

Emploi des matériaux bitumineux à module élevé

La méthode française de dimensionnement des chaussées souples aéronautiques, basée sur la méthode américaine CBR, fournit une épaisseur équivalente totale de chaussée. Les épaisseurs réelles de matériaux sont déterminées en attribuant à chaque matériau un coefficient d'équivalence représentatif de ses qualités mécaniques.

Les coefficients d'équivalence ont été déterminés pour chaque type de matériau suite aux essais américains AASHO réalisés dans les années soixante aux États Unis. Depuis, les qualités mécaniques des matériaux ont évolué, en particulier avec l'introduction de matériaux à module élevé.

Afin de permettre l'utilisation de ces matériaux sur chaussées aéronautiques il est apparu nécessaire de déterminer de nouveaux coefficients d'équivalence. À cet effet, en collaboration avec trois entreprises françaises de BTP (Colas, Entreprise Jean Lefebvre et SCREG), le Service Technique des Bases Aériennes a réalisé des planches d'essais expérimentales.

Cette détermination constitue une adaptation de la méthode de dimensionnement des chaussées aéronautiques, préalable à une évolution plus importante. En effet, la méthode actuelle est essentiellement empirique. Elle considère principalement la protection du sol support, le comportement des différentes couches du corps de chaussée étant en partie éludé. En outre, les coefficients d'équivalence ne sont pas uniquement liés aux caractéristiques intrinsèques des matériaux.

Une réflexion est en cours pour déterminer les études et expérimentations nécessaires à l'élaboration d'une méthode rationnelle de dimensionnement.

La présente note rappelle les principes de la méthode actuelle, présente l'expérimentation des planches d'essais de matériaux à module élevé et publie les coefficients d'équivalence des bétons bitumineux à module élevé (BBME) et des enrobés à module élevé (EME) qui permettront l'emploi de ces matériaux sur chaussées aéronautiques.

Expérimentation menée par le STBA sur l'emploi des matériaux bitumineux à module élevé : planches d'essais, essais de portance, sondages



Photos STBA M.-A. Floissart

Rappels sur la méthode française de dimensionnement

Le dimensionnement des chaussées souples utilise la méthode CBR mise au point par l'US Corps of Engineers pour des charges isolées, en considérant le critère de déformation verticale sur le sol support. Le complexe formé par le sol support et la chaussée est assimilé à un massif semi-infini, homogène, isotrope, de type Boussinesq.

La méthode de calcul permet de convertir la charge sur un atterrisseur quelconque en une charge sur une roue simple équivalente.

La formule CBR permet de calculer l'épaisseur e de chaussée pour laquelle est admissible la contrainte verticale produite par une charge P appliquée 10 000 fois avec une pression q uniformément répartie sur l'aire a d'un cercle. En toute rigueur, la formule CBR se réfère au cisaillement maximal que peut subir le sol, l'essai CBR étant un essai de poinçonnement.

En système de coordonnées logarithmiques portant P en abscisse et e en ordonnée, les abaques figurent un faisceau de droites CBR parallèles lorsque le CBR varie et pour une pression donnée, la formule CBR s'exprimant sous la forme :

$$\log e = 1 / 2 \log P + B$$

où B est une fonction du CBR.

En fait, la formule CBR fournit une épaisseur réelle pour un massif homogène constitué par un matériau de référence (grave non traitée, concassée et bien graduée et de module d'élasticité $E = 500$ Mpa).

Cette épaisseur réelle du matériau de référence est appelée épaisseur équivalente de la chaussée à dimensionner.

Dans la réalité, une chaussée souple est généralement composée de trois couches de matériaux présentant des qualités mécaniques différentes : la couche de fondation, la couche de base et la couche de surface. Les chaussées souples sont dimensionnées de manière à limiter les contraintes dans toutes les couches et sur le sol support. Ce dernier étant considéré comme la

zone la plus critique, le critère de dimensionnement utilisé est la limite admissible des déformations verticales sur le sol support.

La méthode postule que l'épaisseur équivalente de la chaussée est égale à la somme des épaisseurs équivalentes des différentes couches, elles-mêmes égales aux épaisseurs réelles pondérées par un coefficient numérique représentatif du matériau et nommé coefficient d'équivalence.

Le coefficient d'équivalence de certains matériaux est variable dans la mesure où le module varie lui-même en fonction de certains paramètres physiques (température, fréquence de sollicitations, rhéologie). Les valeurs constantes proposées pour le dimensionnement sont donc en fait des moyennes.

Valeurs retenues pour les matériaux neufs

Béton bitumineux	2
Grave bitume	1,5
Grave traitée aux liants hydrauliques	1,5
Grave émulsion	1,2
Grave concassée bien graduée	1
Sable traité aux liants hydrauliques	1
Grave roulée	0,75
Sable	0,5

Planches d'essais de matériaux bitumineux à module élevé

L'expérimentation réalisée sur le site du STBA à Bonneuil-sur-Marne comprend neuf planches de tests de matériaux bitumineux à module élevé (trois planches par entreprise mettant en œuvre ses produits spécifiques) et une planche de référence formée d'enrobés traditionnels, aux caractéristiques connues.

La structure des planches d'essais est la suivante :

- une couche de fondation en grave reconstituée humidifiée (39 cm réalisée en deux couches)
- une couche de base (12 cm) en grave bitume
- une couche de roulement (6 cm) en béton bitumineux.

Les matériaux testés sont :

- BBA: béton bitumineux aéronautique (NFP.98.131)
- BBME: béton bitumineux à module élevé, 0/10, niveau 2 d'étude, (NFP 98.141)
- GBO: grave bitume ordinaire, classe 2, (NFP.98.138)
- EME: enrobé à module élevé, 0/14, niveau 1 d'étude, (NFP.98.140)

Les quatre associations de produits ont été mises en œuvre :

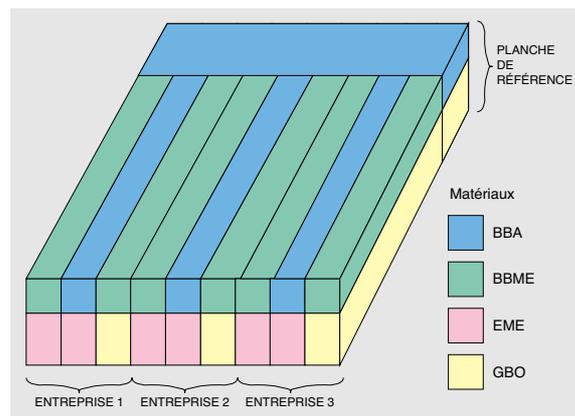
- BBA + GBO : une planche de référence
- BBME + GBO : trois planches d'essai du BBME
- BBA + EME : trois planches d'essai de l'EME
- BBME + EME : trois planches d'essai BBME + EME

Compte tenu des conditions de mise en œuvre, la première couche de GRH joue le rôle de sol support et seule la seconde (soit 19 cm) est considérée comme couche de fondation.

Le principe de détermination des coefficients d'équivalence est assez simple. La remorque de portance du STBA a déterminé la portance de chaque planche d'essai avec le critère de tassement résiduel pris en compte habituellement (5 mm).

L'épaisseur équivalente de la planche de référence est calculée à partir des coefficients d'équivalence classiques : 2 pour le BBA, 1,5

Structure des planches d'essais



pour la grave bitume ordinaire et 1 pour la GRH). Connaissant la portance RSI, on peut déterminer l'indice CBR du sol support de la planche de référence par la méthode inverse de dimensionnement et l'étendre à l'ensemble de la plate-forme des planches d'essais.

À partir de ce CBR et des différentes charges de service mesurées, a été déduite l'épaisseur équivalente de chaque planche. Celle-ci étant la somme des produits des épaisseurs réelles et des coefficients d'équivalence des matériaux, il en résulte un système d'équations dans lequel les inconnues (coefficients d'équivalence des BBME et EME) sont aisément calculées.

Charges de service mesurées sur les planches d'essais

(valeurs moyennes en tonnes RSI des trois planches)

Structure	Charge de service
BBME / EME	24
BBA / EME	22
BBME / GBO	20
Référence	18

Tableau des coefficients d'équivalence des matériaux à module élevé

Matériaux	Coefficient d'équivalence	Type de couche
BBME (classe 1, NF P 98.141)	2,5	roulement
EME (classe 2, NF P 98.140)	1,9	base

En conséquence et sous réserve que les produits mis en œuvre correspondent aux spécifications des normes françaises, il est possible d'utiliser dans le calcul les coefficients du tableau ci-dessus pour l'ensemble des matériaux à module élevé.

Ainsi, sont respectivement affectés au BBME (classe 1, NF P 98.141) et à l'EME (classe 2, NF P 98.140) les coefficients 2,5 et 1,9. Le BBME sera utilisé en couche de roulement et l'EME en couche de base.

Les coefficients retenus pour les BBME et EME sont supérieurs à ceux des BBA et GBO.

Ainsi, l'emploi de ces enrobés spéciaux dans la construction ou le renforcement des chaussées aéronautiques permettra généralement une réduction d'épaisseur réelle des structures. Les épaisseurs devront cependant respecter les minima recommandés pour leur mise en œuvre dans les chaussées aéronautiques.

S'agissant du BBME utilisé en couche de roulement, il conviendra de respecter également les caractéristiques de surface (macrotexture, adhérence) tel que définies dans la norme des bétons bitumineux pour chaussées aéronautiques NFP 98.131.

Textes de référence

Instruction sur le dimensionnement des chaussées d'aérodromes et la détermination des charges admissibles : volumes 1 et 2 (STBA, 1983)
BBA : béton bitumineux aéronautique (NFP 98.131)
BBME : béton bitumineux à module élevé (NFP 98.141)
EME : enrobé à module élevé (NFP 98.140)
GBO : grave bitume ordinaire (NFP 98.138)
GRH : grave reconstituée humidifiée (NFP 98.129)

Autres abréviations

AASHO : American Association of State Highway Officials
CBR : indice portant californien (Californian Bearing Ratio)
RSI : roue simple isolée

Rédacteur / renseignements : département Génie civil et pistes
Éric Parize, Tel : 01 49 56 80 92 - Fax : 01 49 56 82 64

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT
DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT
DIRECTION GÉNÉRALE DE L'AVIATION CIVILE



**SERVICE TECHNIQUE
DES BASES
AÉRIENNES**