

CAS D'ENTRETIEN MAJEUR RENFORCEMENT DE LA PISTE D'ENVOL DE L'AEROPORT DE RABAT-SALE

M. Redouane BELARBI

*Chef de la Circonscription Nord
Direction des Bases Aériennes*

I/ PRESENTATION

La présente note se propose de présenter les phases chronologiques de l'opération de confortement de l'assise et de renforcement de la chaussée de la piste de Rabat-Salé, qui constitue un cas techniquement particulier de l'entretien majeur des chaussées d'aéroports.

II/ HISTORIQUE DE LA PISTE

L'aéroport de Rabat-Salé est construit sur un plateau légèrement ondulé au nord de Rabat, la vallée de l'Oued Bou-Regreg.

La coupe géologique comporte, de haut en bas :

- La couche superficielle de sables éoliens, d'une épaisseur variable, 1m en moyenne
- Une terrasse alluvionnaire, de graviers mélangés de limon argileux, d'une épaisseur de 2m environ
- Un socle de graviers et sables pontiers, perméables, contenant une nappe phréatique abondante dont le niveau statique qui est à 20m sous le sol de l'aéroport, est en équilibre avec le plan de l'Oued Bou-Regreg. Cette nappe alimente tous les puits de la région. Elle est bien connue, et intensément exploitée.

C'est le cas ou jamais, d'affirmer qu'il ne peut y avoir de remontées capillaires à partir de la nappe phréatique, à travers l'écran de sables et graviers pontiers. Il a été décidé donc de constituer la fondation de la piste par le béton d'argile naturel que représentent les graviers argileux, de la couche n°2, et dont l'Indice de Plasticité varie entre 10 et 15.

Et pourtant, les pistes réalisées, par les anglais en 1944, avec ces graviers argileux, se sont ruinées en un an malgré un tartinage épais en enrobés bitumineux. Et cela parce que la petite couche superficielle de sables éoliens reposant sur la couche n° 2 de graviers argileux renfermé, en hiver une nappe d'eau suspendue, temporaire, qui s'assèche, complètement au début de l'été, par écoulement latéral, et surtout par évaporation et succion végétale, mais qui aux périodes pluvieuses, remonte au niveau du sol. Celui-ci présente d'ailleurs une végétation de marais (joncs, et plantes halophiles).

Diverses considérations lors de la construction orientaient le choix, vers une chaussée en béton hydraulique, plutôt qu'une chaussée souple. Mais lorsqu'on a

réalisé cette piste en 1950-51, on a pris un soin particulier à drainer l'assiette de la piste par un quadrillage de tranchées filtrantes évacuées vers des points bas par un système de collecteurs, indépendants des évacuateurs des eaux de ruissellement.

On a par conséquent constitué un système hydraulique qui organise l'irrigation de la fondation de cette chaussée. C'est inévitable quand on établit une sous couche en sable ou gravier dans un encaissement, dont le drainage ne serait assuré, ou encore dont le drainage serait assuré par le système évacuateur des eaux de pluie lequel, par définition, et à périodes fixes, doit fonctionner en charge, et refouler dans la sous-couche.

En remède aux dégradations ainsi survenues, il a été procédé en 1964, à un réaménagement global du système par :

- Colmatage du système de collecteurs latéraux aussi inopportunément mis en place.
- Renforcement, après réparation locale des dégradations de surface, par une couche de 10 cm de béton bitumineux puis, mise en oeuvre d'une couche de roulement de 5 cm.

Cependant, au début des années 80, ce système a commencé à présenter des dégradations d'un niveau de plus en plus élevé donc plus dangereux.

Ces dégradations se manifestaient par :

- Remontée systématique des joints de dalles
- Fissures très ramifiées, accompagnées de départs de matériaux et d'affaissements
- Fissures au sein des bandes d'enrobés bitumineux
- Cassures d'angles et fractures des dalles de béton bitumineux ainsi formés, qui présentaient le maximum de gravité vu la possibilité d'ingestion de ces matériaux par les réacteurs.

III/ PHASE D'INVESTIGATIONS ET D'ESSAIS

A/ Auscultation.

Pour remédier à cet état de fait, plusieurs opérations d'investigations ont été menées, toutes convergeant vers :

- L'évaluation des dualités structurelles, de la chaussée, par la réalisation d'une campagne d'auscultation. Cette auscultation a permis de déterminer la portance de la chaussée, grâce au principe de l'application d'une série d'essais de chargement à la plaque, comparable aux sollicitations des roues d'avions. Elle a également permis grâce aux sondages et essais en laboratoire de déterminer les qualités et la portance du sol support.

- L'évaluation des qualités fonctionnelles du revêtement, par la réalisation de passages de mesures, de l'uni, de la glissance et l'établissement d'un relevé visuel des dégradations.

A l'issue de cette campagne, un diagnostic de l'état des structures a été dressé.

B/ Diagnostic.

La chaussée composée d'une structure mixte, souple sur rigide, a le même comportement qu'une chaussée souple. Sa portance résiduelle est évaluée à 14T/Roue simple isolée, soit une épaisseur équivalente résiduelle de 42 cm.

Les dégradations superficielles qui s'expliquent par un écoulement d'eau sous corps de chaussée dû à l'infiltration d'eau depuis les fissures formées sur le corps de béton bitumineux par remontée des joints du béton hydraulique cet écoulement d'eau emporte les fines du sol de fondation, le fragilise, l'amène à s'écouler sous l'effet des battements de dalles que provoque le passe des atterrisseurs des avions.

Le remède passe par conséquent par :

- Le confortement de l'assise de la chaussée par injection de coulis, permettant de rendre au sol de fondation son rôle de support.
- L'étanchéité de surface pour empêcher de nouvelles infiltrations d'eau, source originelle du problème.
- Le renforcement de la structure au vu du trafic qu'elle sera appelée à accueillir.

C/ Essais.

Pour juger de l'adaptabilité des solutions ainsi répertoriées, plusieurs essais ont été menés dont :

1) Phase d'injections :

L'objectif était outre de juger la qualité du procédé, de juger également l'aspect quantitatif de l'opération.

L'expérience qui a eu lieu en 1985 puis en 1986, à une année d'intervalle, a concerné deux sections de piste de 100m, sur les 15m centraux les plus sollicités par les atterrisseurs des avions empruntant la piste.

Elle a consisté en la mesure des déflexions au droit des joints de dalles avant et après injection, au passage d'une charge de 15 tonnes.

Les mesures de déflexion sont effectuées à l'aide de comparateurs posés sur une "poutre de Benkenlman", de part et d'autre des joints.

Les trous d'injection sont disposés en chaque coin à 50cm du joint, puis un trou au centre.

La charge de 15t est mesurée par la charge supportée par l'essieu arrière d'un camion.

Les résultats obtenus sont :

- Une amélioration sensible des battements de dalles, juste après injection, en passant d'un différentiel de 10/100mm, soit une réduction de 80%
- Une chute relative du taux de réduction de battement qui est passé en moyenne de 80% à 50%, au bout d'une année.

2) Etanchéisation du revêtement :

La première campagne ayant été réalisée, uniquement avec une réparation systématique des dégradations, il a été décidé de réaliser un essai sur une bande de 150m de long, afin de comparer les résultats de chaque solution.

- Section (1), soumise à injections après étanchéisation avec un mortier bitumineux 0/5 de 3cm d'épaisseur
- Section (2), soumise à injections sans étanchéisation, mais avec réparations des dégradations.
- Section (3), étanchéisation uniquement.

Le taux de réduction des battements, cité plus haut, et à 6 mois a été respectivement de 70% pour la section (1), 50% pour la section (2) et sans changement pour la section (3).

Il a par conséquent été proposé d'adopter la solution appliquée de la section (1), qui a donné les résultats les plus probants.

IV/ DEFINITION DES TRAVAUX

A/ Travaux de confortement.

Ces travaux consistent en la réalisation des injections sous le béton hydraulique afin de rendre sa cohésion au sol support, puis, la réalisation des réparations des dégradations, ainsi que l'étanchéisation de la couche de surface par un mortier de reprofilage.

B/ Travaux de renforcement.

- Les résultats de l'auscultation ont permis de déterminer la portance qui s'établit à une RSI = 14T, soit une épaisseur équivalente de chaussées de 42cm pour un sol CBR=10.
- Le trafic représentatif des agressions des sollicitations subies par la chaussée est principalement, une rotation journalière de BOEING 727, et de BOEING 757, de deux rotations mensuelles de BOEING 707 et d'une rotation mensuelle de BOEING 747.

L'épaisseur équivalente de chaussée nécessaire à l'accueil d'un tel trafic pour un CBR=10, s'établit à 58cm, d'où un différentiel de $58-42 = 16\text{cm}$ d'épaisseur équivalente, soit une épaisseur réelle de 8 cm de renforcement en béton bitumineux (coefficient d'équivalence = 2).

V/ REALISATION DES TRAVAUX

A/ Injections.

1) Moyens :

- Une cuve de malaxage (100 litres)
- Une cuve secondaire de malaxage manuel
- Une pompe d'injection
- Des flexibles d'injection
- Des compresseurs, citernes

Les travaux ont dû être réalisés de nuit en maintenant le trafic sur la piste pendant près de deux mois.

2) Coulis :

- 50 kg de ciment CPAZ 350
- 23 l d'eau
- 16 kg de sable siliceux fin T₀
- 1 kg d'intraplast (adjuvant plastifiant)

3) Mode de mise en oeuvre :

Les trous d'injection, réalisés aux quatre coins de dalles et à leurs centres de 45mm de diamètre sont forés jusqu'à la fin de l'épaisseur de la dalle. L'injection se fait sous une pression de 3 bars, et dure près de 2m. L'arrêt de l'injection est commandé par le refus, la sortie de coulis par les trous ou les joints adjacents, le soulèvement de la dalle de plus de 10/100^{ème} de mm.

Le dispositif de mesure du soulèvement de dalles spécialement conçu à cet effet, est constitué par une poutre reposant sur les dalles extrêmes, indépendantes, et comportant deux comparateurs à 1/100^{ème} mm.

Ce dispositif a été mis au point et réalisé pour pallier la pénurie de moyens techniquement plus performants de reconnaissance des zones d'injection sous chaussée, fonctionnant notamment aux traceurs radioactifs. Mais le résultat obtenu était le même puisque toute la piste a été couverte, jusqu'au refus et qu'après travaux les fissures ne sont plus réapparues en surface donc il n'y a pas eu de battements de dalles donc les vides étaient effectivement obturés.

4) Contrôle :

Le contrôle des injections a été fait par :

- La prise de coulis frais pour constitution d'éprouvettes, qui seront soumises aux essais. La résistance à l'écrasement est 270 bars, à la compression et 40 bars à la traction.
- La réalisation de carottes, pour déterminer la qualité de la mise en oeuvre. Elle a révélé les vides qui ont été effectivement comblés par les coulis, dont parfois les épaisseurs allaient jusqu'à 25 cm. Elles ont également permis de délimiter les zones, dont le sol support s'était trop effondré, et nécessite la réfection totale.

5) Coût :

Le coût de ce confortement s'est établi par rapport au coût du renforcement à près de 15%, soit très en dessous du coût initialement évoqué de reprise totale au corps de chaussée.

B/ Renforcement.

Le renforcement a été réalisé après reprofilage, par un béton bitumineux 0/10 sur 8 cm d'épaisseur. La composition du béton bitumineux a été :

- 35% de gravettes 5/10
- 15% de gravettes 2/8 concassé pur
- 50% de sable de concassage 0/5
- 6% de bitume 40/50

La réalisation du tapis d'enrobés a pu être menée en 20 jours, pour une moyenne journalière de 1.200T, mais a nécessité la fermeture totale de la piste.

CONCLUSION

Ainsi qu'il est cité plus haut, ces travaux ont coûté relativement autant qu'un renforcement classique alors que le diagnostic initial conduisait, vu les dégradations, la constitution hétéroclite de la chaussée, à choisir une solution de reconstruction nouvelle de la chaussée trois fois plus onéreuse, et devant entraîner une fermeture au trafic aérien de l'aéroport pendant six mois.

Cela a été évité parceque les études et les investigations ont été menées de concert avec des organismes techniques spécialisés, que des essais grandeur nature ont pu être réalisés, étalés dans le temps, et que des techniques, performantes et inhabituelles ont pu être expérimentées et maîtrisées.

NOTICE SUR L'ENTRETIEN EN SURFACE DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES

Le maintien en bon état des chaussées aéronautiques est une préoccupation permanente de la Direction des Bases Aériennes qui, soucieuse de préserver et maintenir le patrimoine aéronautique national, à jugé indispensable de créer une équipe spécialisée d'entretien des chaussées au sein de son département.

La tâche essentielle de cette équipe, qui est dotée d'un matériel approprié et d'un personnel qui ne cesse d'acquérir des expériences riches dans ce domaine, est d'intervenir sur tous les aéroports nationaux en vue de procéder à des travaux d'entretien qu'on peut qualifier de spécialisés. Ces travaux, s'ils ne permettent pas d'augmenter la portance des chaussées, améliorent les qualités des couches de chaussées en :

- Permettant d'éviter l'infiltration de l'eau de surface dans les joints de dalles ou fissures d'enrobés, donc sauvegardent les sous couches préservées de l'érosion par le départ de fines par les eaux infiltrées.*
- Permettant d'éviter la création de nouvelles épaufrures au droit des fissures.*

- Jouent le rôle de joints de dilatation.
- Présentant les propriétés requises pour les chaussées aéronautiques (élasticité, résistance au poinçonnement, absence de fluage et stabilité).
- Pour les couches de surface : évitent les épaufrures/cassures/départ de matériaux/faïançage, donc arrêtent les dégradations.
- Pour les couches internes, l'étanchéisation de surface arrête l'érosion et par là évitent l'apparition de fissures en surface.
- Faisant reculer jusqu'à 4 années la date du renforcement.

I/ CLASSIFICATION DES TRAVAUX D'ENTRETIEN

Les travaux d'entretien sont de deux catégories :

Entretien préventif.

- Chaussées rigides :
 - . Garnissage des joints
 - . Scellement des fissures de niveau léger
- Chaussées souples :
 - . Pontage des fissures de niveau moyen

Entretien curatif.

- Chaussées rigides :
 - . Scellement des fissures de niveau moyen à élevé
 - . Réparation des épaufrures
- Chaussées souples :
 - . Pontage des fissures de niveau élevé
 - . Pontage des faïançages

II/ PRESENTATION DES MATERIAUX

Produit pour pontage des fissures d'enrobés.

C'est un mastic élastoplastique monocomposant à chaud, à base de bitume, d'élastomère, de plastifiant et de charges fines, présenté en pains de 40 Kg.

Sa température de mise en oeuvre est comprise entre 140°C et 180°C. Ce large intervalle de la température permet de régler la viscosité en fonction de la largeur des fissures à sceller.

Produit pour garnissage des joints de dalles.

C'est un mastic élastoplastique à base de brai de houille, de polymère de synthèse, de charges minérales et de différents adjuvants et stabilisants, présenté en pains de 42 Kg.

Sa température de mise en oeuvre est comprise entre 120°C et 130°C.

Produit pour réparation des épaufrures.

C'est un mortier rapide à base de résine époxy et une imprégnation époxydée, présenté en kits renfermant les deux composants avant mélange.

III/ PRESENTATION DU MATERIEL

a) Fondeur (pour fusion des mastics)

Il est composé de :

- Deux cuves coaxiales
 - . Une première cuve pour la fusion du produit
 - . Une seconde cuve enveloppant la première pour le bain d'huile afin d'éviter les surchauffes locales du produit et par là éviter la décomposition de celui-ci.

L'ensemble de ces deux cuves est enveloppé d'une paroi externe formant isolation thermique du fondeur.

- Deux thermomètres indépendants, l'un pour la prise de température du produit et l'autre pour la prise de celle du bain d'huile.
- Un malaxeur horizontal à l'intérieur de la cuve centrale entraîné par un moteur indépendant pour l'homogénéisation du produit pendant la fusion.
- Un groupe pompe-conduit de coulis-sabot finisseur entraîné à l'air comprimé permet l'acheminement du produit fondu jusqu'aux fissures à traiter.

b) Lance thermopneumatique (pour la préparation du support) :

Elle est composée de :

- Un corps de lance formé par une chambre de mélange et de combustion, air-gaz
- Un embout projecteur d'air chaud à 300°C à une pression de 7 bars
- Une bouteille de propane de 35 Kg
- Une batterie 12 V pour le démarrage de la lance.

c) Scie à béton (pour dégraissage des joints de dalles) :

Elle est entraînée par un moteur 10 CV 3000 tr/mn pouvant faire fonctionner un disque allant jusqu'à 400 mm de diamètre à une profondeur de 150 mm.

Elle est reliée à une citerne d'eau pour refroidir les disques et éviter la poussière issue du béton scié.

Les disques utilisés sont diamantés et sont de trois types :

- Disque pour béton frais
- Disque pour béton vieux
- Disque pour béton bitumineux

d) Marteau brise béton :

Il s'agit d'un marteau pneumatique à têtes rondes et plates destiné aux travaux de démolition des revêtements en béton de ciment ou bitumineux dans le cas des réparations ponctuelles de petite envergure.

e) Compresseur d'air :

Il sert d'organe moteur pour l'entraînement à l'air comprimé de tout le matériel cité plus haut à l'exception de la scie à béton.

f) Tronçonneuse (à air comprimé pour ouverture des fissures de dalle de ciment) :

Elle remplace la scie à béton dans le cas des fissures ramifiées ne pouvant être ouvertes par cette dernière.

IV/ MODE OPERATOIRE

Pontage des fissures.

Avant l'application du produit de pontage, la fissure doit être exempte de toute impureté, d'huile, ou d'ancien produit de colmatage tel le sable-émulsion. Pour cela, elle est nettoyée à l'air comprimé à haute température (300°C) produit par la lance thermopneumatique.

Après cette opération, la fissure est prête à recevoir le produit qui est découpé en morceaux d'environ 3 Kg avant d'être envoyé au fondoir. Il faut en moyenne 8 heures pour porter 400 kg de produit -quantité moyenne mise en oeuvre quotidiennement- à la température de mise en oeuvre. L'épaisseur est réglée à l'aide d'un sabot finisseur.

Le mastic doit être sablé à chaud, et juste après passage du sabot, à l'aide de sable propre du type microdiorite préenrobé.

La chaussée peut être rendue à la circulation dès que le produit est refroidi à moins de 50°C soit environ une demi-heure après son application.

Garnissage des joints de dalles en béton.

Cas du béton neuf :

Le support recevant le produit de garnissage doit être sec, propre, dépoussiéré, cohérent et exempt de toute impureté.

Cas des anciens joints :

Il n'est pas possible d'éliminer les anciens produits de garnissage par des moyens mécaniques ou thermiques. Il faut alors élargir les joints en les resciant sur une largeur de 5 mm de part et d'autre du joint.

L'opération de garnissage des joints se déroule de la même manière que celle du pontage des fissures d'enrobés à quelques modifications près.

- Le sabot finisseur est remplacé par un bec en position verticale qui introduit le produit fondu dans le fond du joint.
- Le sablage n'est pas nécessaire
- L'enlèvement des débordements éventuels du produit se fait manuellement à l'aide de grattoirs.

Réparation des épaufrures de dalles en béton.

Après repiquage, brossage, soufflage à l'air comprimé et évacuation des produits de démolition, l'épaufrure reçoit une couche d'imprégnation époxyde avant l'application manuelle à froid du mélange des deux composants du mortier de résine.

CONCLUSION

L'intérêt de ces travaux d'entretien réalisés en régie est plusieurs fois prouvé.

En effet, une couche de roulement arrivée à terme de sa durée de vie présente des dégradations importantes dues au vieillissement des matériaux et aux sollicitations des atterrisseurs d'avions. Ces dégradations se manifestent par des fissures, faïençages qui ont un double effet :

- Elles permettent l'infiltration des eaux de ruissellement, l'érosion par départ des fines des sous couches, fragilisent la couche portante et impliquent un cycle de dégradations structurelles
- Les faïençages créent des départs de matériaux, donc danger pour les réacteurs d'avions à cause du risque d'ingestion.

En étanchant la surface, et réparant les dégradations du revêtement, on permet :

- La sauvegarde de la couche de roulement et la sécurité des avions
- La sauvegarde de la couche de fondation.

De plus sur le plan économique, une étanchéisation permet de retarder de quatre années la réalisation d'une nouvelle couche de roulement. Soit un gain équivalent à 4/100^{ème} du prix d'un tapis d'enrobés dont la valeur est de 15.000.000,00 DH et dont la durée de vie serait de 10 ans, donc un bénéfice de 6.000.000,00 DH.

Sur le plan financier son coût est 60% moins cher qu'à l'entreprise et équivaut pour un aéroport moyen (une piste, deux bretelles et trois postes avions) à 1.000.000,00 DH, soit un gain moyen de 1.500.000,00 DH.