent être goujonnés.

4.2.3 / Le gradient de température

En plus des mouvements de retrait et de dilatation, les variations brusques de température induisent un gradient thermique dans le revêtement, c'est-à-dire une différence de température entre les faces supérieures et inférieures. Ce gradient tend à déformer les dalles du revêtement, mais ces déformations sont contrecarrées par le poids propre du béton. Il en résulte des contraintes internes dans la dalle, qui sont d'autant plus élevées que le gradient est important et que la dalle est longue, large et épaisse (Cf. Encart 5).

Encart 5

Dispositions à prendre pour remédier aux contraintes dues au gradient de température

- Réduire la longueur des dalles en réalisant des joints dont l'espacement est inférieur à 5 m.
- Réduire la largeur des dalles en réalisant des joints longitudinaux dès que la largeur du revêtement est supérieure à 5 m.
- Éviter durant les trois premiers jours les échauffements brusques du revêtement (protection ou bétonnage en fin de journée).

5 • Les sollicitations dues au trafic

Le trafic constitue un élément essentiel du dimensionnement des chaussées. En effet, chaque passage de véhicule sur la chaussée entraîne une légère usure de celle-ci, tant pour ce qui concerne la structure que les qualités de surface. L'accumulation de ces dommages élémentaires conduit à la dégradation progressive de l'ensemble. Le calcul du dimensionnement fait donc intervenir le trafic cumulé qui circule sur la chaussée durant la période de service prévue.

L'expérience a montré l'influence fondamentale du poids de l'essieu sur le dommage observé : un essieu de poids lourd est infiniment plus agressif qu'un essieu de voiture légère. Il est donc nécessaire de quantifier le trafic sur le plan de l'agressivité des véhicules. En France, le trafic estimé à la mise en service est converti en nombre d'essieux standards au moyen d'un coefficient multiplicateur qui tient compte de l'agressivité du type de véhicule. Le terme « essieu standard » désigne l'essieu isolé à roues jumelées supportant une charge de 13 t, qui est la charge maximale légale en France. Puisque l'objectif de la chaussée est d'assurer le passage des véhicules pendant un certain nombre d'années, le calcul de dimensionnement fait donc intervenir le trafic cumulé, converti en « essieux standards » qui circulent sur la chaussée tout au long de cette période.

5.1 / Les sollicitations structurelles

Considérons une dalle en **béton**, reposant librement sur une plate-forme support préalablement nivelée et compactée. Chargeons-la en son milieu d'un poids P. Sous l'effet de cette charge, la dalle se déforme et s'incurve vers le bas en prenant une certaine **flèche**. On dit que la dalle fléchit ou qu'elle est soumise à un effort de**flexion**.

Les phénomènes induits par une dalle en béton sous l'action d'une charge P sont :

- La charge P est transmise au support d'une façon uniformément répartie grâce au module élevé du béton. Les contraintes de compression sur le support sont donc relativement faibles.
- La flexion de la dalle laisse apparaître deux types de contrainte au sein du béton :

  - une contrainte de compression à la partie supérieure de la dalle, dont la valeur est très inférieure à la résistance en compression du béton ;
  - une contrainte de **traction** par flexion à la partie inférieure de la dalle, dont la valeur peut être élevée.

À chaque passage d'une charge P, la dalle travaille à la fraction par flexion au niveau de la fibre inférieure. Si l'on répète l'opération un grand nombre de fois, la dalle se **fatigue** et risque de se fissurer, même si les efforts engendrés ne dépassent pas, à chaque fois, la contrainte admissible du béton. C'est ce qu'on appelle « la fatigue sous efforts répétés ».(Cf. Encart 6).

Encart 6

Dispositions pour garantir la durabilité structurelle de la chaussée

Le dimensionnement d'une dalle en béton consiste donc à déterminer son épaisseur pour qu'elle ne se fissure pas sous l'effet de charges répétées et pendant une période de service donnée. Il convient donc :

- de déterminer la contrainte à la traction par flexion de la dalle en béton et de s'assurer qu'elle est inférieure à la contrainte de traction admissible du béton ;
- d'apprécier le comportement à la fatigue de la dalle en béton.

5.2 / Les sollicitations superficielles

Le trafic et les usagers de la voirie urbaine provoquent, avec le temps, une usure superficielle du revêtement en béton. Cette usure est néanmoins extrêmement faible dans le cas du béton si certaines précautions sont respectées au moment de sa **formulation** et de sa mise en œuvre (Cf. Encart 7).

Encart 7

Précautions à respecter

Il faudra en particulier :

- Choisir un traitement de surface adapté au trafic.
- Choisir un gravillon peu polissable (en particulier dans le cas du**béton désactivé**).
- Soigner la protection du **béton frais**.

6 • Les sollicitations particulières

6.1 / Le gel

De par leur configuration et leur situation (grande surface posée à même le sol), les revêtements routiers sont particulièrement exposés aux effets du gel. Les bétons routiers y sont insensibles si les quelques précautions suivantes sont respectées (Cf. Encart 8).

- Au stade de la formulation du béton :

  - proscrire les gravillons gélifs ;
  - exiger l'adjonction d'un adjuvant entraîneur d'air.

- Au stade de la mise en œuvre :

  - si le gel arrive alors que le béton est jeune (durant les trois premiers jours), il faut lui assurer une protection efficace en utilisant un polyane, des paillassons ou tout autre système de protection.

6.2 / Les sels de déverglaçage

Les sollicitations provoquées par l'utilisation des sels de déverglaçage sont très complexes. En effet, lafonte de la glace est une réaction endothermique qui provoque une chute brutale de la température à la surface du revêtement (Cf. Encart 8). Ce refroidissement induit :

l'apparition des contraintes de retrait à la surface du revêtement ;
le gel de l'eau contenue dans les pores du béton ;
la pénétration de la solution saline dans les interstices du béton et le développement d'une pression osmotique.

Encart 8

Dispositions à prendre pour mieux résister aux sollicitations particulières

Grâce à l'utilisation obligatoire d'un adjuvant entraîneur d'air, les bétons routiers sont pratiquement insensibles aux sels de déverglaçage.

À lire aussi

Conception des projets de voiries et d'aménagements urbains - Partie 3
Lire la suite

Bibliographie

- T 50 : Voiries et aménagements urbains en béton. Tome 1 : Conception et dimensionnement Collection technique, CIMbéton, 2019.
- T 51 : Voiries et aménagements urbains en béton. Tome 2 : Mise en œuvre; Collection technique, CIMbéton, 2009.
- T 52 : Voiries et aménagements urbains en béton. Tome 3 : Cahier des Clauses Techniques Particulières CCTP-Type ; Bordereau de prix unitaire BPU ; Détail estimatif DE CCTP-Type, CIMbéton, 2007.
- T 53 : Espaces urbains en béton désactivé. Conception et réalisation; Collection technique, CIMbéton, 2005.

Cet article est extrait de **Voiries et aménagements urbains en béton - Cahier technique**

Cimbéton

Auteur

Retrouvez toutes nos publications sur les ciments et bétons sur infociments.fr

Consultez les derniers projets publiés
Accédez à toutes nos archives
Abonnez-vous et gérez vos préférences
Soumettez votre projet

Article imprimé le 27/11/2026 © infociments.fr