

Chapitre 11

Renforcement des chaussées aéronautiques



Photo: SEBA de Perpignan / G. TICHADOU

Renforcement de la piste de l'aéroport de Perpignan - Rivesaltes

Le renforcement d'une chaussée aéronautique devra être envisagé lorsque l'une des deux conditions suivantes est rencontrée :

- la densité de ses dégradations relevant d'un défaut structurel sera devenue trop importante pour que celle-ci relève encore du domaine des réparations,*
- la charge admissible est insuffisante pour permettre une évolution souhaitée du trafic.*

Il y a toutefois lieu de noter qu'au renforcement d'une chaussée peuvent parfois être préférées :

- la construction d'une chaussée neuve sur un nouvel emplacement mieux adapté,*
- la substitution - totale ou dans sa seule partie centrale - d'une chaussée nouvelle à celle existante qui, dans ce cas, aura été préalablement détruite.*

Une étude intégrant toutes considérations techniques et économiques utiles permettra d'opter pour la meilleure solution.

11-1 Renforcement des chaussées souples

11-1-1 Étude du renforcement

Rien ne s'oppose a priori à ce que soit envisagée, pour le **renforcement d'une chaussée souple**, une solution rigide qui ne prendrait en compte l'ancienne structure souple qu'en tant que couche de fondation.

Ce choix pourra résulter de la prise en compte :

- du climat,
- des conditions locales d'approvisionnement en matériaux,
- des objectifs de gestion des chaussées,...

Il est cependant peu fréquent compte tenu de ce que :

- l'adoption d'une structure rigide, dont l'épaisseur, fonction de la plus grande dimension de la dalle (**règle d'Eisenman***), doit être au moins de 15 cm :
 - induit des contraintes de raccordement en rives,
 - nécessite le déplacement du balisage,
- l'emploi du béton de ciment :
 - exige la fermeture de l'aire renforcée pendant les phases de mise en œuvre et de durcissement,
 - se prête mal à un phasage des travaux.

Si toutefois la solution rigide devait être retenue, la chaussée existante devrait avoir ou se voir conférer par reprofilage (aux enrobés fins par exemple) les qualités d'uni requises pour une couche de fondation**. Le **module de réaction** à retenir pour le calcul de la dalle de béton sera déterminé comme indiqué précédemment***.

Une remise en service immédiate après travaux étant généralement recherchée, le renforcement d'une chaussée souple consistera plutôt, dans la grande majorité des cas, à accroître l'épaisseur de la structure existante par apport d'une ou plusieurs couches «souples» supplémentaires.

La connaissance du trafic futur et du **C.B.R.** du sol support permettent de calculer l'**épaisseur équivalente** du renforcement nécessaire par différence entre celle que devrait présenter une chaussée neuve et celle résiduelle de la chaussée existante.

S'agissant de redonner à la chaussée un capital structurel lui permettant de supporter, pour les dix années à venir, le trafic envisagé, celui-ci doit être, pour cette même période et par type d'appareil, renseigné sur :

- le nombre de mouvements,
- les charges à l'atterrissage et au décollage,
- les cheminements au sol.

Les sondages, qui auront été réalisés dans le cadre de l'auscultation - laquelle aura elle-même conclu à l'insuffisance de la portance de la chaussée et à la nécessité de son renforcement - permettront de connaître les caractéristiques géotechniques résiduelles de ses différentes couches et de son sol support.

À noter qu'une **régénération** préalable de la couche de roulement de l'ancienne chaussée peut permettre de réduire l'épaisseur de la couche d'apport.

À noter également que, dans le cas d'un renforcement souple, l'économie globale de l'opération peut être sensiblement améliorée en limitant aux 30 m ou 20 m centraux (pour les pistes de 45 m ou de 30 m de largeur) la largeur du renforcement en pleine épaisseur. Ces dimensions intègrent de façon réaliste la totalité des mouvements d'avions ainsi que des écarts de trajectoire raisonnables. Il y aura toutefois lieu de prendre toutes dispositions utiles pour que les raccordements latéraux à plus faible épaisseur ne constituent pas une zone de fragilité.

Outre celles permettant d'apprécier les qualités mécaniques résiduelles de l'ancienne chaussée, toutes investigations devront être effectuées, qui pourront renseigner sur :

- son uni (**analyseur de profil en long**),
- l'allure de ses profils en travers (laserographe ou lever topographique),
- les possibilités de raccordement aux ouvrages existants tels que bretelles, pistes, seuils de piste, de même qu'aux bâtiments, système de drainage, balisage,...

* La plus grande dimension de la dalle doit rester inférieure à 25 fois son épaisseur

** cf. § 6-6-3c - ci-dessus

*** cf. § 5-3-2

11-1-2 Travaux préliminaires



Rabotage d'une chaussée souple

Ces travaux concernent essentiellement la préparation du support quant à la qualité de ses profils en long et en travers et à l'état de la surface.

L'amélioration des profils s'effectue, soit par **rabotage**, soit par apport de matériaux bitumeux, soit par l'un et par l'autre. Les matériaux apportés sont :

-ou bien du **béton bitumineux**, pour les faibles épaisseurs ou pour des zones réduites,

-ou bien de la **grave bitume** pour des épaisseurs ou des zones plus importantes, la grave bitume n'en devant pas moins être recouverte par une couche de roulement en **béton bitumineux**.

Ces matériaux sont appliqués sur le support après mise en œuvre d'une couche d'accrochage à l'émulsion de bitume dosée à 350 g de bitume résiduel.

Ce reprofilage a pour but de redonner aux profils en travers des pentes* telles que l'on s'affranchisse, sur la future couche de roulement, des stagnations d'eau de ruissellement génératrices d'aquaplanage au roulage des avions.

Les surfaces, qui n'auraient pas été préalablement traitées par rabotage, devront être exemptes de peinture et de gomme.

Les **fissures** devront par ailleurs être traitées, soit par **pontage**, soit par **colmatage**.

Enfin, des purges et reconstitution des corps de chaussée pourront être réalisées très localement si nécessaire.

11-1-3 Exécution du renforcement



Rehausse de caniveau

Le renforcement d'une chaussée souple s'effectue par apport :

-ou bien d'une seule couche de surface, généralement en **béton bitumineux aéronautique** (Norme NF P 98 131),

-ou bien d'une couche de surface et d'une couche de liaison, cette dernière étant généralement en **grave bitume** (Norme NF P 98 138) afin de réduire le coût de l'opération et de disposer d'un système mécanique cohérent.

La gêne causée par les travaux sur le trafic aérien

étant importante et source de coûts supplémentaires pour les transporteurs aériens, il convient, autant que faire se peut, d'en réduire la durée. Il sera, dans ce but, demandé aux entreprises de disposer du matériel (capacité des centrales d'enrobage, nombre de finisseurs,...) permettant de mettre en œuvre, pendant chaque phase de travail, la plus importante quantité possible (restant économiquement raisonnable) de matériaux. Ces dispositions, qui devront figurer dans les documents contractuels, permettront non seulement d'accélérer la cadence du chantier mais aussi de réduire le nombre des reprises, lesquelles constituent autant de points faibles en termes d'uni et d'étanchéité.

Hormis les plates-formes pour lesquelles est tolérable une fermeture couvrant la durée des travaux, le maintien en exploitation de l'aérodrome nécessite une étude de phasage minutieuse.

Deux exemples de phasage de renforcement de piste sont données ci-après :

* cf. § A-5 ci-dessus

1 - Exécution par neutralisation des tiroirs :

Cette méthode permet de réduire au plus court la phase la plus contraignante du chantier.

Elle consiste successivement à :

- neutraliser un premier **tiroir**, à l'une des extrémités de la piste, laissant libre une longueur suffisante pour permettre le décollage des avions à la charge réduite (fixée en accord avec les utilisateurs) pendant que le renforcement est réalisé en pleine largeur sur ce tiroir,
- remettre en service le premier tiroir et renouveler, dans les mêmes conditions, l'opération sur le second, si celui-ci existe,
- procéder, par périodes d'interruption du trafic et par tiers de la largeur de la piste, au renforcement de la partie intermédiaire.

La dernière de ces trois phases est la plus délicate en ce que la remise à disposition du trafic nécessite, à chaque interruption de chantier, non seulement l'aménagement de sifflets en extrémité de bande mais le chanfreinage de la bordure de la dernière passe de finisseur.

Il y aura lieu d'accorder une particulière attention à l'exécution des joints de raccordement entre deux phases, notamment lorsque le sens d'avancement du chantier n'aura pas été le même.

2 - Exécution par couches en pleine largeur

Choisissant de mobiliser toute la largeur de la piste, cette méthode doit s'imposer de :

- recharger la chaussée couche après couche afin de minimiser l'épaisseur des sifflets de raccordement,
- prévoir une mise en œuvre des enrobés à cadence élevée (au moins deux finisseurs travaillant en parallèle).

Dans le cas d'une chaussée à pente unique, les passes de finisseurs seront de préférence effectuées, avec guidage au fil ou laser, en descendant du bord haut vers le bord bas.

Dans le cas d'un profil en toit, les passes seront effectuées en partant de l'axe vers les bords de chaussées. Pour éviter la concordance du joint de bande avec l'axe de chaussée, le marquage axial peut être légèrement déporté.

Dans tous les cas et quel que soit le nombre de couches de renforcement, la superposition des joints longitudinaux est à éviter. Les joints de reprise devront, quant à eux, être limités au maximum afin de ne pas altérer la qualité de l'uni.

La livraison de la piste au trafic, en fin de phase de chantier, exige l'exécution d'un sifflet de raccordement provisoire qui sera enlevé à la reprise des travaux.

L'expérience montre qu'un changement de pente de 1 % à 1,5 % dans le profil en long soumet les aéronefs à des solli-

citations pouvant être acceptées pour peu que les pilotes en aient été avertis. Cette pente permet de rattraper une dénivelée de 6 à 8 cm sur une longueur de 4 à 8 m.

Le raccordement peut être réalisé à l'aide d'un finisseur se déplaçant perpendiculairement à l'axe de la piste, si la largeur de sa table est égale à celle du sifflet.

Pour faciliter l'enlèvement du sifflet à la reprise du chantier, on intercale généralement une fine couche de sable avant le répandage des matériaux enrobés, sauf à l'extrémité du sifflet où l'adhérence à l'ancien revêtement est améliorée par une couche d'accrochage afin d'éviter l'arrachement sous l'effet de souffle des réacteurs. Cette disposition n'est toutefois pas nécessaire si le sifflet est prévu pour très peu de mouvements d'aéronefs ou si ceux-ci s'effectuent dans le sens de la montée.

À la reprise du chantier, le sifflet est arraché à la niveleuse après avoir éventuellement effectué un trait de scie à l'amorce de la descente, ce afin de dégager un bord franc d'enrobés à partir duquel l'atelier de répandage peut redémarrer.

Un raccordement définitif sera exécuté avec guidage au fil ou laser et devra, pour une piste, respecter les conditions de pentes qui sont indiquées au paragraphe A-4 ci-dessus.

Dans le cas d'un renforcement effectué sur toute la largeur de la chaussée, les raccordements sont réalisés avec une pente maximum de 2,5 % sur les accotements.

Toutefois, et dans le cas de renforcements successifs, il est admis sur l'accotement une pente de 5 % dans les 3 m contigus à la piste*.

Lorsque le rechargement des **abords** est nécessaire et qu'un caniveau de drainage borde la piste, il est possible soit de le boucher, soit de le surélever. Dans le premier cas, les eaux de ruissellement provenant de la piste seront rassemblées dans un fil d'eau situé à plus de 15 m du bord de piste (22,5 m de préférence). Dans le deuxième cas, il faut veiller à ce que le béton utilisé pour surélever le caniveau adhère bien par scellement d'aciers dans ce dernier. Il y aura également lieu de réaliser avec précaution les arêtes de l'ouverture.

Si le renforcement ne s'effectue pas sur toute la largeur de la chaussée, les raccordements avec la chaussée existante seront également réalisés avec une pente maximale de 2,5 %, soit avec subsistance d'une surépaisseur de 3 cm, soit à niveau avec engravure.

Renvoi est fait, pour ce qui concerne les voies de circulation, aux règles et recommandations faisant l'objet des paragraphes C-3-1 et C-3-2 ci-dessus.

* cf. § A-9-3 ci-dessus

11-2 Renforcement des chaussées rigides

11-2-1 Généralités

Le **renforcement d'une chaussée rigide** admet trois solutions possibles, à savoir par apport:

- d'une couche mince de béton,
- d'une couche épaisse de béton,
- d'une structure souple.

Dépendant du type de traitement retenu, le mode

de détermination de l'épaisseur de renforcement est indiqué dans chacun des paragraphes suivants.

Il est d'autre part recommandé, avant tout dimensionnement, d'effectuer une évaluation de la portance résiduelle et des **battements de dalles** ainsi qu'un contrôle de l'**uni**.

11-2-2 Renforcement par mise en œuvre d'une surépaisseur en béton



Mise en œuvre d'une surépaisseur en béton

Visant à augmenter l'épaisseur des dalles existantes, cette solution ne peut être envisagée que si celles-ci sont globalement* en bon état.

L'utilisation des abaques de dimensionnement des chaussées rigides permet de déterminer l'épaisseur théorique h_t d'une dalle de béton unique correspondant à la contrainte admissible du nouveau béton et au **module de réaction** corrigé** du sol support.

Le problème se particularise toutefois par l'appréciation qu'il convient de faire de l'épaisseur pour laquelle les dalles existantes peuvent être comptées dans la valeur h_t calculée.

Le «manuel de conception des aéroports» publié par l'O.A.C.I. propose, pour ce faire, l'emploi de la formule ci-après :

$$h_R^{1,4} = h_t^{1,4} - C \cdot h_t^{1,4}$$

dans laquelle

- h_R serait l'épaisseur de la dalle de renforcement,
- h celle de l'épaisseur de la dalle de béton existante,
- C un coefficient sans dimension destiné à tenir

compte de la qualité de la chaussée à renforcer et pour lequel le manuel propose de retenir les valeurs*** :

- $C = 1$ pour une chaussée en bon état,
- $C = 0,75$ pour une chaussée présentant quelques fissures d'angles mais pas de dégradations généralisées.

Bien que les références, auxquelles elle peut faire appel, soient peu nombreuses en France, l'utilisation de cette technique semble pouvoir être retenue lorsque le renforcement envisagé n'est appelé que par une évolution du trafic et sous réserve que soient réunies les conditions suivantes :

- préparation soignée de la surface des dalles à renforcer de manière à assurer le collage du béton rapporté,
- cure et protection renforcées du béton pendant sa prise et son durcissement,
- sciage des joints en parfaite concordance avec ceux du béton recouvert.

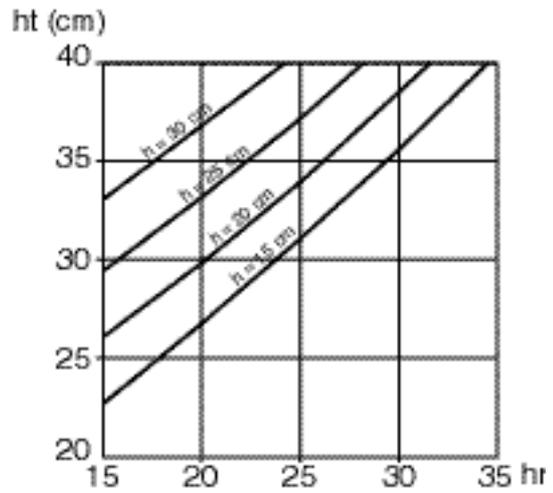
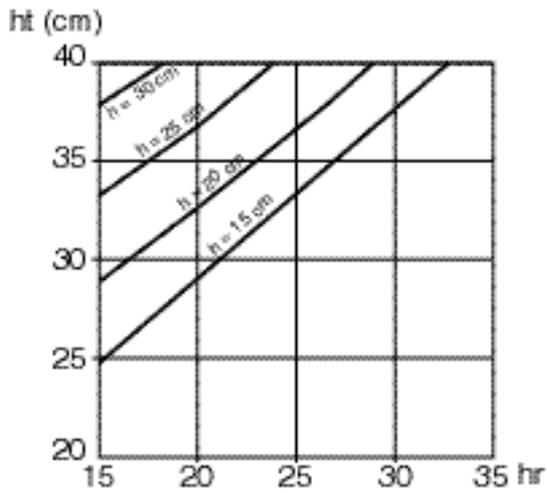
Il y a lieu de noter que, même en couche mince, la mise en œuvre du béton peut être effectuée au moyen d'une machine à coffrage glissant.

* ceci n'excluant pas que certaines dalles puissent être dégradées et soient ou bien préalablement restaurées ou bien reconstruites

** pour tenir compte de la couche de fondation de la chaussée existante

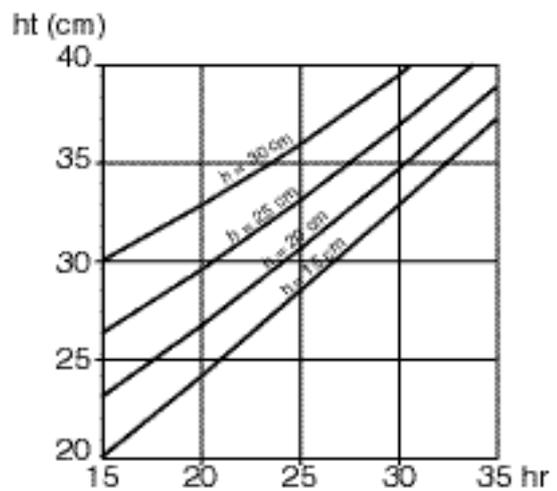
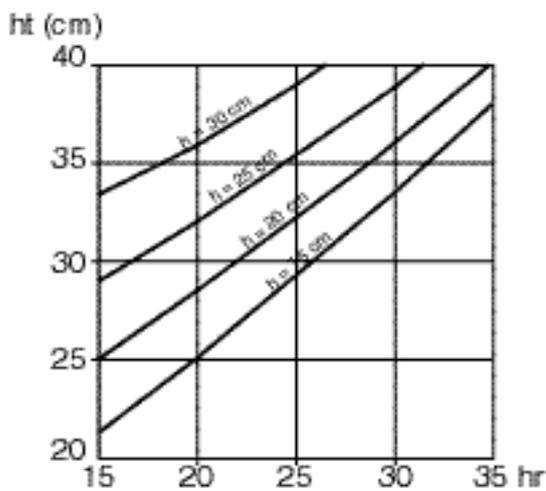
*** Également indiquée pour une chaussée entièrement fragmentée, la valeur de 0,35 ne semble pas devoir être retenue, compte tenu de ce que cette technique de renforcement n'a pas lieu d'être appliquée en tel cas.

Les deux abaques, reproduits ci-après, se substituent commodément à l'utilisation de la relation proposée par l'O.A.C.I.



11-1 Abaques permettant de déterminer la surépaisseur de renforcement des dalles d'une chaussée rigide

Lorsqu'une couche de matériaux enrobés est interposée entre les deux dalles dans le but, par exemple, de reprofiler la chaussée existante, l'O.A.C.I. propose de remplacer par la valeur 2, celle de 1,4 donnée à l'exposant entrant dans la relation précédente. Les deux abaques ci-après se substituent alors aux deux précédents.



11-2 Abaques se substituant aux précédents lorsqu'une couche de reprofilage doit être intercalée

11-2-3 Renforcement par superposition d'une nouvelle structure rigide



PHOTOGRAPHIE STEBA / P. MERCIEN

Matériel pour la fragmentation des dalles

Cette solution sera utilisée pour la remise en état d'une chaussée rigide particulièrement dégradée qui ne sera plus alors conservée que comme couche de fondation. Les dalles existantes seront préalablement cassées en morceaux d'environ 1m² puis soumises au passage d'un engin lourd afin de se prémunir contre tout mouvement de bas -

culément ultérieur. Une couche de reprofilage en enrobé absorbera les différences de niveau éventuelles entre les éléments en béton.

*La couche de béton de renforcement sera dimensionnée comme s'il s'agissait d'une chaussée neuve et pourra éventuellement être réalisée en **béton armé continu**.*

Il y a lieu ici de noter ici que le rehaussement substantiel d'une chaussée, entraîne bien souvent des réadaptations annexes dont l'incidence financière est généralement loin d'être négligeable, qu'il s'agisse de celles concernant les ouvrages d'assainissement, les éléments du balisage ou du raccordement au reste de l'aire de mouvement. C'est ainsi que, dans le cas d'une piste dont l'état en rives le permettrait, la démolition et la reconstruction de sa seule partie centrale pourra s'avérer être finalement plus économique.

11-2-4 Renforcement par superposition d'une structure souple



Renforcement en enrobés d'une piste en béton

Ce type de renforcement peut être utilisé quel que soit l'état de la chaussée en béton.

Si celle-ci est en très mauvais état, on pourra achever de la fragmenter et la considérer, pour le dimensionnement, comme étant une couche de grave*.

Dans le cas, par contre, où la chaussée rigide est encore saine, l'épaisseur équivalente de renforcement e est fournie par la relation :

$$e = 3,75 (F \cdot h_1 - h)$$

dans laquelle :

- h est l'épaisseur de la dalle de béton existante,
- h_1 est l'épaisseur théorique qui devrait être donnée à une dalle de béton neuve, abstraction étant faite de celle existante, épaisseur déterminée à partir de la contrainte admissible par le béton des dalles existantes et du module de réaction corrigé** K de leur sol support,
- F est un coefficient de réduction de l'épaisseur h ,

dont la valeur, fonction du même module K , peut être lue sur l'abaque de la figure 11-3 ci-après.

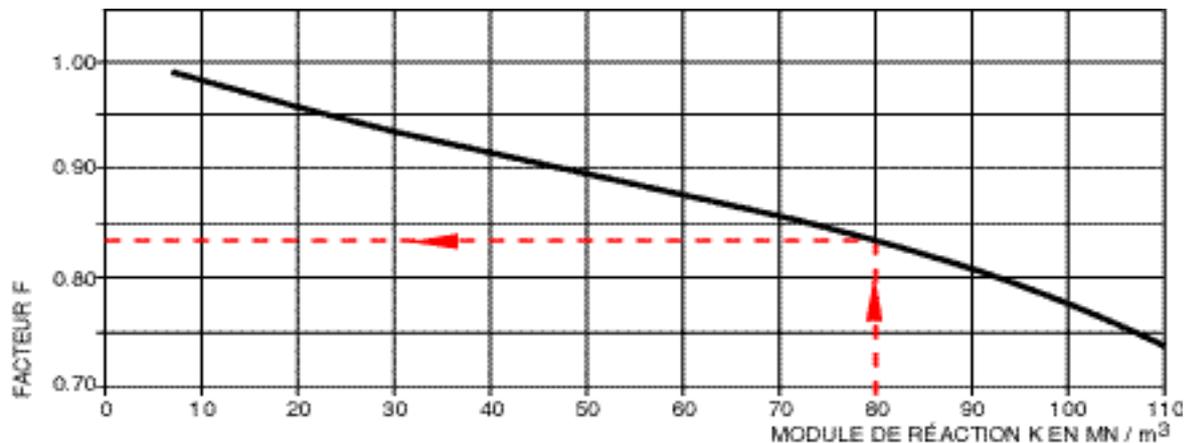
Les matériaux utilisés pour un renforcement doivent être d'une qualité telle que leur **coefficient d'équivalence** soit au moins égal à 1.

L'épaisseur équivalente du renforcement ne doit pas être inférieure à 25 cm. Du fait, en effet, de l'existence des joints comme des conditions de travail des dalles, il est nécessaire que le béton soit surmonté d'une couche de matériaux d'épaisseur telle que la remontée des fissures au droit des joints (de même qu'à celui des anciennes fissures) soit au maximum retardée.

On pourra, à cet effet, tenter d'éliminer les **battements de dalles** en introduisant des **goujons** avant de placer sur le béton un complexe anti-remontée de fissures. L'expérience actuelle conduit à penser que le sable bitume est, aussi bien du point de vue technique qu'économique, la solution la plus adaptée.

Toute autre solution (répandage de sable ou mise en œuvre de textile, par exemple, de manière à désolidariser enrobés et dalles sur une certaine largeur de part et d'autre des joints) n'est pas pour autant à écarter dans le cadre de l'aviation légère mais doit faire l'objet de tests en laboratoire***.

* cf. § 5-2
 ** pour tenir compte de la couche de fondation de la chaussée existante
 *** Le laboratoire régional d'AUTUN est, dans ce domaine, plus particulièrement désigné.



Abaque donnant le coefficient de réduction utilisable pour le dimensionnement du renforcement « souple » d'une chaussée rigide structurellement peu dégradée