



VOIRIES ET AMÉNAGEMENTS URBAINS EN BÉTON

Principes fondamentaux d'aide à la conception des projets

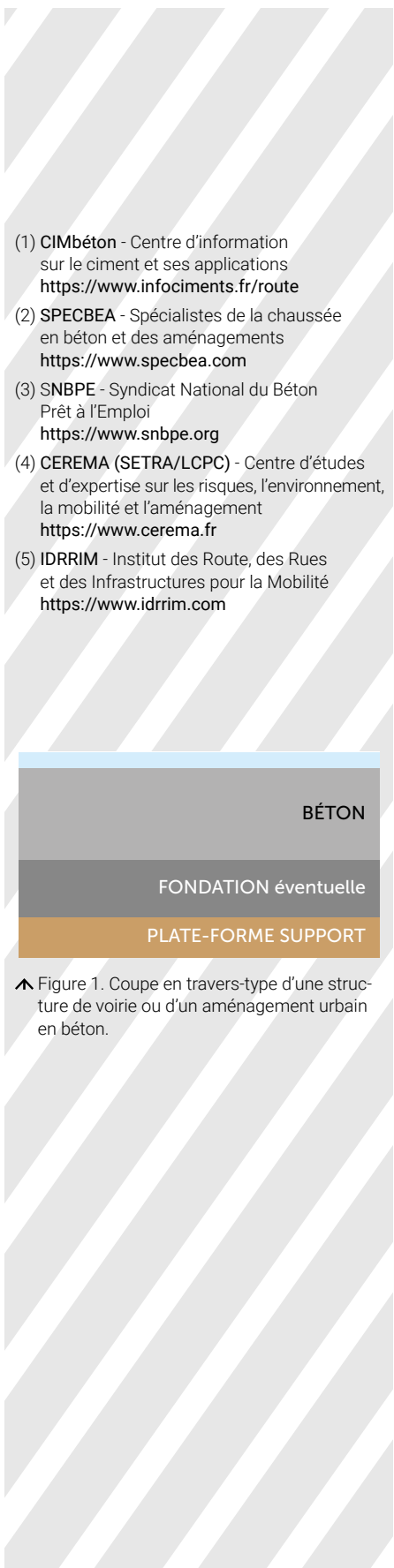
Ce sont des bétons fabriqués en centrale et transportés sur le chantier à l'état plastique. Là, ils sont coulés entre coffrages (fixes ou mobiles), soit directement sur une plate-forme support préalablement nivelée et compactée (cas des voiries à faibles trafics), soit sur une couche de fondation (cas des voiries à moyen et fort trafics). Ce sont des bétons « d'extérieur », particulièrement exposés aux agressions des agents atmosphériques. En outre, ce sont des revêtements lourds, posés à plat sur un support, ayant donc une surface de contact élevée. Enfin, ce sont des revêtements appelés à subir des sollicitations directes d'origines diverses : piétons, véhicules à deux roues, patins à roulettes, voitures, bus, poids lourds, etc.

Compte tenu de ces particularités, les revêtements en béton coulé en place sont le siège de sollicitations diverses qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur la qualité de l'ouvrage et contre lesquelles il serait judicieux d'appliquer des dispositions constructives adéquates. Dans ce cahier technique, on va exposer chronologiquement les différentes sollicitations que peut subir un revêtement en béton et on va proposer les règles de l'art à observer pour minimiser les impacts de ces sollicitations. Pour y parvenir, on va suivre le plan suivant :

Sommaire

1 • Introduction	Page 2
2 • Définition	Page 2
3 • Les sollicitations	Page 2
4 • Les sollicitations propres au béton	Page 2
4.1 / Les sollicitations du béton frais	Page 3
4.1.1 / Le retrait hygrométrique	Page 3
4.1.2 / Le retrait d'hydratation et le retrait thermique	Page 3
4.2 / Les sollicitations du béton durci	Page 4
4.2.1 / Le retrait thermique et hygrométrique	Page 4
4.2.2 / La dilatation thermique	Page 5
4.2.3 / Le gradient de température	Page 5
5 • Les sollicitations dues au trafic	Page 5
5.1 / Les sollicitations structurelles	Page 6
5.2 / Les sollicitations superficielles	Page 6
6 • Les sollicitations particulières	Page 7
6.1 / Le gel	Page 7
6.2 / Les sels de déverglaçage	Page 7
7 • Les règles de l'art et la formulation du béton	Page 7
7.1 / Les joints	Page 7
7.2 / Les différents types de joints	Page 7
7.2.1 / Joints transversaux	Page 8
7.2.2 / Les joints longitudinaux	Page 8
7.2.3 / Les joints de dilatation	Page 8
7.2.4 / Disposition des joints	Page 8
7.3 / Formulation du béton	Page 9

Annexe A : Note de calcul des joints de dilatation



- (1) CIMbéton - Centre d'information sur le ciment et ses applications
<https://www.infociments.fr/route>
- (2) SPECBEA - Spécialistes de la chaussée en béton et des aménagements
<https://www.specbea.com>
- (3) SNBPE - Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi
<https://www.snbpe.org>
- (4) CEREMA (SETRA/LCPC) - Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
<https://www.cerema.fr>
- (5) IDRRIM - Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité
<https://www.idrrim.com>



▲ Figure 1. Coupe en travers-type d'une structure de voirie ou d'un aménagement urbain en béton.

1 • Introduction

Ce mémo technique n'a pas pour objet de proposer un exposé exhaustif sur les voiries et les aménagements urbains en béton. En effet, il existe de nombreux ouvrages dans la « Collection technique Cimbéton »⁽¹⁾, dans les publications du SPECBEA⁽²⁾ ou du SNBPE⁽³⁾ ou du CEREMA (SETRA/LCPC)⁽⁴⁾ ou de l'IDRRIM⁽⁵⁾ qui traitent ce sujet d'une façon complète et approfondie et auxquels les différents acteurs des projets de voiries et d'aménagements urbains en béton peuvent faire appel.

S'adressant plus particulièrement aux concepteurs (Architectes, Urbanistes, Paysagistes, Bureaux d'études publics et privés), ce chapitre met l'accent sur les principes fondamentaux, les exigences et les règles de l'art pour concevoir correctement un projet de voiries ou d'aménagements urbains en béton, tout en soulignant les particularités des bétons utilisés dans ces ouvrages par rapport aux bétons de structure.

Ce cahier technique présente les bétons coulés en place. Ils seront successivement abordés les points suivants :

- > La définition des bétons coulés en place ;
- > Les sollicitations auxquels ils sont soumis ;
- > Les règles de l'art pour concevoir correctement les ouvrages de voiries et d'aménagements urbains en béton.

2 • Définition

Ce sont des bétons fabriqués en centrale et transportés sur le chantier à l'état plastique. Là, ils sont coulés entre les coffrages, soit directement sur une plate-forme support préalablement nivelée et compactée, soit sur une couche de fondation (cas des voiries à moyen et fort trafics).

Cette plasticité et cette moulabilité confèrent au béton une caractéristique très appréciée en milieu urbain : la possibilité d'épouser toutes les formes requises et de s'accommoder des contraintes de seuils tout en ayant une qualité de finition irréprochable.

Le schéma ci-contre présente la constitution type d'une structure de voirie et d'aménagement urbain en béton tout en précisant la terminologie utilisée.

3 • Les sollicitations

Comparés à un béton traditionnel utilisé dans la structure d'un bâtiment, les bétons de voiries et d'aménagements urbains possèdent les particularités suivantes :

- > Ce sont des bétons « d'extérieur », particulièrement exposés aux agressions des agents atmosphériques, telles les variations de la température, le gel, la pluie, le vent, etc. Cela est vrai, tant pour le béton frais que pour le béton durci.
- > Ce sont des revêtements posés à plat sur une plate-forme support préalablement nivelée et compactée. Ces conditions d'appui, quelque peu particulières, ont une incidence significative sur la conception et le dimensionnement du revêtement.
- > Enfin, ce sont des revêtements appelés à subir des sollicitations directes d'origines diverses : piétons, véhicules à deux roues, patins à roulettes, voitures, bus, poids lourds, etc. Ces sollicitations peuvent être extrêmement agressives, aussi bien sur le plan structurel que sur celui des caractéristiques superficielles.

Compte tenu de ces particularités, les revêtements en béton coulé en place sont le siège de sollicitations qui peuvent être classées en trois catégories :

- > Les sollicitations propres au béton, indépendantes du trafic ;
- > Les sollicitations dues au trafic ;
- > Les sollicitations particulières.

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.

ENCART 1

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. Des règles de l'art doivent être appliquées pour réduire le retrait d'hydratation et le retrait thermique (*cf. encart 2*).



ENCART 2

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 une note de calcul (cf. *note de calcul des joints de dilatation - Annexe A*). 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 traction 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.

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.

6.2 / Les sels de déverglaçage

Les sollicitations provoquées par l'utilisation des sels de déverglaçage sont très complexes. En effet, la fonte 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.

7 • Les règles de l'art et la formulation du béton

Dans ce qui précède, il a été longuement question des sollicitations subies par le béton des voiries et aménagements urbains. Pour faire face à ces sollicitations, les revêtements en béton nécessitent :

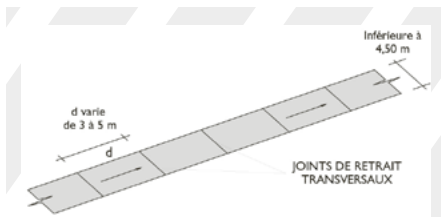
- > des règles de l'art spécifiques en matière de conception, c'est-à-dire les joints ;
- > une formulation de béton adaptée ;
- > des moyens de mise en œuvre et des dispositions constructives adéquates.

7.1 / Les joints

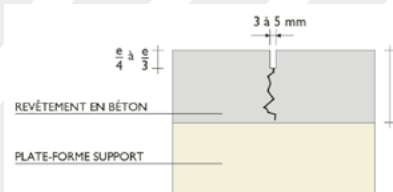
Les joints ont pour but de localiser la fissuration du béton (phénomène inévitable en raison de sa nature et des variations climatiques journalières ou saisonnières) de manière précise et déterminée à l'avance. En fait, une voirie en béton se présente comme une succession de dalles séparées par des joints. La réalisation correcte de ces derniers est donc une condition essentielle à la pérennité de la voirie.

7.2 / Les différents types de joints

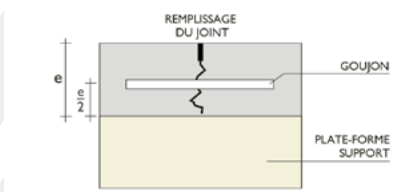
On distingue trois grandes familles de joints : les joints transversaux, les joints longitudinaux et les joints de dilatation.



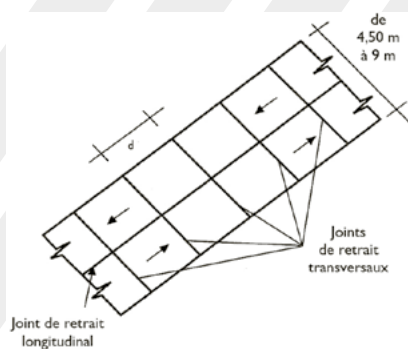
▲ Figure 2. Schéma de jointement pour une voirie à une voie de circulation.



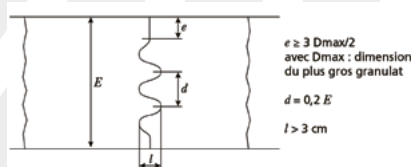
▲ Figure 3. Schéma d'un joint de retrait-flexion.



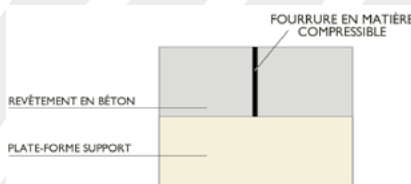
▲ Figure 4. Schéma d'un joint de retrait goujonné.



▲ Figure 5. Disposition des joints de retrait-flexion transversaux et longitudinaux.



▲ Figure 6. Schéma d'un joint longitudinal de construction (clé de type sinusoïdal).



▲ Figure 7. Schéma d'un joint de dilatation.

7.2.1 / Joints transversaux

Ils sont perpendiculaires à l'axe de la route (cf. figure 2) et sont classés en trois catégories :

- > les joints de retrait-flexion ;
- > les joints de retrait-flexion goujonnés ;
- > les joints de construction.

Le rôle des joints de retrait-flexion est de réduire les sollicitations dues au retrait et au gradient de température. Ils sont réalisés en créant, sur la partie supérieure du revêtement, une saignée ou une entaille qui matérialise un plan de faiblesse, selon lequel le béton est amené à se fissurer sous l'action des contraintes de traction ou de flexion. Ces joints doivent avoir une profondeur comprise entre un quart et un tiers de l'épaisseur du revêtement et une largeur comprise entre 3 et 5 mm (cf. figure 3).

L'espacement optimal des joints dépend du retrait du béton, des caractéristiques de friction de l'infrastructure et de l'épaisseur du revêtement. Le transfert de charges au droit des joints est d'autant mieux assuré que leur espacement est réduit. Toutefois, l'expérience et la pratique ont permis d'établir une corrélation directe entre l'espacement des joints et l'épaisseur du revêtement. L'espacement recommandé est de l'ordre de 25 fois l'épaisseur du revêtement.

Les goujons ont pour rôle d'améliorer le transfert des charges au droit des joints de retrait-flexion. Ils sont utilisés pour les routes à fort trafic. De diamètre compris entre 20 et 30 mm, ils sont installés à mi-hauteur de la dalle, dans le sens longitudinal, et espacés de 0,30 m (cf. figure 4).

Les joints de construction sont réalisés après chaque arrêt de bétonnage supérieur à une heure. La dalle est retaillée à 90 ° pour obtenir un bord franc et solidarisée avec la coulée de béton suivante à l'aide de goujons d'un diamètre de 20 à 30 mm, placés à mi-hauteur, dans le sens longitudinal, et espacés de 0,30 m. Dans le cas où un revêtement est mis en œuvre en plusieurs bandes, un joint de construction doit correspondre obligatoirement à un joint de retrait-flexion dans la bande adjacente.

7.2.2 / Les joints longitudinaux

Ces joints sont parallèles à l'axe de la voirie. Ils ne sont nécessaires que si la largeur du revêtement est supérieure à 4,50 m. Ils sont classés en deux catégories :

- > Les joints longitudinaux de retrait-flexion servent principalement à compenser les contraintes provoquées par le gradient thermique. Ils sont réalisés en créant, dans le revêtement coulé en pleine largeur, une saignée ou une entaille longitudinale, dont les caractéristiques sont similaires à celles des joints de retrait-flexion transversaux (cf. figure 5).
- > Les joints longitudinaux de construction sont réalisés quand le revêtement est mis en œuvre en plusieurs bandes. Il est recommandé de solidariser les deux bandes adjacentes du revêtement, soit en façonnant une clé constituée de formes conjuguées, soit en utilisant des fers de liaison transversaux pour maintenir l'alignement vertical des bandes adjacentes et maîtriser l'ouverture du joint (cf. figure 6).

7.2.3 / Les joints de dilatation

Le rôle des joints de dilatation est de compenser les variations dimensionnelles des dalles, dues essentiellement à l'élévation de la température. Ils sont requis dans le cas d'un bétonnage hivernal (cf. « Note de calcul des joints de dilatation » - Annexe A) et dans certains cas particuliers pour séparer complètement la dalle des équipements fixes, comme les regards, les socles de lampadaires, les bâtiments, les approches d'ouvrages d'art, les virages à faible rayon de courbure, etc. Ils constituent une interruption totale du revêtement sur toute son épaisseur. La saignée est remplie d'une fourrure en matière compressible, dont l'épaisseur est comprise entre 10 et 20 mm (cf. figure 7). Un soin particulier doit être accordé à la réalisation de ces joints.

7.2.4 / Disposition des joints

Pour concevoir un schéma de jointoiment, on tiendra compte de certaines règles pratiques, qui sont détaillées ci-après.

- > Les joints de retrait-flexion découpent le revêtement en dalles. Il est préférable de donner à ces dalles une forme carrée ou rectangulaire avec un rapport dimensionnel maximal de 1,5 à 1.
- > Des formes autres que carrées ou rectangulaires sont cependant permises pour adapter le revêtement aux besoins du tracé, à la géométrie de la voirie. Ces formes sont telles qu'elles ne comportent pas d'angle aigu.
- > Des joints de dilatation doivent être exécutés pour isoler le revêtement de certains équipements fixes, comme les regards, les socles de lampadaires, etc.



7.3 / Formulation du béton

Les bétons destinés aux aménagements urbains se composent, en principe, de granulats (sable, gravillons), de ciment, d'eau et d'adjuvants. Ils doivent être formulés en vue de posséder trois particularités.

- > Des résistances mécaniques élevées permettant au revêtement de subir, sans dégradation, les sollicitations mécaniques répétées, provoquées par les usagers, ainsi que les sollicitations dues aux gradients thermiques. Compte tenu du mode de fonctionnement des revêtements urbains, les bétons sont caractérisés par la résistance à la traction par flexion. En pratique, l'essai de traction par fendage (norme NF EN 12390-6) est utilisé pour caractériser le béton destiné aux couches de roulement, et l'essai de compression (norme NF EN 12390-3) pour le béton réservé aux couches de fondation. La norme NF P 98-170 « Chaussées en béton. Exécution et contrôle » prévoit six classes de résistance.
- > Une teneur en air occlus permettant au béton de résister aux effets du gel et des sels de déverglaçage. Elle est requise pour tous les bétons routiers et mesurée conformément à la norme NF EN 12350-7. La teneur en air occlus jugée nécessaire pour un béton routier doit être comprise entre 4 et 6 %. Au-dessus de 6 %, la résistance du béton baisse de manière importante. En dessous de 4 %, le béton n'est pas suffisamment protégé. L'air occlus est obtenu grâce à l'adjonction d'un adjuvant entraîneur d'air.
- > Une consistance du béton permettant d'obtenir un bon surfaçage du revêtement, c'est-à-dire uni. La consistance du béton est l'une des propriétés requises pour sa mise en place ; le choix est généralement du ressort de l'entreprise exécutant les travaux. Elle est mesurée par l'essai d'affaissement au cône d'Abrams (norme NF P 18-451). C'est la consistance au moment de la mise en œuvre qui doit être prise en considération. On vise, en général, des consistances inférieures à 5 cm, lorsque la mise en œuvre se fait à l'aide d'une machine à coffrages glissants. ■

ANNEXE A

Note de calcul des joints de dilatation

A.1 • Généralités

Afin de déterminer le dimensionnement des joints de dilatation, il est nécessaire de prendre en compte deux phénomènes principaux :

- > Le retrait endogène ou intrinsèque du béton
- > La variation dimensionnelle du béton sous l'effet des variations de température.

A.1.1/ Le retrait endogène du béton au jeune âge

Ce phénomène est lié à la prise et à l'hydratation du ciment. Il entraîne une contraction du béton sur lui-même, et ce indépendamment de la température ambiante. Selon la formulation du béton, ce retrait est évalué entre 0.04% et 0.05 % (par rapport à la longueur de la dalle en béton).

Ainsi, pour une dalle en béton de 100 m de long, ce retrait est donc compris entre :

$$0.04 \% \times 100 \text{ m} = 0.04 \text{ m, soit } 4 \text{ cm}$$

Et

$$0.05\% \times 100 \text{ m} = 0.05 \text{ m, soit } 5 \text{ cm.}$$

Ce qui peut être traduit selon la formule générale (1) :

$$\Delta L_1 = L Re \quad (1)$$

ΔL_1 La variation de longueur de la dalle liée au retrait endogène du béton au jeune âge. Elle est toujours négative.

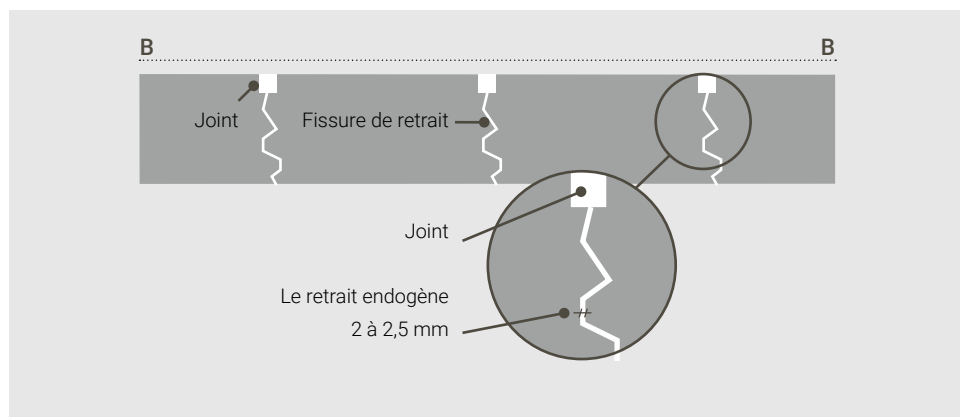
L Longueur de construction de la chaussée.

Re Pourcentage de retrait endogène (compris entre 0,04 % et 0,05%).

Ce retrait se traduit par une fissuration anarchique, relativement régulière du béton. Afin de maîtriser cette fissuration anarchique, on réalise, au jeune âge, une amorce de fissuration ou joint par sciage du revêtement sur 1/4 à 1/3 de l'épaisseur du revêtement. Cette amorce de fissure est réalisée suivant un pas donné (en général tous les 5 m pour une dalle de 20 cm d'épaisseur).

Ainsi le retrait (endogène) de la chaussée est réparti entre les différents joints (cf. figure A1).

Pour une dalle de 5 mètres, le retrait endogène - donc l'ouverture de la fissure - sera compris entre 2 et 2,5 mm et est indépendant de la température.



▲ Figure A1. Dalle de béton : représentation schématique du retrait endogène.

A.1.2/ La variation dimensionnelle du béton sous l'effet des variations de température

Le béton connaît des variations de longueur sous l'effet des variations de sa température.

La variation de longueur ΔL_2 d'une bande de béton, selon la variation de température, est donnée par la formule (2) :

$$\Delta L_2 = L \cdot \alpha \cdot \Delta \theta \quad (2)$$

ΔL_2 La variation de longueur de la dalle liée à la dilatation ou la contraction du béton sous l'effet des variations de température. Elle peut être positive ou négative.

L Longueur de construction de la dalle.

α Coefficient de dilatation thermique du béton, constant et égal à 10^{-5} .

$\Delta \theta$ variation de température du béton.

La variation de température $\Delta \theta$ doit être prise comme la différence entre la température du béton la plus extrême (la plus élevée ou la plus basse) et la température du béton au moment du bétonnage, donc à sa mise en œuvre.

ΔL_2 peut être positive si $\Delta \theta$ est positive (température extrême observée supérieure à la température de bétonnage)

ΔL_2 peut être négative si $\Delta \theta$ est négative (température extrême observée inférieure à la température de bétonnage).

A.2 • Dimensionnement des joints de dilatation

Ainsi, la variation de longueur de la dalle béton est la résultante des deux formules (1) et (2). Ceci donne la relation (3).

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (3)$$

ΔL La variation de longueur totale.

Il est à noter que :

> chaque dalle de 5 mètres de longueur fonctionne séparément.

> le retrait endogène est réparti au niveau de chacun des joints de retrait. Il en est de même pour la contraction ou la dilatation thermique. Dans le cas d'une contraction thermique, ΔL_2 est négative et comme ΔL_1 est toujours négative, il s'ensuit que ΔL est négative. Les joints de retrait-flexion sont donc ouverts. En revanche, dans le cas d'une dilatation thermique, ΔL_2 est positive, et comme ΔL_1 est toujours négative il s'ensuit que le signe de ΔL dépend des valeurs relatives de ΔL_1 et ΔL_2 (cf. figure A2) :

- $\Delta L_2 < \Delta L_1$ La dilatation thermique est inférieure au retrait endogène, les joints restent ouverts et il n'y a pas besoin de joints de dilatation.
- $\Delta L_2 = \Delta L_1$ La dilatation thermique est égale au retrait endogène, chacun des joints de retrait se retrouve alors fermé. Il n'y a pas besoin dans ce cas de réaliser des joints de dilatation.
- $\Delta L_2 > \Delta L_1$ La dilatation thermique excède le retrait endogène, on assiste à un déplacement des extrémités de la chaussée. D'où la nécessité d'installer des joints de dilatation pour reprendre cette variation de longueur. Le dimensionnement du joint de dilatation E_j se calcule selon la formule (4) :

$$E_j = \Delta L \times 1/\Delta m \quad (4)$$

E_j Largeur totale des joints de dilatation.

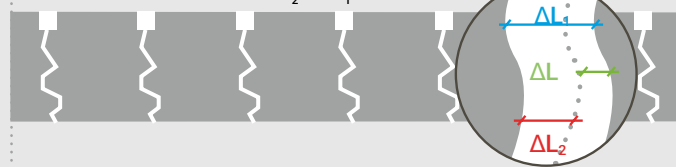
Δm Taux de compressibilité du mastic de joint de dilatation.

1. RETRAIT ENDOGÈNE

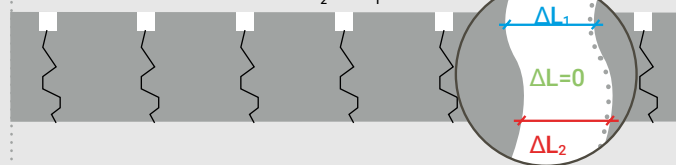


- > Fissuration répartie
- > Ouverture des joints de 2 à 2,5 mm

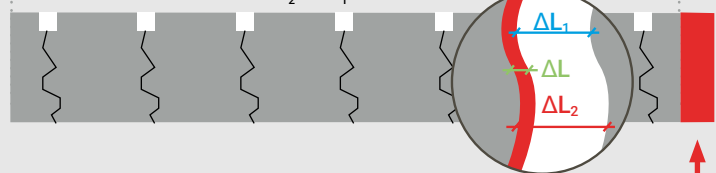
2. DILATATION FAIBLE : $\Delta L_2 < \Delta L_1$



3. DILATATION MODÉRÉE : $\Delta L_2 = \Delta L_1$



4. DILATATION FORTE : $\Delta L_2 > \Delta L_1$



▲ Figure A2. Dalle de béton : représentation schématique du cumul du retrait endogène et de la dilatation thermique.

Excès de dilatation : se cumule en fin de dalle

EXEMPLE

- Longueur de la Dalle de béton : 100 m
- Espacement joint de retrait : 5 m
- Température de bétonnage : 10°C
- Température extrême observée au niveau d'un revêtement sur la région : 65°C
- Retrait endogène du béton : - 0,04%
- Coefficient de dilatation thermique du béton $\alpha = 10^{-5}$
- Δm : 25 %

CALCUL

$$\Delta L_1 = L \text{ Re} = 100 \times (-0,04\%) = -0,04 \text{ m}$$

soit - 4 cm

$$\Delta L_2 = L \cdot \alpha \cdot \Delta \theta = 100 \times 10^{-5} \times (65 - 10)$$

$$= 55 \times 10^{-3} = 0,055 \text{ m soit } 5,5 \text{ cm}$$

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = -4 + 5,5 = 1,5 \text{ cm}$$

$$E_j = \Delta L \times 1/\Delta m = 1,5 \times 1/0,25 = 6 \text{ cm}$$

Il faut donc réaliser 3 joints de dilatation de largeur 2 cm chacun pour encaisser la dilatation du béton selon les hypothèses retenues dans l'exemple.