

LE BÉTON ARMÉ CONTINU (BAC)

Dès que l'on a commencé à construire des autoroutes, le béton de ciment a été utilisé en France. Ainsi quelques tronçons ont déjà été réalisés entre 1939 et 1960.

Mais la véritable construction de routes en béton a commencé dans les années soixante.

La chaussée était alors exécutée suivant la technique dite « californienne », qui prévoyait la réalisation de dalles en béton de 25 cm d'épaisseur, posées sur une fondation en grave traitée aux liants hydrauliques de 15 cm d'épaisseur. Des joints de retrait transversaux étaient prévus tous les 5 mètres environ sans dispositifs de transfert de charges.

Cette technique – maintenant dépassée – résistait mal à un trafic de plus en plus intense et lourd et à la présence d'eau au contact dalle-fondation. Elle aboutissait à plus ou moins brève échéance à certains défauts caractérisés qui ont conféré parfois une mauvaise réputation à ce type de chaussée. Ainsi on pouvait constater en particulier : des phénomènes de battement de dalles, de pompage de l'eau aux joints, la fissuration des dalles, etc.

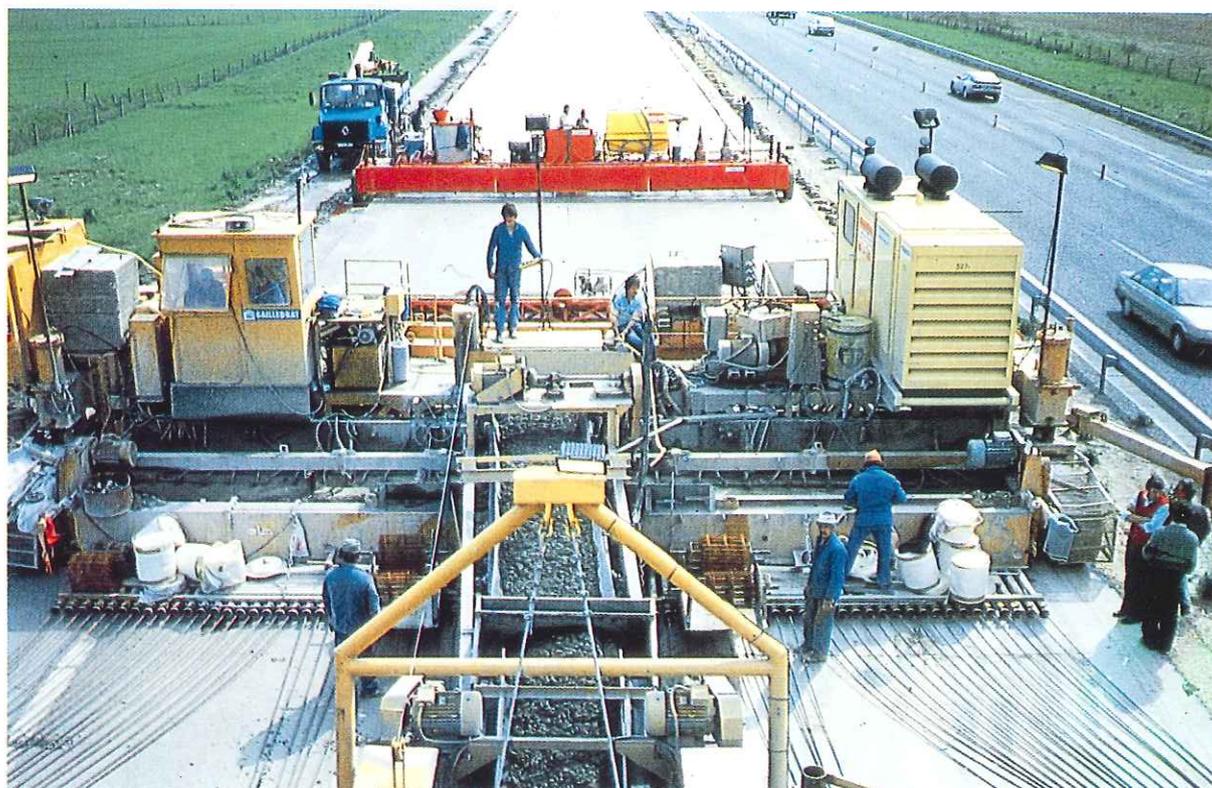
La conception de chaussées en béton a donc dû évoluer au fil des années. En France, un certain

nombre de circonstances se sont ajoutées aux nécessités techniques. On peut citer :

- les règles imposées en matière d'économies et plus particulièrement d'économies de produits pétroliers (circulaire DRCR-FEVE/1974 et 1980),
- les études du comportement et de l'évolution des expérimentations sur les dalles californiennes associées à des dispositions constructives strictes (non érodabilité de la fondation, drainage efficace, surlargeur, etc.),
- la recherche d'économies globales des projets,
- le souci permanent de mettre à la disposition de l'usager des structures confortables et sûres,
- la compétition entre les structures en béton et en bitume.

Tous ces facteurs ont permis de mettre en application sur les chantiers de nouvelles techniques et notamment – dans les dernières années – les structures de chaussées en Béton Armé Continu dit : « BAC ».

Aujourd'hui, bien que le BAC ne figure au catalogue des structures de chaussées du SETRA que depuis avril 1988, on peut considérer que – compte tenu de l'expérience de plusieurs pays, notamment la Belgique et les États-Unis et du nombre de chantiers déjà réalisés en France – cette technique bien maîtrisée est devenue conventionnelle.



QU'EST-CE QUE LE BAC ?

Un revêtement en béton de ciment exécuté sans joints ou sans armatures se fissure d'une façon anarchique sous l'action des contraintes provoquées par le retrait, les variations hygrothermiques, le gradient de température, les mouvements du sol et le trafic (voir figure 1). Une des méthodes, destinées à contrôler cette fissuration, consiste à utiliser une armature longitudinale, continue, placée à un certain niveau au sein du revêtement en béton (figure 2). Cette technique porte le nom de « Béton Armé Continu » ou BAC.

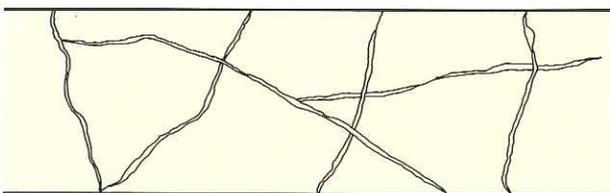


Figure 1. – Schéma du comportement des revêtements en béton exécutés sans joints et sans armatures. Fissuration aléatoire, anarchique et grossière.

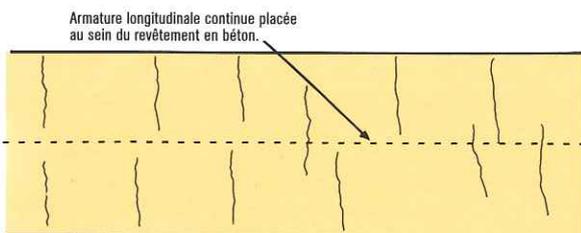


Figure 2. – Schéma du comportement des revêtements en béton exécutés sans joints mais armés longitudinalement par une armature continue. Fissuration contrôlée et fine.

- Réfection en BAC d'une voie lourde.
- Renforcement en BAC, en pleine largeur.
- Construction en BAC d'une autoroute neuve.



AVANTAGES DU BAC

Cette technique présente de nombreux avantages :

- Absence de joints transversaux dans le revêtement à l'exception toutefois des joints aux approches de certains ouvrages d'art.
- Excellente résistance à la fatigue due à ses matériaux constitutifs (acier et béton), ce qui lui confère une grande durabilité.
- Grande rigidité, qui le rend peu sensible aux caractéristiques de portance du sol support.
- Réduction considérable des coûts d'entretien grâce à l'absence de joints transversaux.
- Amélioration du confort des usagers par la qualité des caractéristiques de surface, et aussi par la quasi-absence de travaux d'entretien.
- Il faut ajouter que ce type de revêtement étant moins épais que celui en béton non armé, il est particulièrement économique et donc très compétitif.

SES DOMAINES D'EMPLOI

Le BAC est généralement utilisé pour la construction d'autoroutes ou de routes à fort trafic, ou pour le renforcement et la réfection d'anciennes chaussées déformées.

En France, depuis 1983, il a été utilisé :

- En renforcement de chaussées anciennes en béton de ciment à deux voies ou trois voies avec ou sans élargissement, après fracturation préalable des dalles. Pour des trafics très élevés (2 000 à 3 000 poids lourd/jour/sens), l'épaisseur du BAC est de l'ordre de 20 cm. Depuis 1983, environ 300 km de voies d'autoroutes ont été renforcés avec le BAC, et environ 60 km de voies élargies en BAC.
- En réfection de voie lente d'anciennes chaussées en béton avec ou sans conservation de la fondation en grave traitée existante. Un reprofilage à l'enrobé est pratiqué sur la fondation dans les deux cas. Depuis 1983, environ 160 km de voie lente d'autoroutes ont été reconstruites avec la BAC.
- En chaussée neuve, la structure comporte, en général, une couche de sable traitée au ciment de 35 cm, un enrobé de 5 cm destiné à limiter le risque d'érosion du sable, et une dalle de BAC de 19 cm pour un trafic de 500 poids lourds/jour/sens. Depuis 1983, environ 50 km d'autoroutes neuves ont été construites avec le BAC.



LA CONCEPTION

Le Béton Armé Continu « BAC » est un revêtement de chaussée en béton de ciment qui comporte des armatures longitudinales, continues et disposées en nappe, en général à mi-épaisseur de la dalle.

Il est caractérisé par l'absence de joints de retrait transversaux. Ne subsistent donc que les joints longitudinaux, les joints de construction et les joints de dilatation aux approches des ouvrages d'art.

La philosophie à la base de cette technique est de laisser le revêtement se fissurer. Mais, l'armature longitudinale est prévue pour contrôler cette fissuration et pour conserver l'intégrité structurelle du revêtement. La quantité d'armature est calculée de manière à obtenir un grand nombre de fissures réparties régulièrement (tous les 1 à 3 mètres) et suffisamment fines (0,4 à 0,5 mm au maximum) pour empêcher la pénétration de l'eau et pour garantir une bonne imbrication des granulats du béton assurant ainsi un bon transfert de charges au droit de ces fissures.

En France, la technique du BAC a évolué vers les pratiques suivantes :

- Utilisation d'un pourcentage minimal d'armatures longitudinales, placées à mi-hauteur de la dalle. Ce pourcentage, évalué par rapport à la section transversale de la dalle béton, est de 0,67 % pour les aciers Haute Adhérence de type FEE 500 et de 0,30 % pour les rubans crantés à haute limite élastique de type FE 90.
- Quand on utilise des armatures transversales (ou distanciers) pour maintenir les armatures longitudinales dans leur bonne position (hauteur et écartement) pendant les opérations de bétonnage, celles-ci sont placées perpendiculairement à l'axe de la route.
- Confection d'un joint longitudinal lorsque la largeur du revêtement dépasse 4 mètres.
- Confection d'un joint de construction en fin de journée ou pour tout arrêt de bétonnage supérieur à 2 heures. Le procédé utilisé consiste à mettre en œuvre, sur toute la largeur du revêtement, un béton contenant un retardateur de prise qui l'empêche de faire prise avant un certain délai. Celui-ci est prévu de telle façon que, lors de la reprise du bétonnage, aucune discontinuité ne sera décelée.
- Réalisation d'une culée d'ancrage à l'approche des ouvrages d'art afin d'absorber les poussées que peut exercer un revêtement en BAC suite à des mouvements de dilatation.

Dispositions constructives

La réalisation d'une chaussée en BAC dans de bonnes conditions et son bon fonctionnement dans le temps nécessitent de respecter les règles de l'art en prenant certaines dispositions constructives qui touchent essentiellement à l'assainissement, au drainage et aux choix des matériaux constituant la chaussée.

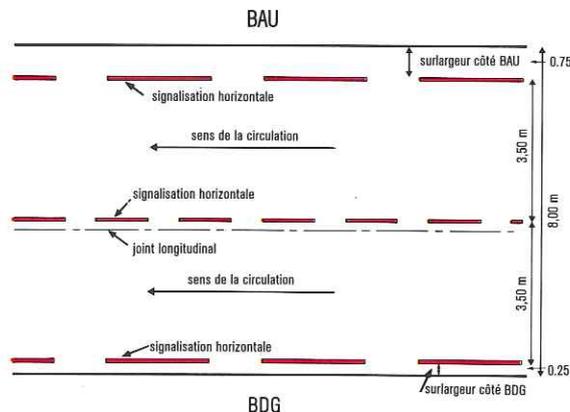
Le choix de ces dispositions constructives est fonction notamment de l'importance du trafic poids lourds et des conditions climatiques. Il est basé sur les mêmes critères qui ont servi à établir les dispositions constructives des revêtements discontinus en dalles béton de ciment. Il s'agit, en l'occurrence, de :

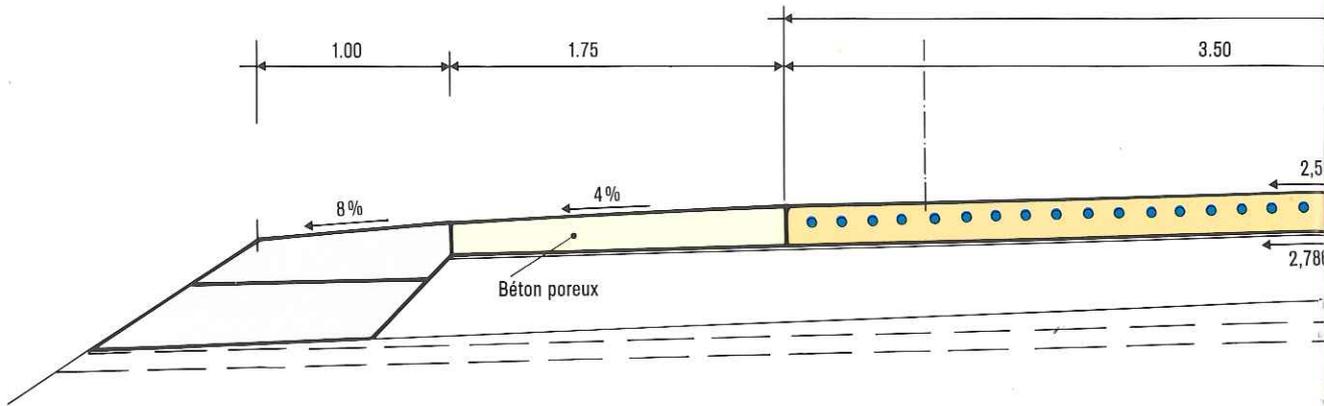
- la surlargeur non circulée,
- le drainage efficace de l'interface dalle-couche de fondation, BAU,
- l'utilisation en fondation ou à l'interface couche de forme/dalle BAC, d'un matériau non érodable.

La surlargeur non circulée, vue en plan d'une chaussée en BAC

Le revêtement en BAC, comme la technique des revêtements en dalles béton discontinues, est sensiblement plus large que les voies de circulation. Il est bordé d'une partie non circulée : la surlargeur, dont la dimension dépend du trafic. Elle améliore sensiblement le comportement du revêtement dans les zones sensibles : bord du revêtement côté BAU et côté BDG (voir croquis).

La surlargeur du BAC, côté voie lourde, comptée à partir du bord de la voie, est de 75 cm pour un trafic T₀ ; 50 cm pour un trafic T₁ et T₂ ; 25 cm pour un trafic T₃.





**Matériaux d'appui non érodables ;
coupe transversale type
d'une chaussée en BAC**

Le revêtement en BAC constitue à la fois les couches de base et de roulement que l'on rencontre dans les autres structures.

Il repose par l'intermédiaire d'une fondation sur une couche de forme.

Le comportement d'une chaussée en BAC sera conditionné par les effets de l'eau pouvant s'accumuler entre la dalle béton et la fondation. Cette eau risque de provoquer une érosion à l'interface fondation-dalle pouvant entraîner la formation de cavités sous le revêtement. Ce qui peut provoquer une usure prématurée du revêtement en BAC. De ce fait, l'érodabilité des matériaux de couche de fondation et de bande d'arrêt d'urgence (BAU) est une propriété essentielle qui doit être prise en compte dans la conception.

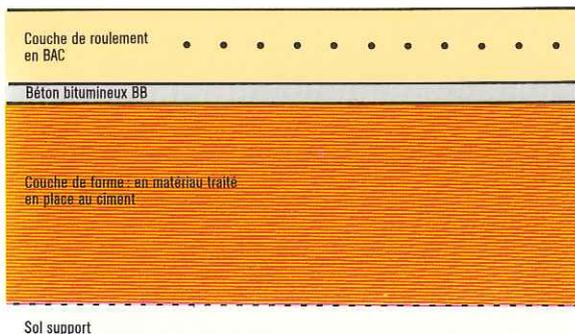
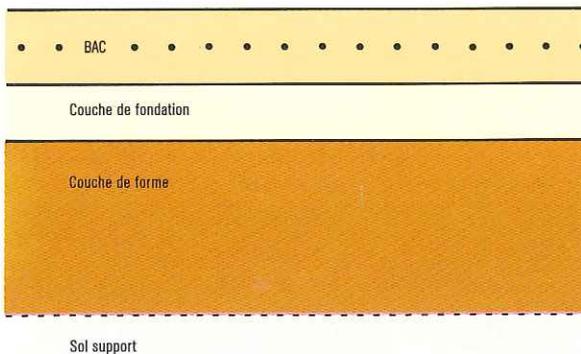
Pour lutter contre l'érosion de la surface de la fondation, il faut procéder à un choix judicieux des matériaux en fonction de la catégorie du trafic. A cet égard, la fondation est généralement en Béton Maigre (BM) pour les trafics intenses « T₀ ».

Elle peut être constituée par une couche de grave traitée au ciment ou de sable traité au ciment si le trafic est inférieur à « T₀ ».

Cette couche de fondation peut être supprimée si on intègre la couche de forme à la chaussée. Dans ce cas, une couche de béton bitumineux sera interposée entre la couche de roulement (en BAC) et la couche de forme (en matériau traité en place au ciment) pour protéger cette dernière contre les phénomènes d'érodabilité (voir croquis).

Drainage de la chaussée en BAC

Les chaussées en BAC sont particulièrement sensibles à la présence d'eaux internes. Aussi, des dispositions spécifiques pour assurer un bon drainage sont nécessaires. La solution la plus couramment utilisée est celle d'un dispositif d'assainissement en béton poreux (voir croquis profil en travers type). Les eaux qui auront pu s'infiltrer dans la chaussée et circuler à l'interface dalle-fondation sont captées dans un massif de béton poreux qui borde longitudinalement le revêtement. Il s'agit d'une solution efficace et économique.



**DIMENSIONNEMENT
DES CHAUSSÉES EN BAC**

Le dimensionnement des chaussées en BAC consiste à déterminer les épaisseurs du revêtement et des couches de fondation (ou des couches de forme dans le cas d'une couche de forme intégrée à la chaussée).

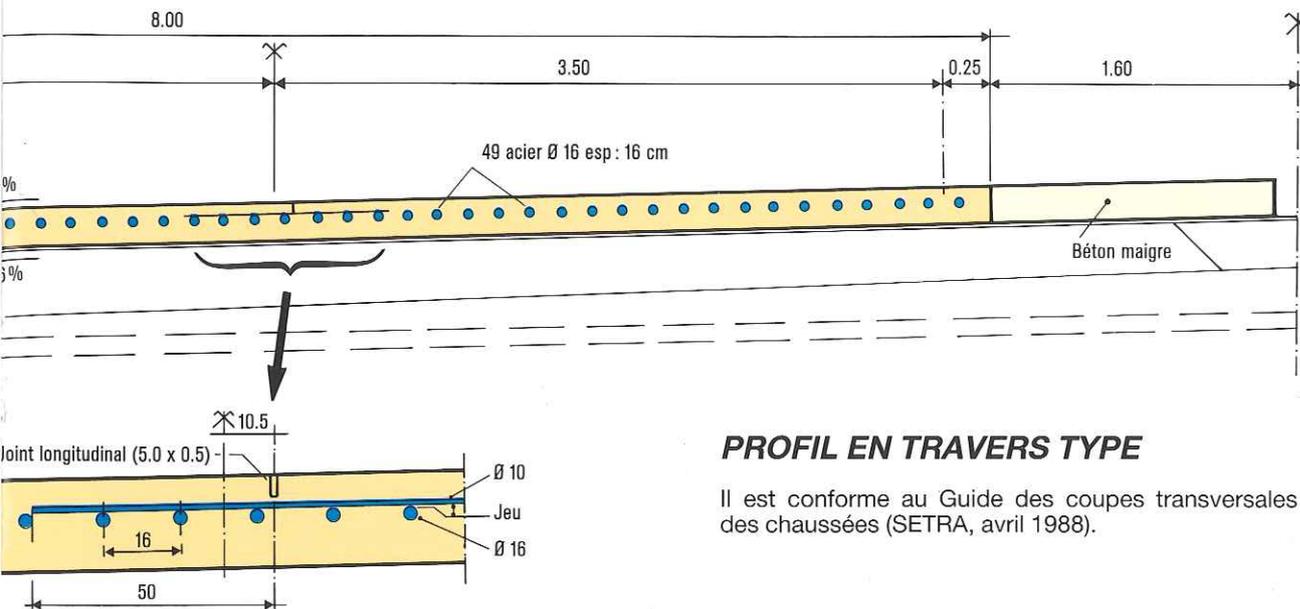
Les méthodes de dimensionnement tiennent compte du trafic, de la portance de l'assise et des caractéristiques du béton.

En fonction du trafic et de la portance de l'assise, les chaussées en BAC sont relativement peu sensibles, les épaisseurs varient donc peu en fonction de ces paramètres.

Par contre, ces structures sont sensibles au poids des essieux qui composent le trafic ; toute augmentation du poids maximal à l'essieu est beaucoup plus dangereuse qu'une augmentation, même importante, du trafic.

Le catalogue 1988 des structures types de chaussées neuves (SETRA) donnent les épaisseurs des différentes couches pour les chaussées en BAC (voir tableau) en fonction du trafic T et du module élastique EV 2 de la plate-forme support de la chaussée.

D'autre part, les bétons routiers (BAC et BM) doivent répondre aux exigences du Fascicule 28 du CCTG et de la Directive pour la réalisation des chaussées en béton de ciment de mai 1978. Les caractéristiques du béton se résument ainsi :



PROFIL EN TRAVERS TYPE

Il est conforme au Guide des coupes transversales des chaussées (SETRA, avril 1988).

- résistance en traction/flexion de 4,5 MPA à 28 jours,
- teneur en air occlus compris entre 3 et 6 % (qui rend le béton insensible au gel et aux sels de déverglaçage),
- affaissement au cône de l'ordre de 3 à 5 cm,
- dosage en ciment au minimum 330 kg/m³.

chaussée. La coupe transversale est établie conformément aux indications du chapitre F de la notice d'utilisation du Catalogue des structures et au Guide des coupes transversales des chaussées (avril 1988, SETRA).

Tableau

Le tableau présente les structures nominales en centimètres au bord droit de la voie la plus chargée de la

En aucun point, l'épaisseur nominale d'une couche ne doit être inférieure à : 14 cm pour le BAC, 12 cm pour le BM (béton maigre), 15 cm pour le GC et SC (respectivement graves-ciment et sable ciment).

BAC : STRUCTURES TYPES

(Conformes au Catalogue des structures SETRA - avril 1988)

| PLATE-FORME TRAFIC | Couche de roulement: Béton Armé Continu BAC Couche de fondation: Béton Maigre "BM", Grave ou Sable traités au Ciment "GC" ou "SC" | | | Couche de roulement: BAC Couche de forme: Matériau traité en place au ciment "MT" | |
|--------------------------------------|--|---|---|---|--|
| | PF1 Module élastique: EV ₂ < 50 MPa | PF2 Module élastique: 50 ≤ EV ₂ ≤ 120 MPa | PF3 Module élastique: 120 ≤ EV ₂ ≤ 200 MPa | PF1 Module élastique: EV ₂ < 50 MPa | |
| T ₀ 750 à 2000 PL/j | BAC : 22 cm BM : 22 cm | BAC : 22 cm BM : 19 cm | BAC : 22 cm BM : 15 cm | BAC : 22 cm BB : 5 cm MT : 60 cm | |
| T ₁ 300 à 750 PL/j | BAC : 22 cm BM : 18 cm ou GC, SC : 20 cm | BAC : 20 cm BM : 17 cm ou GC : 18 cm ou SC : 20 cm | BAC : 20 cm BM ou GC ou SC : 15 cm | BAC : 22 cm BB : 5 cm MT : 60 cm | |
| T ₂ 150 à 300 PL/j | BAC : 20 cm BM : 19 cm ou GC : 20 cm ou SC : 22 cm | BAC : 18 cm BM ou GC : 18 cm ou SC : 20 cm | BAC : 18 cm BM : 14 cm ou GC ou SC : 15 cm | BAC : 20 cm BB : 5 cm MT : 55 cm | |
| T ₃ 50 à 150 PL/j | BAC : 18 cm BM : 19 cm ou GC : 20 cm ou SC : 22 cm | BAC : 17 cm BM ou GC : 18 cm ou SC : 20 cm | BAC : 16 cm BM : 14 cm ou GC ou SC : 15 cm | BAC : 18 cm BB : 5 cm MT : 55 cm | |

L'ÉVOLUTION DE LA MISE EN ŒUVRE

Le développement de la technique du BAC doit son succès à l'évolution constante du matériel de mise en œuvre et à la mise en œuvre elle-même. Cette évolution a été suscitée par le désir d'optimiser l'utilisation

des matériaux de qualité afin de rendre cette technique de plus en plus compétitive.

La technique du BAC est à l'origine d'un grand nombre d'évolutions se rapportant essentiellement aux armatures, au béton et aux caractéristiques de surface.



1

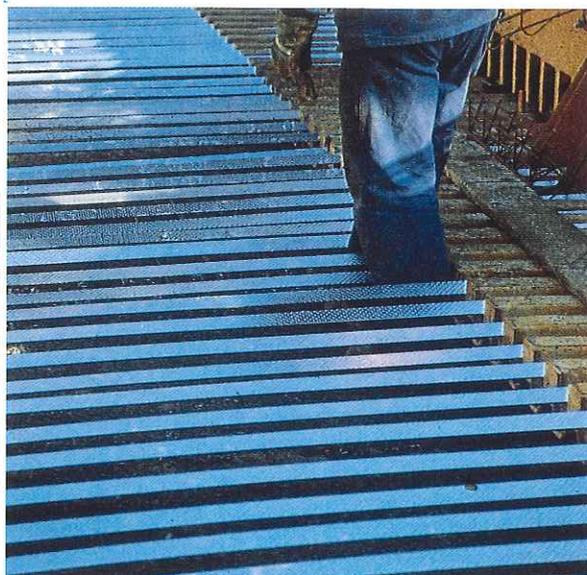


3

Continuité des aciers par recouvrement (assemblage par ligatures ou soudures) (1), manchonnage (2) ou étincelage (3) ou par aciers plats crantés (4).



2



4

Les armatures

Elles sont de deux types :

- Les aciers HA conformes au Fascicule 4, titre 1 du CCTG (par exemple FEE 500), livrés en barres de 18 mètres de longueur et 16 mm de diamètre.

Trois procédés peuvent être utilisés pour assurer la continuité des aciers longitudinaux :

- le recouvrement par ligature (photo),
- le manchonnage (photo),
- le soudage par étincelage (photo).

- Les aciers plats crantés à haute limite élastique de la classe FE 90, livrés en rouleaux de 250 mètres, ayant une largeur de 40 mm et une épaisseur de 2 mm. L'utilisation des aciers FE 90 à haute limite élastique permet de réduire la quantité d'acier mais nécessite un périmètre de contact acier-béton plus important. D'où l'idée d'aciers plats.

L'adhérence est assurée par un crantage réalisé par déformations ponctuelles du ruban.

L'utilisation de rubans en acier crantés permet l'abaissement du taux d'acier, dans la section du BAC ; ce taux est de 0,30 % pour les rubans en aciers crantés contre 0,67 % pour les aciers HA.

Pour la mise en position dans la dalle des armatures longitudinales, on peut, selon le cas, utiliser des distanciers assurant en même temps les fonctions d'armatures transversales, ou supprimer ces distanciers grâce à l'emploi de « trompettes » judicieusement disposées par rapport à la rampe des aiguilles vibrantes de la machine à coffrage glissant. Dans ce cas, la liaison au droit du joint longitudinal est assurée par des « fers de liaison » qui sont introduits à intervalles réguliers dans le bac de vibration de la machine.

Le béton

La mise en œuvre du béton peut se faire de deux façons différentes :

- BAC monocouche : qui consiste à déposer un béton homogène sur toute l'épaisseur de la dalle par l'emploi d'une machine à coffrage glissant.
- BAC bicouche monobloc : qui consiste à déposer, en une seule opération, deux couches de bétons différents. Celui de la couche supérieure a un fort dosage en ciment et des granulats durs de très bonne qualité. Celui de la couche inférieure a un dosage normal en ciment et des granulats locaux beaucoup moins onéreux.

L'originalité du procédé BAC bicouche monobloc, développé par l'entreprise GTM-Entrepose, réside d'une part dans la mise en place automatique des aciers (voir paragraphe les armatures) et, d'autre part, dans la réalisation simultanée de deux couches de béton de formulations différentes. Ceci est rendu possible grâce à la machine à coffrage glissant qui a été conçue par GTM. Cette machine est constituée d'un alimentateur frontal bi-auge et d'une machine à coffrage glissant modifiée à double bac de vibration et équipée d'une lisseuse. Les deux bacs de vibration qui sont alimentés par deux alimentateurs indépendants, permettent la mise en place, avec un décalage d'un mètre mais en une seule passe, des deux bétons de compositions différentes. Il en résulte une structure monolithique qui garantit une rigidité élevée de la chaussée.

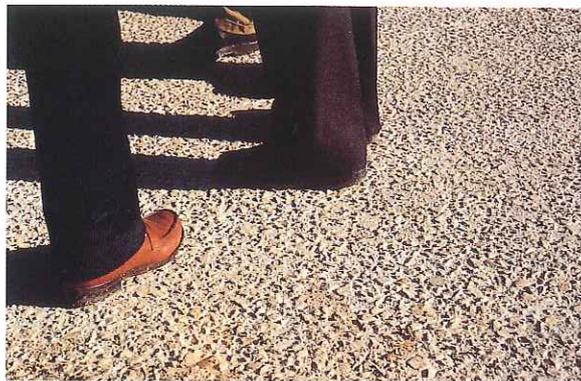
Les caractéristiques de surface

A l'origine, les caractéristiques de surface de la chaussée étaient assurées par un striage superficiel (transversal ou longitudinal), solution bon marché mais rustique et bruyante à vive allure, qui avait en outre l'inconvénient de n'avoir qu'une durée relativement limitée dans le temps.

Aujourd'hui, la solution passe par la technique du « dénudage chimique ». Il s'agit d'éliminer – par voie chimique – le mortier superficiel du revêtement pour laisser apparaître, en surface, une mosaïque de granulats. La microrugosité et la macrorugosité ainsi obtenues facilitent l'évacuation des eaux superficielles éliminant ainsi les aquaplanings et offrent une excellente rugosité de la surface du revêtement permettant ainsi d'obtenir une bonne adhérence des véhicules par tous les temps. Tout ceci est associé à un faible bruit de roulement, ce qui confère au revêtement un excellent confort tant pour les usagers que pour les riverains.

Ce traitement nécessite l'utilisation de granulats de bonne qualité (peu polissables) dans la masse du béton (cas du BAC Monocouche) ou seulement dans la partie supérieure du revêtement (cas du BAC Bicouche Monobloc).

Cette technique de traitement de surface consiste à pulvériser, sur le béton frais, un retardateur de prise à raison de 400 à 500 grammes au mètre carré, puis à couvrir la dalle par un film de polyéthylène, suivi au bout de vingt-quatre heures – après durcissement du béton dans le corps du revêtement – d'un brossage énergique de la surface, à sec ou accompagné d'un arrosage à l'eau. Ce qui permet d'obtenir la rugosité voulue sans toutefois altérer l'uni.



Surfaces traitées par dénudage chimique ou par balayage.



- Tous les coûts (construction et entretien) sont donnés en indice. La valeur de référence « 100 » étant celle du BAC.
- Les coûts d'entretien sont actualisés. Le taux d'actualisation utilisé est 5 %.

Ce diagramme permet de ressortir les conclusions suivantes, qui confirment les résultats d'autres études faites sur d'autres projets.

Comparaison du coût de construction

Dans le contexte économique actuel, le coût des chaussées en BAC se situe au-dessus de ceux des autres solutions. L'écart est de l'ordre de 10 à 15 %.

Comparaison des coûts d'entretien

Les coûts d'entretien des chaussées en BAC sont nettement inférieurs à ceux des autres structures.

Comparaison du coût global

Si l'on fait le bilan coût global (égal au coût de construction + coûts d'entretien actualisés) sur une période de service de vingt à vingt-cinq ans, l'avantage économique paraît tout à fait en faveur du BAC. Il se situe entre 7 et 15 %.

CONCLUSION

Les qualités remarquables du béton armé continu sont à la base de son succès et de son utilisation, de plus en plus importante depuis 1983 en France, pour les travaux neufs et les renforcements et les reconstructions de voies d'autoroutes.

L'achèvement du programme de construction des autoroutes de même que la rénovation, l'élargissement du réseau existant feront très certainement appel à cette technique pendant de nombreuses années.

COMPARAISON ÉCONOMIQUE ENTRE UNE STRUCTURE EN BAC ET D'AUTRES TYPES DE STRUCTURES

Pour choisir une technique de construction routière, il est nécessaire de procéder à une analyse technico-économique détaillée afin d'établir les circonstances favorables à l'utilisation de chacune des techniques envisagées ; ce qui permet d'effectuer une comparaison entre elles.

Pour que cette comparaison soit valable, les calculs doivent intégrer les facteurs suivants :

- le coût de construction,
- les coûts d'entretien actualisés sur une période de service donnée.

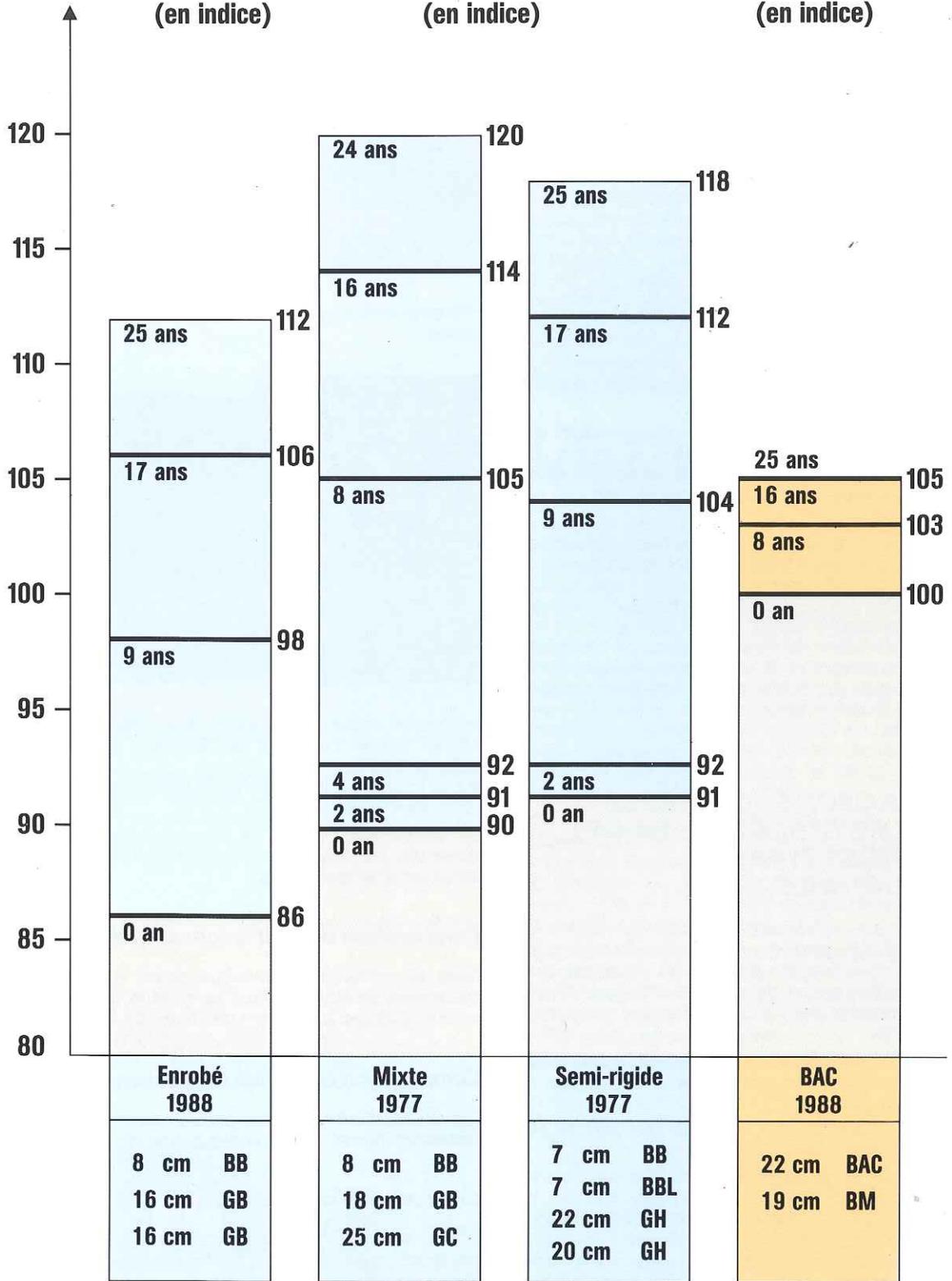
D'autres facteurs peuvent évidemment avoir une influence dans le choix de la technique, facteurs à considérer mais non intégrés à cette comparaison comme la permanence du service rendu à l'utilisateur, utilisation des matériaux locaux ou de production nationale, emploi de la main-d'œuvre locale, incitation économique régionale, etc.

Le diagramme qui suit récapitule une étude de comparaison réelle, effectuée dans le cadre d'un projet d'autoroute (1988) entre la solution BAC et trois autres types de structures.

Les éléments qui sont à la base de cette comparaison, se résument ainsi :

- Trafic : T_0 (trafic compris entre 750 et 2 000 poids lourds/jour).
- Plate-forme : PF 2 (module d'élasticité compris entre 50 et 120 MPa).
- Les structures choisies proviennent du Catalogue des structures, SETRA 1977 + Actualisation 1988.
- Les scénarios d'entretien sont ceux officiellement utilisés en France (SETRA-SECTAURROUTE).

Coût total au m² = Coût de construction + Coût d'entretien actualisé
 (en indice) (en indice) (en indice)



Structures d'après SETRA - (catalogue 1977 et 1988)