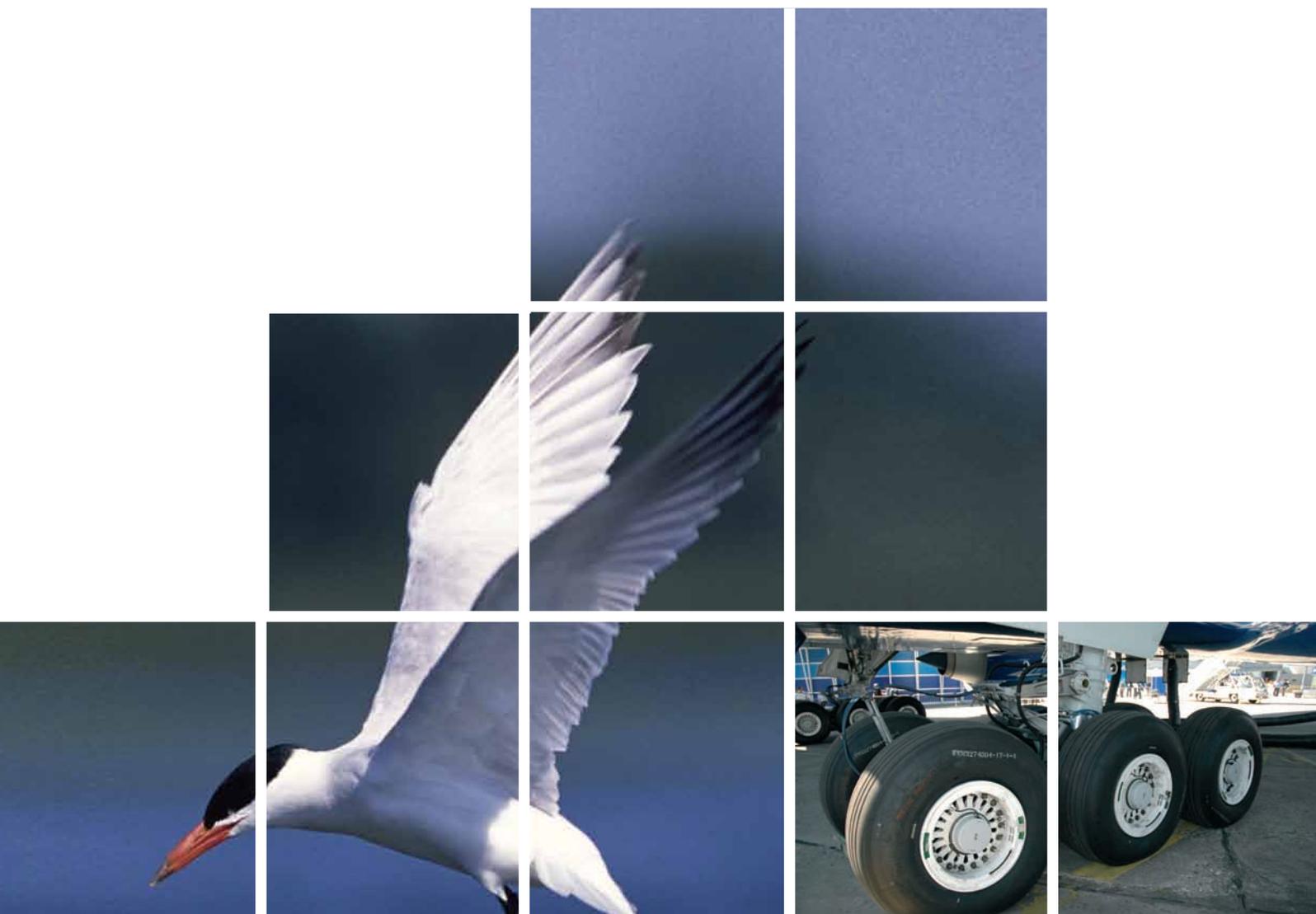


Étude sur la capacité portante des accotements pour avions gros porteurs



Février 2006

direction générale
de l'Aviation civile

service technique
de l'Aviation civile



STAC

Étude sur la capacité portante des accotements pour avions gros porteurs

Service technique de l'aviation civile
94381 Bonneuil sur Marne Cedex

Département Génie civil et pistes

Février 2006



Résumé Summary

L'Aviation Civile Internationale définit trois fonctions auxquelles doivent répondre les accotements :

- Supporter un avion sans induire de dommage structurel à celui-ci ;
- Supporter le poids des véhicules terrestres ;
- Résister à l'érosion et prévenir l'ingestion de matériaux de surface par les réacteurs des appareils.

Les deux premières fonctions ont une influence évidente sur la capacité portante des accotements ; ainsi, ceux-ci devraient être dimensionnés en fonction de la nature du sol et de la charge des appareils susceptibles de circuler dessus au moins une fois. Malheureusement, ce contexte sort du domaine de validité des méthodes actuelles de dimensionnement des chaussées qui prennent en compte des milliers de passage d'une charge roulante.

Cette limitation et l'introduction des nouveaux avions très gros porteurs (New Large Aircraft) présentant une charge à la roue de l'ordre de 25 à 30 t ont incité le service technique de l'aviation civile à mener une expérimentation afin de comparer in situ le comportement de différentes structures d'accotement.

Une planche d'essais composée de cinq structures différentes a été soumise à des charges similaires à un atterrisseur d'un avion très gros porteur.

Cette note présente donc cette expérimentation, son contexte réglementaire, le choix du site, la construction des différentes structures et les résultats obtenus.

Ces essais ont mis en évidence qu'au moins une des structures testées était capable de supporter au moins un passage d'un atterrisseur d'un avion très gros porteur. De plus, cette section a subi l'application d'une charge pendant 18 heures sans déformation permanente visible.

The purpose of this study is to test several pavement shoulder structures in order to answer of the requirement imposed by New Large Aircraft (NLA).

International Civil Aviation Organization identifies three potential functions for shoulders :

- *To support airplane without inducing structural damage to it ;*
- *To support load of ground vehicles ;*
- *To resist erosion and prevent ingestion of surface materials by aircraft engines.*

The two first functions have an impact on bearing capacity ; so, structure of shoulders could be designed in correlation with subgrade and load of aircraft considering at least one pass.

Introduction of New Large Aircraft with a load by wheel close to 25-30 t conducted STAC (French civil aviation technical center) to lead an experimentation to compare some shoulder structures.

An experimental shoulder with five different structures has been tested with a NLA Wing Landing Gear module.

This paper describes the experimentation with context, site selection, test section construction, test procedures and results.

This experimentation showed one of tested structures was able to support at least one pass of NLA gear. Then, this shoulder section was tested with the load applied during 18 hours. No permanent deformation was observed.

Analyse Analysis

Les structures des chaussées aéronautiques sont actuellement dimensionnées pour quelques dizaines de milliers de chargement. Les fonctions même des accotements des chaussées aéronautiques impliquent que ceux-ci ne soient par nature que très occasionnellement sollicités. Ainsi, leur dimensionnement sort du domaine de validité des méthodes actuelles de dimensionnement des chaussées.

Pour pallier ces lacunes, le Service technique de l'aviation civile, avec le soutien opérationnel d'Airbus, a initié une expérimentation en vraie grandeur afin de pouvoir proposer une structure répondant aux préconisations de l'Organisation de l'aviation civile internationale.

À l'issue de ces tests, une des cinq structures testées a prouvé son efficacité sous charges roulantes et sous charges fixes. Celle-ci semble pouvoir être préconisée pour supporter sans dommage le passage occasionnel d'avions très gros porteurs.

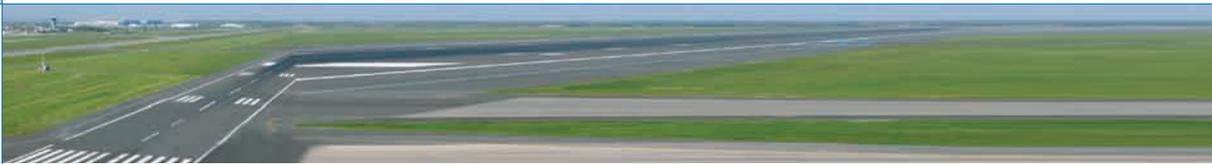
Airfield pavement structures are actually designed in correlation with a few tens of thousands load repetitions. Due to their functions, airfield pavement shoulders are occasional circulated. So, design of these specific structures exceeds validity of actual pavement design methods.

To fill in these lacks, the French civil aviation technical department, with the operational support of Airbus, initiated a full size experimentation to be able to propose one structure answering to ICAO requirements.

At the end of tests, one of five tested structures proved its efficiency and seems to correspond to the waits. This structure could be recommended to support new large aircraft overrun.

Sommaire

1.	Problématique	6
1.1.	Rappel du contexte	6
1.2.	Objet des accotements de piste et de voie de circulation	6
2.	Expérimentation proposée	7
2.1.	Site retenu	7
2.2.	Sections d'essais	7
2.3.	Construction / essais de plaque	8
2.3.1.	Sol	8
2.3.2.	Sol traité	8
2.3.3.	Couche de base	9
3.	Essais	10
3.1.	Principe / objectifs	10
3.2.	Charge critique	10
3.3.	Déroulement des essais	11
4.	Résultats	12
4.1.	Essai 1: module 4 roues: A380-800 trajectoire 1 (type 2 vers type 1)	12
4.2.	Essai 2: module 4 roues: A380-800 trajectoire 2 (type 1 vers type 2)	13
4.3.	Essai 3: module 4 roues: A380-800 stationnement statique sur sifflet	14
4.4.	Essai 4: module 2 roues: trajectoire en « S » (type 1 vers type 2)	15
4.5.	Essai 5: module 4 roues: A380-800F trajectoire 1 (type 1 vers type 2)	16
4.6.	Essai 6: module 4 roues: A380-800F trajectoire 2 (type 2 vers type 1)	17
5.	Conclusions	18
5.1.	Résultats expérimentaux	18
5.2.	Suites à donner	18
	Annexes	21
	Glossaire	29



1. Problématique

1.1. Rappel du contexte

La présente expérimentation sur la capacité portante occasionnelle des accotements est à replacer dans le contexte actuel des réflexions en cours sur les méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques et des réflexions sur l'accueil des nouveaux appareils gros porteurs : les discussions en cours sur la possibilité pour l'A380 d'opérer sur des pistes de 45 m de large ont permis de mieux comprendre les mécanismes des sorties latérales de piste et d'apprécier l'importance des accotements. L'arrivée récente d'avions relativement contraignants pour les chaussées comme l'A340-600 et le

B777-300ER ainsi que l'arrivée programmée de l'A380 incitent le STAC à étudier le comportement des accotements lors de passages d'avions de grande dimension (le choix de considérer l'A380 dans cette étude relève d'une opportunité - disponibilité d'un simulateur sur le site expérimental).

Il convient cependant de rappeler que la présente étude n'a pas pour objet de définir des accotements spécifiques pour l'A380, mais d'étudier la capacité des infrastructures testées à supporter le roulage occasionnel d'avions gros porteurs.

1.2. Objet des accotements de piste et de voie de circulation

Par définition, un accotement est une zone qui borde une surface pourvue d'un revêtement et qui est traitée de façon à constituer une transition entre le revêtement et la surface adjacente (§1.6 du volume 2 du Manuel de conception des aérodromes).

L'Instruction technique pour les aérodromes civils (ITAC) et l'annexe 14 à la convention de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) identifient dans divers paragraphes trois fonctions potentielles pour les accotements¹ :

- Supporter le poids d'un avion qui sortirait de la piste sans que cet avion subisse des dommages structurels.
- Résister à l'érosion et éviter l'ingestion des matériaux de surface par les moteurs d'avions.
- Supporter le poids des véhicules terrestres (véhicules du service de sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs notamment).

Les fonctions 1 et 3 ont des répercussions évidentes sur la capacité portante requise pour la structure de l'accotement alors que de la 2^e fonction découlent des propriétés de cohésion et de résistance au souffle de la surface de l'accotement. Avant de rentrer dans le détail de la structure et de la nature des accotements, il est donc essentiel de s'entendre sur le (ou les) objet(s) des accotements (voir les différences répertoriées entre les § de l'ITAC et de l'OACI en annexe).

Pour cela, il convient de dissocier la problématique accotement de piste de celle des accotements

de voie de circulation. En effet, les risques et conséquences associés à un endommagement du train de l'aéronef subit lors d'un roulage sur l'accotement, sont bien plus critiques lors des phases de décollage ou d'atterrissage que lors du roulage de l'aéronef.

L'expérience montre que les dommages subis par les trains d'atterrissage sont essentiellement causés par une dégradation de l'accotement (orniérage, rupture, désagrégation,...) sous le poids de l'aéronef. Dès lors, il convient de porter une attention particulière à la capacité de l'accotement à supporter le roulage occasionnel d'un aéronef sans que ce dernier ne subisse de dommages structurels.

Cette capacité implique, en théorie de dimensionner les accotements en fonction de la nature du sol support pour un passage au moins de l'avion critique sans dommage structurel de ce dernier.

Un tel dimensionnement est, en pratique, impossible. En effet, ce cas de figure sort du domaine de validité des méthodes de dimensionnement actuelles. Les méthodes et modèles de dimensionnement de chaussée ont été développés pour des trafics importants et leur utilisation pour concevoir des accotements est donc inadaptée.

Il a donc été décidé d'analyser expérimentalement le comportement de différents types de structures d'accotement lors du roulage d'un système roulant simulant le passage d'un train d'atterrissage de l'A380.

¹ Les termes repris ici sont ceux de l'annexe 14 de l'OACI

2. Expérimentation proposée

2.1. Site retenu

Une recherche de site à Toulouse-Blagnac menée localement par le service local des bases aériennes et Airbus France a conduit à retenir une zone dans l'enceinte d'Airbus France, hors servitudes aéronautiques de l'aéroport. Il s'agit d'une voie de cir-

culution en béton de ciment construite récemment. Les sections d'essai ont été ainsi construites comme un accotement à cette voie de circulation.

2.2. Sections d'essais

Les structures d'accotement testées lors de cette expérimentation sont inspirées de la structure minimale préconisée dans l'ITAC (type 2 bis), et des structures utilisées sur certaines plates-formes (type 1) avec un croisement de paramètres qui

donne deux structures hybrides, complétées par une structure expérimentale (type 3).

La pente transversale adoptée pour toutes les sections est de 1.5 %.

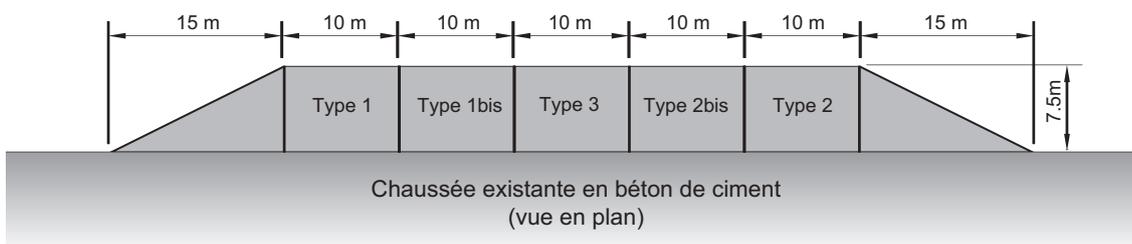
Type 1	Type 1 bis	Type 3	Type 2 bis	Type 2
- 6 cm de BBA	- 6 cm de BBA	- 6 cm de BBME	- 6 cm de BBA	- 6 cm de BBA
- 20 cm de GLSR	- 20 cm de GLSR	- 20 cm de GRH	- 20 cm de GRH	- 20 cm de GRH
- 30 cm de sol traité à la chaux vive à 2 %	- géotextile - sol naturel	- géotextile - sol naturel	- géotextile - sol naturel	- 30 cm de sol traité à la chaux vive à 2 %

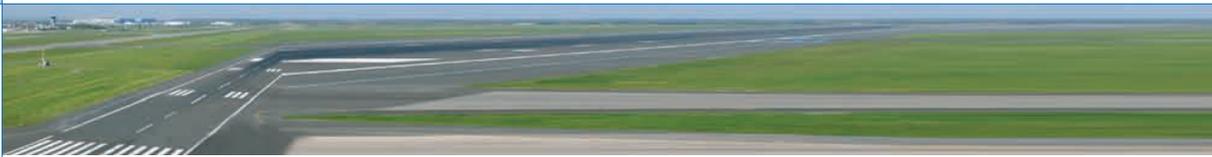
BBA: béton bitumineux aéronautique (0/10 classe 2)

BBME: béton bitumineux à module élevé (0/10; caractéristiques confidentielles)

GLSR: grave traitée aux liants spéciaux routiers (0/14)

GRH: grave reconstituée humidifiée (0/20)





2.3. Construction / essais de plaque

Lors de la construction des structures expérimentales des essais de module EV2 ont été réalisés sur le sol naturel, le sol après traitement et sur la couche de base.

2.3.1. Sol

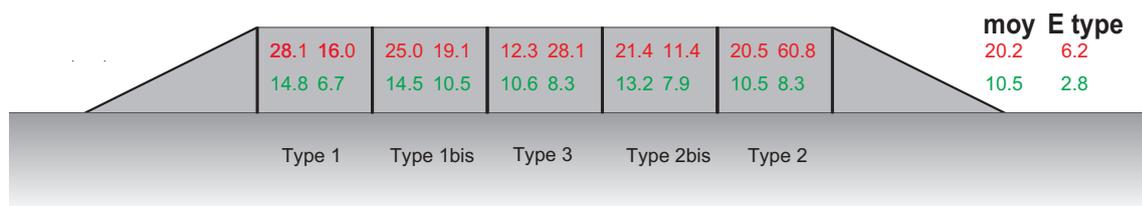
Les résultats obtenus au niveau du sol montrent une portance beaucoup plus faible que prévue lors de la phase projet de l'expérimentation (CBR 7 et 10 retenu). On obtient en effet une valeur moyenne de 15.1 MPa (en supprimant le point à 60 MPa), correspondant plutôt à une valeur de CBR de 2 ou 3. En outre, l'échantillon est assez dispersé (écart type de l'ordre de 7 MPa).

En observant plus précisément les valeurs, on peut distinguer deux « lignes » bien distinctes représentées en rouge et en vert sur le schéma ci-dessus. Les écarts types obtenus pour chacune de ces deux zones sont moins importants. Ceci s'explique phy-

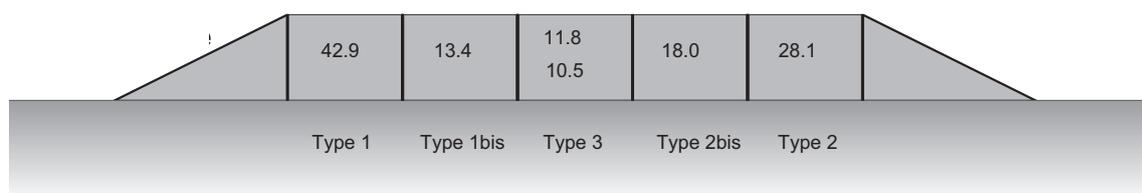
siquement car la zone correspondant à la ligne verte a été effectivement davantage remaniée que l'autre lors des travaux récents de construction de la piste en béton adjacente (passage de slip form...). Néanmoins, compte tenu de la très faible portance de ces deux lignes, le comportement sous charge ne devrait cependant pas être très différent. Malgré les valeurs très faibles, il a été décidé de conserver les structures prévues; il semble cependant probable que certaines sections d'essai (type 2 bis surtout) présenteront des faiblesses structurelles.

2.3.2. Sol traité

Le processus employé pour le traitement est le suivant: le sol a été préalablement extrait, traité puis remis en place et compacté. Ceci permet d'expliquer des « baisses » de portance après le traitement (comparaison des points 10.7 non traités et 9.9 traités). En outre, les mesures présentées ci dessus



PORTANCE SOL (MPa)



PORTANCE SOL TRAITÉ (MPa)

sont des mesures à très court terme (J +1); or, la portance d'un sol traité est surtout augmentée à long terme.

Les mesures réalisées, à l'issue de l'expérimentation, par essais de plaque dans un sondage donnent les résultats suivants (les sondages ont été réalisés au milieu des planches, sur une ligne médiane entre les lignes rouges et vertes, sauf pour la section type 3 pour laquelle deux points ont été réalisés).

On constate que la portance du sol non traité n'a pas ou peu évoluée (à la dispersion des mesures près), et au contraire que la portance du sol traité a augmenté sensiblement (compte tenu de la localisation du sondage, la valeur de 28.1 MPa obtenue sur la section type 2 est à comparer aux valeurs immédiates après traitement de 9.9 et 20.3 MPa).

On retiendra donc une valeur de CBR = 3 pour le sol naturel et une valeur de CBR = 6 pour le sol

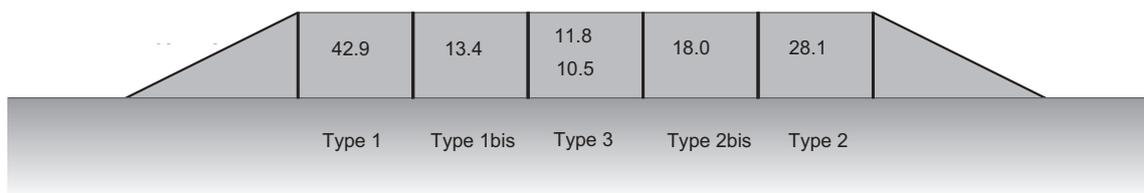
traité (assez cohérent avec la valeur de 42.9 MPa observée sur la section type 1, et avec « l'usage » selon lequel un traitement permet de gagner 2 à 3 points de CBR).

2.3.3. Couche de base

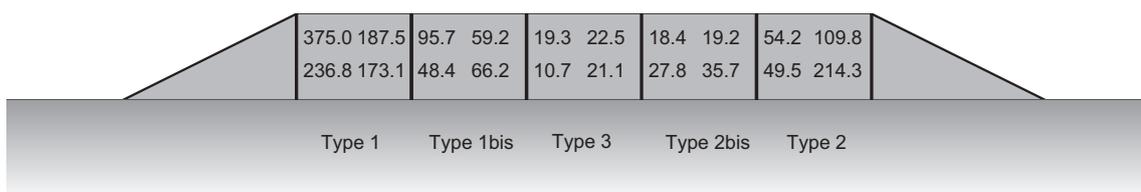
Il ressort des mesures ci dessus une assez grande dispersion des valeurs pour les couches de base en GLSR (type 1 et type 1 bis), ainsi que pour la couche de base en GRH sur le sol traité (type 2). En revanche, les résultats sont plus homogènes sur la couche de base en GRH sur sol non traité (type 2 bis et type 3). On remarque également une zone plus faible que les autres (point à 10.7 MPa).

À la dispersion près, on note toutefois les tendances suivantes (que l'on devrait logiquement retrouver lors des essais avec l'atterrisseur):

Type 1 > Type 1 bis ~ Type 2 > Type 2 bis = Type 3



**PORTANCE SOL
MOYEN TERME (MPa)**



BASE (MPa)



3. Essais

3.1. Principe / objectifs

La présente expérimentation sur la capacité portante occasionnelle des accotements a pour but de vérifier si les structures choisies sont capables de supporter le passage occasionnel d'un atterrisseur d'avion gros porteur. On étudie ici les dommages éventuels sur la structure de l'accotement que pourrait causer un atterrisseur lors d'un passage unique.

L'objectif premier est donc d'observer si, pour un seul passage, les sections d'essai cassent « brutalement » ou non. Les conditions de l'essai (conditions « expérimentales ») sont différentes et beaucoup plus pénalisantes pour la chaussée que les conditions « opérationnelles » de circulation sur accotement (à vitesse beaucoup plus élevée normalement); ceci a une influence sur l'interprétation des résultats des essais :

1 Ainsi, la section est considérée comme apte au roulage occasionnel si le bogie ne provoque pas de dégât important (poinçonnement ou ornières principalement) et surtout immédiat. On pourrait

en effet admettre de l'orniérage différé de structure: dans ce cas, le bogie circulerait sans dommage immédiat sur la section (et donc sans dommage pour lui); les dommages structurels apparaîtraient plus tard (le lendemain par exemple), ce qui n'est pas rédhibitoire, d'une part du fait des statistiques et de la probabilité extrêmement réduite de deux roulages « accidentels » au même endroit, et d'autre part avec la possibilité de réparer rapidement ce type de structure (ce qui suppose un relevé de ces dommages lors d'inspections visuelles de piste par exemple). La section ayant résisté dans des conditions expérimentales défavorables, on considère que ce sera également vrai en conditions opérationnelles.

1 Si, au contraire, la section présente des dommages importants suite à l'expérimentation, on ne pourra, par contre, pas dire qu'elle n'est pas adaptée aux conditions opérationnelles (l'étendue des dommages donnera toutefois une indication).

3.2. Charge critique

L'avion retenu pour ces essais est l'A380 car les modules disponibles de l'expérimentation sur chaussées rigides de l'A380 Pavement Experimental Program en cours de réalisation permettaient de simuler facilement cet avion. Seul le bogie d'aile 4 roues est considéré (étant celui le plus susceptible de circuler sur l'accotement).

Un module 4 roues a été mis aux côtes (voie 135 cm et empattement 170 cm) de l'A380-800 et tracté par le camion SCANIA du STAC utilisé pour le PEP. Dans un premier temps, la charge à la roue retenue est celle de l'A380-800 (MTOW 560 t), soit 26,7 t/roue; dans un deuxième temps, la char-

ge à la roue a été portée à 28,6 t/roue (A380-800F; MTOW 600 t). Le module 2 roues (voie 140 cm) chargé à 21,5 t/roue a également été utilisé. Le module 4 roues n'étant pas manœuvrable avec le camion autrement qu'en ligne droite (problème de résistance du timon en cas de virage), l'expérimentation a nécessité la présence permanente d'une grue afin d'assurer la mise en place et le chargement du module sur les sifflets de raccordement.

La vitesse de roulage, de l'ordre de 3 km/h, simule des conditions particulièrement pénalisantes de roulage sur accotement de piste (où, en conditions opérationnelles, la vitesse est beaucoup plus élevée).



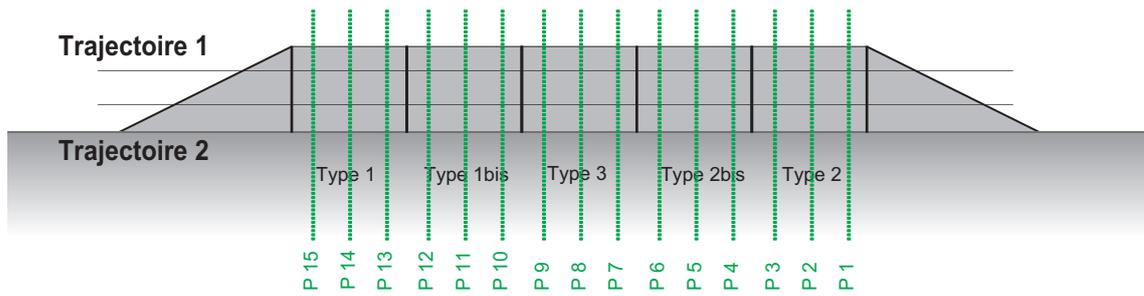
Mise en place et chargement du module 4 roues

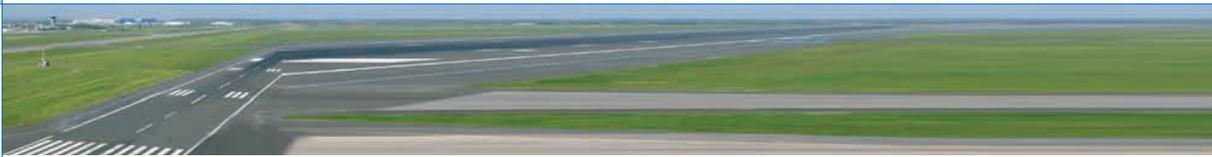


3.3. Déroulement des essais²

Les essais se sont déroulés les 3 et 4 juillet 2002.
Le référencement des trajectoires ainsi que des profils de relevé de la profondeur d'ornièrè (tous les 2,5 m) sont indiqués ci après.

² Les planches photographiques des essais sont disponibles en annexe





4. Résultats

Deux grands types de comportements ont été observés. Si la capacité portante de l'accotement est suffisante, le bogie est capable de rouler plusieurs fois sur la structure, avec ou sans déformation élastique. À l'opposé, en cas de faiblesse de la

chaussée, le bogie s'enfonce dans la structure (soudainement ou non), il a donc fallu utiliser une grue pour extraire le module et le placer sur le taxiway en béton.

4.1. Essai 1: module 4 roues; A380-800 trajectoire 1 (type 2 vers type 1)

Début du roulage le 03/07/02 à 9h05 locale ; essai interrompu à 9h06 (enfoncement du bogie dans la structure type 2 bis)

Plusieurs relevés d'ornièrre ont été réalisés: immédiatement après l'essai, le même jour à 15h15 locale et le lendemain (04/07/02) à 7h30 locale.

L'enfoncement du bogie a été « brutal » et reste assez symétrique (comparaison des axes 1 et 2), ce qui laisse supposer une certaine homogénéité du support sous les deux axes.

Compte tenu des résultats d'ornièrre immédiatement après circulation, les observations en terme de roulage occasionnel de ces accotements pour le

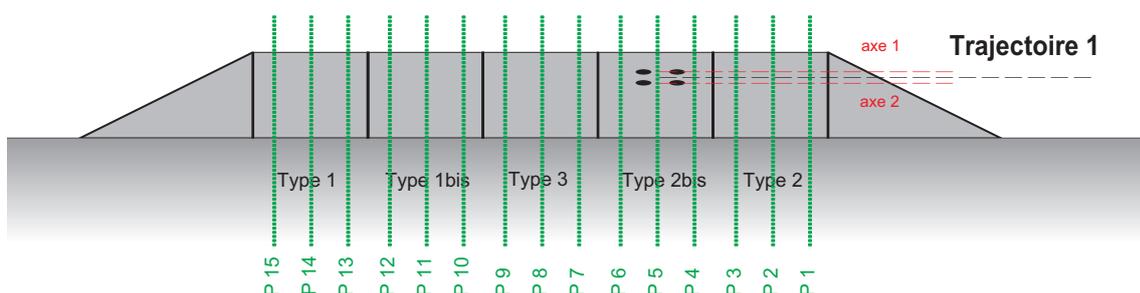
bogie 4 roues de l'A380-800 sont les suivantes :

- section type 2: apte dans les conditions de l'expérimentation (avec certainement des travaux de réfection de l'accotement à prévoir à l'issue d'une sortie de piste et/ou immobilisation sur l'accotement)
- section type 2 bis: inapte dans les conditions de l'expérimentation.

On note ici l'impact très fort du sol traité.

En outre, on ne constate pas d'aggravation de la profondeur d'ornièrre avec le temps, mais plutôt une très légère réduction de celle-ci.

		Axe 1			Axe 2		
		03/07/02 à 9h06	03/07/02 à 15h15	04/07/02 à 7h30	03/07/02 à 9h06	03/07/02 à 15h15	04/07/02 à 7h30
type 2	P1	3 mm	2 mm	2 mm	3 mm	2 mm	2 mm
	P2	14 mm	13 mm	13 mm	13 mm	13 mm	13 mm
	P3	10 mm	7 mm	9 mm	8 mm	8 mm	7 mm
type 2 bis	P4	30 mm	30 mm	30 mm	30 mm	29 mm	28 mm
	Ornièrre maxi-essieu arrière	70 mm			70 mm		
	P5	55 mm	46 mm	48 mm	62 mm	48 mm	48 mm
	Ornièrre maxi-essieu avant	145 mm			139 mm		
P6		non circulé			non circulé		





Ornière section type 3; vue selon l'axe 1 (essieu arrière)

4.2. Essai 2: module 4 roues; A380-800 trajectoire 2 (type 1 vers type 2)

Début du roulage le 03/07/02 à 11h25 locale; essai interrompu à 11h26 (enfoncement du bogie dans la structure type 3)

Plusieurs relevés d'ornière ont été réalisés: immédiatement après l'essai, le même jour à 15h15 locale et le lendemain (04/07/02) à 7h30 local.

Aucun profil n'a été atteint sur la section type 3, donc aucun relevé n'a été effectué.

L'enfoncement du bogie a été très « brutal » et est très dissymétrique (comparaison des axes 1 et 2), ce qui laisse supposer une certaine hétérogénéité du support sous les deux axes. En effet, l'analyse des portances (voir § 2.3. Construction/Essais de plaque) montre que la zone de rupture se situe précisément sur le point le plus faible relevé sur la couche de base (zone à 10.7 MPa).

On constate que la faiblesse du sol de la section type 3 a induit des dommages à la couche de GLSR entraînant la rupture de l'enrobé dans la section type 1 bis au voisinage. Ceci explique certainement les différences d'observation pour la section type 1 bis entre les profils P12 et P11 (très comparables) et le profil P10.

Cette rupture due à cette zone particulièrement faible du support ne permet pas de juger du comportement du BBME (par comparaison avec la rupture dans la section type 2 bis de l'essai n° 1).

Compte tenu des résultats d'ornière immédiatement après circulation, les observations en terme de roulage occasionnel de ces accotements pour le bogie 4 roues de l'A380-800 sont les suivantes :

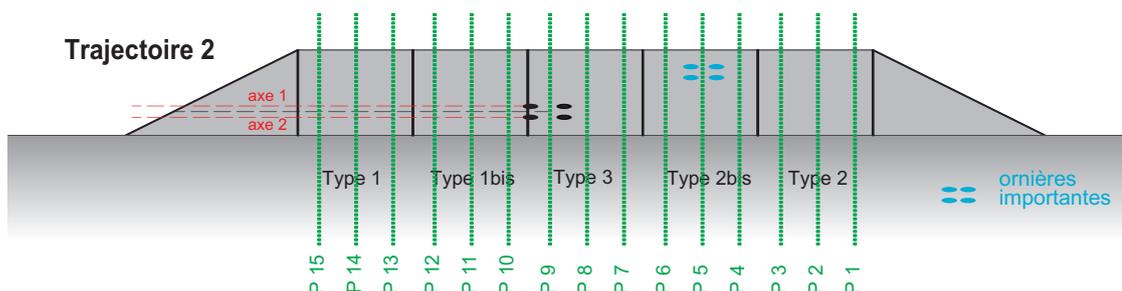
- section type 1 : apte dans les conditions de l'expérimentation; aucun dommage structurel n'apparaît pour un passage du bogie.
- section type 1 bis : apte dans les conditions de l'expérimentation; un très faible dommage résiduel (profils P12 et P11) ne nécessitant pas forcément des travaux de réfection.

On constate que la section type 1 bis se comporte a priori mieux que la structure type 2 bis (profondeur d'ornière moins importante), ce qui n'était pas évident au vu des essais de plaque réalisés sur le sol.

En outre, on ne constate pas d'aggravation de la profondeur d'ornière avec le temps, mais plutôt une très légère réduction de celle-ci (sauf pour le profil P10 axe 1, qui s'explique compte tenu du sol support).

³ NM : non mesurable

		Axe 1			Axe 2		
		03/07/02 à 11h26	03/07/02 à 15h15	04/07/02 à 7h30	03/07/02 à 11h26	03/07/02 à 15h15	04/07/02 à 07h30
type 1	P15	≈ 1 mm	< 1 mm	NM ³	≈ 1 mm	< 1 mm	NM
	P14	≈ 1 mm	< 1 mm	NM	≈ 1 mm	< 1 mm	NM
	P13	≈ 1 mm	< 1 mm	NM	≈ 1 mm	< 1 mm	NM
type 1 bis	P12	≈ 5 mm	3 mm	2 mm	3 mm	1 mm	< 1 mm
	P11	≈ 4 mm	2 mm	2 mm	2 mm	< 1 mm	< 1 mm
	P10	≈ 6 mm	12 mm	12 mm	2 mm	< 1 mm	< 1 mm





4.3. Essai 3: module 4 roues A380-800 stationnement statique sur sifflet



Photothèque STAC / J. PETITJEAN



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

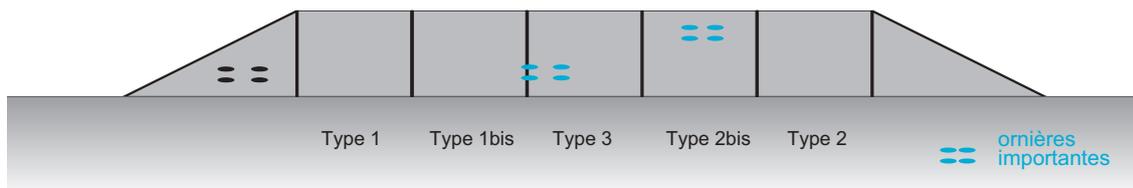
Essai statique A380-800 sur sifflet de raccordement

Compte tenu du bon niveau de résistance de la section type 1, il a été décidé de disposer le module chargé sur un des sifflets de raccordement (structure identique à type 1) et de le laisser jusqu'au lendemain matin. Le module a été disposé vers 15 heures sous assez forte température (température ambiante de l'ordre de 25 °C et environ 40 °C en surface).

L'observation, le lendemain matin, montre un léger fluage de l'enrobé localisé strictement sous les empreintes des pneumatiques, d'une profon-

deur de l'ordre de 2 mm au maximum, qui s'explique très certainement par la température assez forte au début de l'essai.

Cette section type 1 montre donc une excellente résistance, et doit même pouvoir être circulée à plusieurs reprises sans dommage (cet essai statique a d'ailleurs été mis en place pour pallier l'impossibilité de réaliser plusieurs passages consécutifs sur les sections les plus résistantes du fait de la présence des ornières très importantes et non circulables au centre de la zone d'essai).





Photothèque STAC / D. GUÉDON

Déformation section type 3 sous l'essieu arrière du camion

4.4. Essai 4: module 2 roues; trajectoire en « S » (type 1 vers type 2)

Compte tenu du fait que les essais suivants (5 et 6) étaient prévus à charge légèrement plus lourde (A380-800F) et donc que le comportement des sections allait être sensiblement le même, il a été décidé de réaliser un essai à l'aide d'un module 2 roues (voie 140 cm), à une charge plus réduite (21,5 t/roue) et présentant l'avantage d'être très maniable et de pouvoir adopter une trajectoire en « S » de façon à circuler sur des zones neuves. L'objectif était de traverser la totalité des sections, pour essayer notamment de comparer le comportement des sections type 3 et type 2 bis pour essayer d'évaluer les performances du BBME.

Début du roulage le 04/07/02 à 08h25 locale (température surface enrobé: 22 °C); toutes les sections ont été circulées.

Les résultats de mesure de profondeur d'ornièrre sont ⁴ :

On constate donc une résistance relativement bonne des accotements.

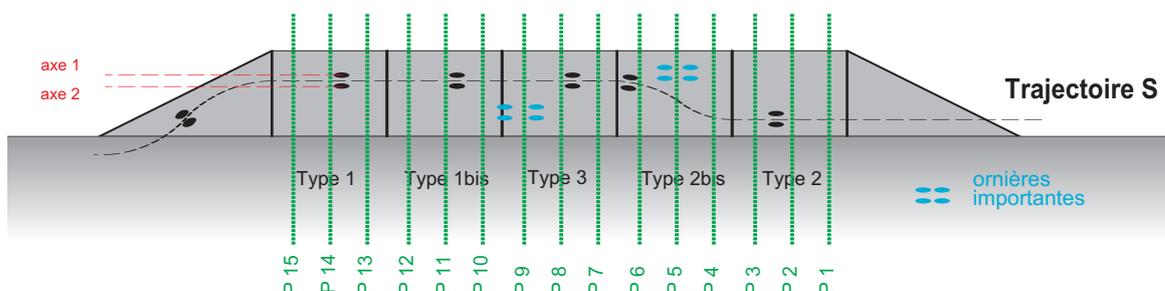
Même si les importantes déformations sous l'axe 1 pour la section type 2 bis s'expliquent certainement en partie par le passage à proximité de l'ornièrre créée lors de l'essai n° 1, il semble que la section type 3 résiste mieux que la section type 2 bis.

Ces résultats ne rendent toutefois pas compte de la très importante déformation élastique (de l'ordre du centimètre au minimum) au passage du module 2 roues sur les sections type 2 bis et type 3, qui s'observe d'ailleurs même sous l'essieu arrière du camion.

		Axe 1	Axe 2
type 1	P15	0 mm	0 mm
	P14	0 mm	0 mm
	P13	0 mm	0 mm
type 1 bis	P12	2 mm	0 mm
	P11	2 mm	0 mm
	P10	2 mm	0 mm
type 3	P9	7 mm	15 mm
	P8	6 mm	8 mm
	P'7	12 mm	12 mm
type 2 bis ⁵	P'6	30 mm	10 mm
	P'5	58 mm	18 mm
	P'4	24 mm	8 mm
type 2	P3	6 mm	NM ⁵
	P2	6 mm	NM
	P1	3 mm	NM

⁴ La règle est toujours placée perpendiculairement à la trajectoire ; les profils P'7, P'6, P'5 et P'4 ne correspondent donc pas aux profils P7, P6, P5 et P4.

⁵ NM : non mesurable car sur la fin de la trajectoire, le pneumatique de l'axe 2 était à cheval sur la zone d'essai et le taxiway en béton adjacent.





4.5. Essai 5: module 4 roues; A380-800F trajectoire 1 (type 1 vers type 2)

Début du roulage le 04/07/02 à 09h30 locale (température de l'enrobé: 30 °C); essai interrompu à 09h31 (enfoncement du bogie dans la structure type 3).

Cette trajectoire ayant déjà été circulée par le module deux roues, les profondeurs d'ornièrre relevées après ce passage sont rappelées pour mémoire:

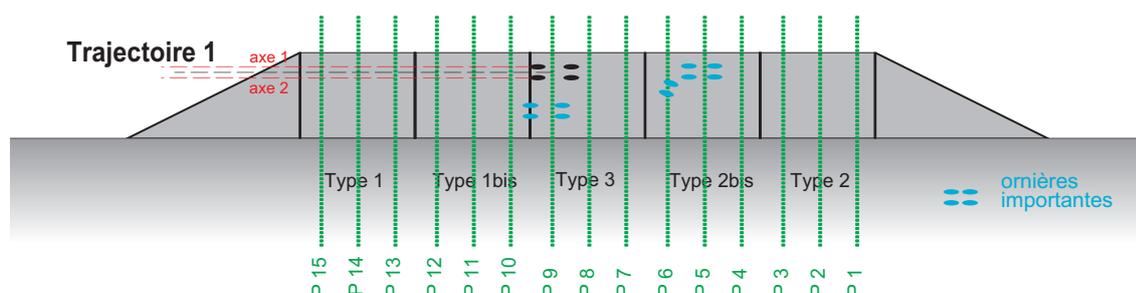
L'enfoncement du bogie n'a pas été aussi « brutal » que celui de l'essai n° 2 sur la même section; l'empreinte dans le BBME reste assez symétrique (comparaison des axes 1 et 2) et surtout l'enrobé n'a pas « cédé » comme lors des

essais précédents: il s'est en fait soulevé (voir planches photographiques en annexe). La chaussée ne s'est pas effondrée: l'arrêt de l'essai a été provoqué par l'impossibilité pour le camion de sortir le module de l'ornièrre par manque de puissance (l'essai aurait pu être poursuivi avec un tracteur plus puissant). Le comportement de la section type 3 au cours de cet essai semble montrer la capacité du BBME à éviter une rupture brutale de la chaussée. Cependant, compte tenu de la faiblesse du support au droit de cette section (point à 19 MPa sur la couche de base, expliquant certainement en partie la déformation du profil P10), nous ne concluons pas sur la capacité au roulage occasionnel de la section type 3.

Compte tenu des profondeurs d'ornièrre relevées immédiatement après circulation, les conclusions en terme de roulage occasionnel de ces accotements pour le bogie 4 roues de l'A380-800F sont les suivantes:

- section type 1: apte dans les conditions de l'expérimentation.
- section type 1 bis: apte dans les conditions de l'expérimentation; un dommage résiduel est présent, pouvant nécessiter des travaux de réfection.

		Axe 1		Axe 2	
		2 roues	04/07/02 à 9h30	2 roues	04/07/02 à 9h30
type 1	P15	0 mm	1,5 mm	0 mm	0 mm
	P14	0 mm	1,5 mm	0 mm	0 mm
	P13	0 mm	2 mm	0 mm	0 mm
type 1 bis	P12	2 mm	5 mm	0 mm	4 mm
	P11	2 mm	6 mm	0 mm	4 mm
	P10	2 mm	19 mm	0 mm	5 mm



4.6. Essai 6: module 4 roues; A380-800F trajectoire 2 (type 2 vers type 1)

Début du roulage le 04/07/02 à 11 h00 locale (température superficielle de l'enrobé: 30 °C); essai interrompu à 11 h01 (enfoncement du bogie dans la structure type 2 bis).

Cette trajectoire ayant déjà été circulée par le module deux roues, les profondeurs d'ornière relevées après ce passage sont rappelées pour mémoire:

En outre, la mise en place de cet essai a nécessité un roulage à vide du module (40 tonnes, soit 10 t/roue); un relevé des déformations avant l'essai a donc été réalisé:

Le bogie s'enfonce brutalement avec une forte inclinaison selon l'axe 1, au tout début de la section type 2 bis. L'enfoncement est totalement dissymétrique (quasiment aucune déformation sous

l'axe 2), ce qui pourrait provenir d'une faiblesse de la zone centrale du support (les essais de plaque donnaient une valeur de 7.9 MPa pour le sol support à ce niveau).

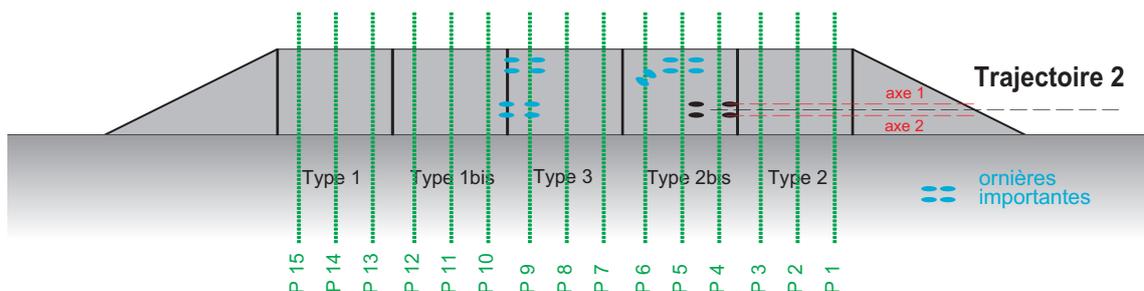
Compte tenu des résultats d'ornière immédiatement après circulation, les conclusions en terme de roulage occasionnel de ces accotements pour le bogie 4 roues de l'A380-800F sont les suivantes:

- section type 2: limite apte dans les conditions de l'expérimentation (avec certainement des travaux de réfection de l'accotement à prévoir à l'issue d'une sortie de piste et/ou immobilisation sur l'accotement)
- section type 2 bis: inapte dans les conditions de l'expérimentation.

Comme pour le premier essai, on constate l'importance du sol traité dans le cas des faibles structures (cet effet est plus « masqué » pour les sections GLSR).

⁶ ATTENTION: les valeurs rappelées pour le module 2 roues sur la section type 2 bis correspondent en fait aux profils perpendiculaires P'4, P'5 et P'6, et ne doivent donc pas être comparées avec les mesures réalisées juste avant l'essai.

		Axe 1			Axe 2		
		2 roues	04/07/02 à 10h50	04/07/02 à 10h50	2 roues	04/07/02 à 9h30	04/07/02 à h01
type 2	P1	3 mm	3 mm	10 mm	NM	0 mm	3 mm
	P2	6 mm	5 mm	16 mm	NM	0 mm	3 mm
	P3	6 mm	8 mm	27 mm	NM	2 mm	3 mm
type 2 bis ⁶	P4	24 mm	11 mm	-	8 mm	10 mm	-
	P5	58 mm	8 mm	-	18 mm	2 mm	-
	P6	30 mm		-	10 mm		-





5. Conclusions

5.1. Résultats expérimentaux

Les conclusions en terme de roulage occasionnel des accotements types testés lors de cette expérimentation pour le bogie 4 roues sont les suivantes :

- section type 1 : apte dans les conditions de l'expérimentation, et donc dans les conditions opérationnelles normalement moins contraignantes. Cette section a en outre résisté à une charge statique pendant près de 18 heures sans aucun dommage apparent. L'essai est donc particulièrement concluant ; de tels accotements de piste remplissent bien la fonction « roulage occasionnel » d'un avion gros porteur sans dommage structurel pour l'appareil.
- section type 1 bis : apte dans les conditions de l'expérimentation, et donc pour des conditions opérationnelles normalement moins contraignantes ; un dommage résiduel est présent, pouvant nécessiter des travaux de réfection.
- section type 3 : inapte dans les conditions de l'expérimentation ; on ne peut pas conclure pour les conditions opérationnelles. On ne peut pas conclure non plus sur l'efficacité du BBME ; néanmoins, il semble que ce produit ne suffit pas à reprendre à lui seul les faiblesses du support (essai n° 2).

5.2. Suites à donner

La présente expérimentation a permis de tester « en vraie grandeur » cinq types de structures d'accotement.

Sans en tirer de conclusions définitives, elle nous permet de confirmer que certaines structures répondront mieux que d'autres aux sollicitations générées par la circulation occasionnelle sur les accotements d'un avion gros porteur :

Une structure type 1 semble surdimensionnée mais elle présente l'avantage de ne pas nécessiter d'entretien en cas de circulation occasionnelle. En présence d'un sol support de mauvaise qualité, les structures type 1 bis et 2 seront sans doute à reprendre en cas de sortie accidentelle de piste. Les structures type 2 bis et 3 telles qu'utilisées dans cette expérimentation devront sans doute être à reprendre en présence d'un sol support de faible portance ou remplacées par un autre type de structures.

- section type 2 bis : inapte dans les conditions de l'expérimentation ; on ne peut pas conclure pour les conditions opérationnelles.

- section type 2 : apte en limite pour les conditions expérimentales (avec certainement des travaux de réfection de l'accotement à prévoir à l'issue d'une sortie de piste et/ou immobilisation sur l'accotement d'un gros-porteur).

Il convient de noter que la « classification » des accotements types en fonction de leur comportement lors des essais est identique à celle établie suite aux essais de plaques, ce qui montre que la nature de la couche bitumineuse de surface n'a que peu d'influence sur la résistance globale de la chaussée. Remarquons enfin que même dans le cas de très mauvais sols (le sol peut difficilement être de plus mauvaise qualité que celui de cette expérimentation), un traitement du support associé à une structure assez légère (type 2) est très efficace.

Il est important de souligner enfin que les conclusions tirées de cette expérimentation doivent toujours être analysées au regard des conditions expérimentales précises de ce site (effets de bords, interaction éventuelle des chargements, répétabilité, conditions climatiques,...).

Cette expérimentation, avec toutes les réserves liées à l'unicité des résultats et aux contraintes expérimentales, apporte des informations intéressantes et utiles. Mais des essais et des études complémentaires seront nécessaires pour pouvoir définir un véritable référentiel technique.

Attention note importante :

il est important de noter que les structures ont été validées uniquement pour la circulation occasionnelle d'atterrisseurs gros porteurs ; ainsi, dans le cas de circulation plus fréquente notamment par les véhicules SSLIA lors d'entraînements, il conviendrait de dimensionner alors les accotements selon la méthode routière et de retenir la meilleure des deux structures.

Annexes

Annexe 1 – Objet des accotements

n Accotements de piste

Source	Document	§	Objets des accotements		
			Passage occasionnel d'un avion	Passage véhicules incendie	Protection contre le souffle (érosion + ingestions)
	Itac	A-9-1	x	x	x
	Itac	5-4	~	x	x
OACI	annexe 14	3.2.5	x	x	0
OACI	Manuel de conception des aérodromes (1 ^{re} partie)	5.2	x	0	x

n Accotements de voie de circulation

Source	Document	§	Objets des accotements		
			Passage occasionnel d'un avion	Passage véhicules incendie	Protection contre le souffle (érosion + ingestions)
	Itac	C-4	0	x	x
	Itac	5-4	~	x	x
OACI	annexe 14	3.9.2	0	0	x
OACI	Manuel de conception des aérodromes (2 ^e partie)	1.6	x	x	x

Annexe 2 - Caractéristiques des avions gros porteurs

Bogie extérieur				
	Nombre de roues	Voie (cm)	Empattement (cm)	Charge à la roue (t/roue)
A380-800	4	135	170	26.7
A380-800F	4	135	170	28.5
A340-600	4	140	199	29.6
B747-400	4	112	147	23.2
B777-300ER	6	140	146	26.6
MD 11	4	137	163	27.8



Annexe 3 – Planche photographique

Essai 1: module 4 roues; A380-800 trajectoire 1 (sens type 2 vers type 1)



Photothèque STAC / N. MANOURY

Trajectoire essai n° 1⁷



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Ornière profil P2 axe 2



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Bogie enfoncé dans la section type 2 bis



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Bogie enfoncé dans la section type 2 bis; vue arrière

⁷ Les traces blanches sur la chaussée proviennent de la poussière ramassée par les pneumatiques lors du roulage depuis la zone de stockage du PEP vers la zone d'essai accotements; cela facilite la visualisation a posteriori de la trajectoire.



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Essieu avant du bogie enfoncé dans la section type 2 bis



Photothèque STAC / D. GUÉDON

Ornière section type 2 bis ; symétrie



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Ornière section type 2 bis après dégagement du bogie



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Ornière section type 2 bis après dégagement du bogie (essieu avant au premier plan)



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Ornière section type 2 bis après dégagement du bogie (ornière maximale essieu avant axe 2)



Annexe 4 – Planche photographique

Essai 2: module 4 roues; A380-800 trajectoire 2 (sens type 1 vers type 2)



Mise en place sur trajectoire pour essai n° 2

Photothèque STAC / J. PETITJEAN



Ornière profil P12 axe 1

Photothèque STAC / J. PETITJEAN



Bogie enfoncé dans la section type 3 ; vue arrière

Photothèque STAC / J. PETITJEAN



Bogie enfoncé dans la section type 3

Photothèque STAC / J. PETITJEAN



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Axe 1 du bogie enfoncé dans la section type 3



Photothèque STAC / D. GUÉDON

Vue axe 2 du bogie ; dissymétrie



Photothèque STAC / D. GUÉDON

Vue arrière ornière section type 3 ; dissymétrie



Photothèque STAC / D. GUÉDON

Ornière section type 3 après dégagement du bogie ; vue selon l'axe 1 (essieu avant au premier plan)



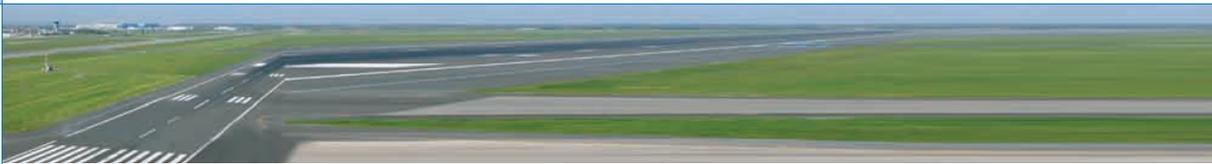
Photothèque STAC / N. MANOURY

Ornière section type 3 après dégagement du bogie (essieu avant au premier plan)



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Ornière section type 3 après dégagement du bogie ; vue selon l'axe 1 essieu arrière



Annexe 5 – Planche photographique
Essai 4: module 2 roues; trajectoire en « S » (sens type 1 vers type 2)



Préparation module 2 roues

Photothèque STAC / J. PETITJEAN



Roulage module 2 roues sur section type 1 bis

Photothèque STAC / J. PETITJEAN



Trajectoire en « S »

Photothèque STAC / N. MANOURY



Trajectoire en « S » ; section type 3, 2 bis et 2 (orniérage sur type 2 bis)

Photothèque STAC / J. PETITJEAN



Orniérage sur type 2 bis

Photothèque STAC / J. PETITJEAN



Orniérage sur type 2 bis

Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Annexe 6 – Planche photographique

Essai 5: module 4 roues; A380-800F trajectoire 1 (sens type 1 vers type 2)



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Mise en place sur trajectoire pour essai n° 5



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Mise en place sur trajectoire pour essai n° 5



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Roulage essai n° 5; transition section type 1 bis et type 3 (ornièrre essai n° 2 au premier plan)



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Bogie enfoncé dans la section type 3



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Bogie enfoncé dans la section type 3; vue axe 2



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Ornièrre section type 3; proche de la symétrie



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Soulèvement de l'enrobé



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Soulèvement de l'enrobé



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Ornière section type 3 après dégagement du bogie (essieu avant au premier plan)



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Ornière section type 3 après dégagement du bogie ; (essieu arrière au premier plan)

Annexe 7 – Planche photographique

Essai 6: module 4 roues; A380-800F trajectoire 2 (sens type 2 vers type 1)



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Mise en place sur trajectoire pour essai n° 6



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Roulage essai n° 6; section type 2



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Bogie enfoncé dans la section type 2 bis; vue axe 1



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Bogie enfoncé dans la section type 2 bis; vue axe 1



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Bogie enfoncé dans la section type 2 bis; vue arrière axe 1



Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Vue arrière ornière section type 2 bis; dissymétrie



Dégagement bogie

Photothèque STAC / J. PETITJEAN



Ornière sous axe 1 section type 2 bis après dégagement du bogie (essieu arrière au premier plan)

Photothèque STAC / J. PETITJEAN



Ornière sous axe 1 essieu arrière section type 2 bis après dégagement du bogie

Photothèque STAC / J. PETITJEAN

Glossaire

BBA	béton bitumineux aéronautique
BBME	béton bitumineux à module élevé
CBR	<i>Californian bearing ratio</i>
GLSR	grave traitée aux liants spéciaux routiers
GRH	grave reconstituée humidifiée
PEP	<i>pavement experimental program</i>
ITAC	Instruction technique sur les aérodromes civils
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
STAC	Service technique de l'aviation civile
SSLIA	Service de sauvetage et de lutte contre l'incendie

Conception : STAC/SINA groupe Documentation et diffusion des connaissances

Photos de couverture : Sterne de la Caspienne

Photographie Alain HOGUE

Train d'atterrissage

Photographie Marie-Ange FROISSART

Impression : atelier de reprographie du STAC

Février 2006



STAC

direction générale
de l'Aviation civile

**service technique
de l'Aviation civile**

31, avenue du Maréchal Leclerc
94381 Bonneuil-sur-Marne cedex
téléphone : 01 49 56 80 00
télécopie : 01 49 56 82 19
www.stac.aviation-civile.gouv.fr

ISBN 2-11-094293-2

