

# Chapitre 7

## Suivi et auscultation des chaussées aéronautiques



Remorque de portance du STBA

Photographie STBA / M.A. - FROISSART

*Il convient, avant toute autre considération, de faire observer qu'il ne peut y avoir de gestion efficace des chaussées aéronautiques sans un suivi*

*régulier et rigoureux de leur état de surface et de leur structure.*

### 7-1 Suivi des chaussées aéronautiques

*Le **suivi des chaussées aéronautiques** consiste à évaluer périodiquement des indicateurs d'état qui caractérisent notamment la portance, l'uni, l'adhérence, l'état de surface,...*

*Parmi ceux-ci, il est intéressant de constater que celui se rapportant à l'état de surface occupe une place privilégiée dans la mesure où les dégradations en ce domaine peuvent être facilement reliées aux autres indicateurs. C'est ainsi, par*

*exemple, qu'une fissure de fatigue du revêtement d'une chaussée souple ou une fracture de dalle en béton dénote généralement un affaiblissement de la portance.*

*Cette constatation a incité le S.T.B.A., après les techniciens américains, à s'orienter vers une utilisation approfondie d'un indicateur de l'état de surface : l'**indice de service**.*

## 7-1-1 Processus de détérioration des chaussées



(1) Degré de gravité léger

Photo: STEBA/1. DUARTE



(2) Degré moyen de gravité

Photo: STEBA/1. DUARTE



(3) Degré élevé de gravité  
Dégradation de même type à différents degrés de gravité

Photo: STEBA/1. DUARTE

Afin de mieux comprendre le système de suivi qui va être développé par la suite, il n'apparaît pas inutile de distinguer les étapes pouvant être observées dans le **processus de détérioration des chaussées** convenablement dimensionnées.

La première de celles-ci correspond aux premières années de vie de la chaussée, durant lesquelles seules ne devraient apparaître que des dégradations très ponctuelles et de degré de gravité **léger**. Sans **entretien**, ces dégradations vont se multiplier et perdre leur caractère ponctuel pour s'étendre sur des zones de plus en plus grandes et atteindre **en certains points** le niveau de gravité **élevé**.

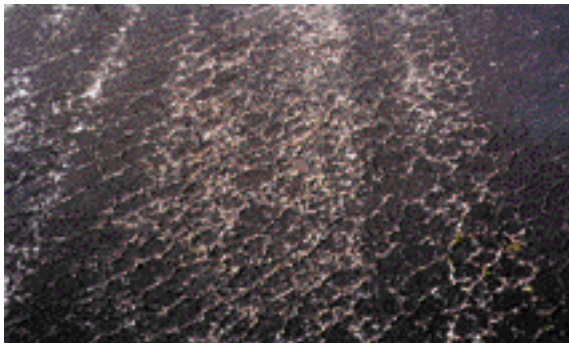
On peut considérer que l'on a alors franchi un **seuil critique**, à partir duquel la chaussée nécessite un suivi plus fréquent eu égard aux contraintes de sécurité liées à son exploitation.

Sauf entretien encore, le développement des dégradations va s'accroître jusqu'à atteindre un nouveau seuil, dit **seuil d'alarme**, qui correspond au début d'une chute **irréversible** des qualités structurelles de la chaussée. On peut en effet considérer que la présence de nombreuses dégradations, initialement de surface et ne portant de ce fait atteinte qu'aux qualités fonctionnelles de la chaussée, a fini par générer, sous l'action destructive des eaux d'infiltration, des désordres affectant le corps de la chaussée dans la majeure partie de son épaisseur. Tous travaux se bornant à rétablir une parfaite étanchéité de la couche de roulement sont désormais insuffisants.

On entre dans une troisième étape où seuls des travaux de **réfection** peuvent permettre une amélioration durable du niveau de service.

Enfin, si on laisse se poursuivre ce processus de détérioration, l'utilisation de la chaussée va présenter à court terme un risque portant atteinte à la sécurité des aéronefs. Est alors atteint le **seuil limite de réfection**.

## 7-1-2 Nécessité d'un suivi



Exemple de chaussée totalement dégradée

Le suivi des chaussées aéronautiques est une obligation faite aux gestionnaires d'aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique. Il doit leur permettre de se rendre compte de l'évolution, sous le trafic réel, des ouvrages dont ils ont la

charge et d'être en mesure d'intervenir à temps pour les maintenir en bon état ou, à défaut, d'en modifier les charges admissibles déclarées.

L'examen des chaussées doit porter à la fois sur les caractéristiques de surface, c'est à dire sur celles qui ont trait à son intégrité, à son uni et à son adhérence, ainsi que sur les caractéristiques structurelles dont dépend la portance de l'ensemble chaussée - sol support.

Lorsque les caractéristiques de surface deviennent insuffisantes (usure de la chaussée par exemple), il y a lieu de procéder à la rénovation de la chaussée en intervenant sur sa couche de roulement.

Lorsque les caractéristiques structurelles deviennent à leur tour insuffisantes, il conviendra de procéder à un renforcement de la chaussée.

## 7-1-3 Connaissance des chaussées et de leur environnement

L'évaluation des chaussées est une opération très complexe qui nécessite la synthèse des éléments suivants :

- données climatologiques (pluviométrie, gel,...),
- données géotechniques et hydrogéologiques (nappe phréatique),
- informations sur la construction de la chaussée ainsi que sur les éventuels travaux ultérieurs (entretien, renforcement, etc...),
- observations de l'état de surface de la chaussée

(relevé des dégradations) et examen du système de drainage,

- mesures non destructives permettant de déterminer certains paramètres en rapport avec les caractéristiques de la chaussée (uni, glissance, portance),
- résultats des sondages permettant de mesurer l'épaisseur des couches et d'évaluer les caractéristiques géotechniques du corps de chaussée et de son sol support.

## 7-2 Inspection visuelle des chaussées aéronautiques

La méthode de l'**indice de service**, qui est développée ci-après, constitue l'outil de référence pour la majorité des aérodromes français.

De mise en œuvre rapide, peu onéreuse, peu pénalisante pour la circulation aérienne, elle fournit une masse importante d'informations sur l'état des chaussées et son évolution dans le temps, masse d'informations qui constitue une aide à la décision précieuse en matière d'entretien, de réfection, d'auscultation lourde et d'adéquation

de la portance déclarée à la capacité réelle de la chaussée.

Sur les aéroports les plus importants, tel PARIS - CHARLES-de-GAULLE, qui ne tolèrent aucune interruption de trafic, on leur préfère une auscultation à grand rendement (visualisation vidéo, analyse d'images, repérage G.P.S., cartographie S.I.G.) privilégiant la détection des signes précursseurs permettant elle-même de programmer un entretien préventif.

### 7-2-1 La méthode de l'indice de service

Se voulant être représentatif du **niveau de service** d'une chaussée aéronautique, son **indice de service** (I.S.) est déterminé à partir d'un relevé visuel de ses dégradations.

Les relevés sont entrepris sur chaque **section caractéristique** aussi bien quant à la structure de la chaussée (âge et composition du corps de chaussée) que quant à la nature du trafic qu'elle reçoit. Pour les chaussées souples, ces sections caractéristiques sont divisées en tronçons élémentaires de 500 m<sup>2</sup> environ, appelés **mailles de relevé**. Dans le cas des chaussées rigides, chaque maille réunit généralement une vingtaine de dalles, ce qui correspond à une même surface de 500 m<sup>2</sup> pour des dalles de 5 m x 5 m.

La procédure utilisée consiste à enregistrer, maille par maille, les dégradations observées conformément aux recommandations du **Catalogue des dégradations** édité par le S.T.B.A.

Le traitement de ces données, à l'aide du programme informatique élaboré par le S.T.B.A., permet de calculer pour chaque maille un indice de service élémentaire.

L'I.S. est un indicateur numérique représentatif de l'état de la chaussée. Il peut prendre des valeurs comprises entre 0 (chaussée hors service) et 100 (chaussée neuve). Ainsi sa valeur croît-elle avec le niveau de service offert par la chaussée, les correspondances étant les suivantes :

I.S.	Niveau de service
0-10	hors service
10-25	très mauvais
25-40	mauvais
40-55	passable
55-70	moyen
70-85	bon
85-100	très bon

## 7-2-2 Le relevé de dégradations

Conformément aux recommandations du catalogue du S.T.B.A., chaque dégradation est répertoriée à l'aide du triplet d'informations suivant :

- le type de la dégradation (vingt-deux types retenus pour les chaussées souples, dix pour les chaussées rigides),
- le niveau de gravité : léger (L), moyen (M) ou élevé (E),
- la densité de dégradation dans la maille considérée, densité mesurée par une surface\* caractéristique de chaque type de dégradation, à savoir :
  - pour une chaussée souple :
    - celle du rectangle encadrant une dégradation non linéaire,
    - le produit par 0,50 m de la longueur de celle-ci dans le cas contraire,
  - pour une chaussée rigide, celle de la dalle concernée.

Le catalogue des dégradations permet, au moment du relevé, de faire la distinction correspondant aux deux colonnes du tableau ci-après.

Le relevé visuel sera effectué selon une procédure rigoureuse permettant le repérage des dégradations lors du relevé initial et leur reconnaissance lors des relevés suivants. Certaines dispositions



Techniciens effectuant un relevé visuel de dégradations

sont pour ce faire préconisées, à savoir :

- Sur une piste, le relevé s'effectuera toujours à partir du **QFU** de plus faible valeur tandis que, sur les bretelles, il sera exécuté à partir de l'extrémité au contact de la piste.
- Le relevé sera effectué au minimum par deux personnes.
- La délimitation au sol des mailles de relevé utilisera au maximum les caractéristiques physiques de la chaussée. Ainsi, dans le cas des chaussées

\* surface qui laissera place, pour la suite de la méthode, au pourcentage de la surface de la maille qu'elle représente

	Dégradations révélant un défaut de structure	Dégradations révélant un défaut de surface
Chaussée souple	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flache</li> <li>- Ornière</li> <li>- Fissure de fatigue</li> <li>- Faièncage de fatigue</li> <li>- Déformation en W</li> <li>- Gonflement</li> <li>- Tassement différentiel</li> <li>- Remontée d'eau</li> <li>- Remontée de fines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Désenrobage - brûlure</li> <li>- Enrobés poreux</li> <li>- Fissure de joint</li> <li>- Fissure de retrait</li> <li>- Faièncage de retrait</li> <li>- Réparation dégradée</li> <li>- Contamination</li> <li>- Dépôt de gomme</li> <li>- Poinçonnement</li> <li>- Ressuage</li> <li>- Fissure parabolique</li> <li>- Nid de poule</li> <li>- Pelade</li> </ul>
Chaussée rigide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fissure</li> <li>- Fracture</li> <li>- Fissure en coin</li> <li>- Pompage</li> <li>- Décalage-marche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Épaufrure</li> <li>- Faièncage - écaillage</li> <li>- Réparation ponctuelle dégradée</li> <li>- Défaut de joint</li> <li>- Dépôt de gomme</li> </ul>

rigides, le repérage des mailles ne fera-t-il appel à aucun prémarquage particulier du fait de la présence des joints de dalles, tandis que dans celui des chaussées souples, les joints entre passes de finisseurs seront utilisés comme repères des côtés longitudinaux des mailles. Celles-ci seront, dans ce dernier cas, définies par un nombre entier de passes, la largeur cumulée de celles-ci restant voisine de 20 m. Les côtés transversaux seront visualisés au moyen d'un marquage au sol exécuté à la peinture (généralement un trait de 10 cm dans l'axe longitudinal de la section étudiée).

- Dans le cas d'un marquage au sol préexistant ou de la présence d'un balisage lumineux axial, il sera judicieux de choisir une longueur de maille permettant de faire coïncider les côtés transversaux des mailles avec des repères existants. Cette longueur sera également choisie de façon à avoir une maille de l'ordre de 500 m<sup>2</sup>, surface correspondant le plus souvent à une longueur de 25 m.

- Les pistes ne donneront généralement lieu qu'à un relevé visuel de leurs vingt ou trente mètres centraux les plus circulés. Les voies de circulation pourront, quant à elles, être inspectées sur toute leur largeur.

- Le relevé sur aires de stationnement s'effectuera par bandes contiguës, préférentiellement, pour les chaussées souples, dans le sens permettant de prendre pour repères les joints de passe du finisseur.

Les moyens nécessaires à l'exécution du **relevé de dégradations** n'exigent pas davantage que :

- le catalogue de dégradations,
- les feuilles de relevé,
- une règle de 3 m et un mètre de poche destinés à la mesure des déformations,
- un équipement radio permettant un contact permanent avec la tour de contrôle,

ainsi que, naturellement, la maîtrise de la méthode, laquelle ne demande qu'une formation théorique et pratique de courte durée, qui peut-être dispensée soit par le S.T.B.A., soit par le S.S.B.A. le plus proche.

La fréquence optimale des relevés est d'une fois par an pour l'ensemble des aires. Il est toutefois possible de réduire cette fréquence lorsque l'indice de service obtenu lors du précédent relevé était encore suffisamment élevé. Tel est, à la limite, le cas d'une chaussée neuve exploitée convenable -

ment sur laquelle il ne sera pas nécessaire d'effectuer le premier relevé avant trois ans.

Dans le même esprit, il conviendra d'augmenter la fréquence des relevés lorsque apparaîtra une accentuation du processus de détérioration. Tel pourra, par exemple, être le cas après une augmentation subite du trafic (création d'une ligne supplémentaire, apparition d'avions de gros tonnage, etc...) ou à la suite d'un hiver très rigoureux.

On pourra également moduler la fréquence des relevés en fonction de la nature des aires (pistes, voies de circulation, aires de stationnement) et de leur état de service.

Le temps demandé par un relevé visuel des dégradations peut être notablement réduit par application d'une méthode d'échantillonnage. Il est en effet possible, après un relevé complet, autrement dit recouvrant l'intégralité des aires et faisant office de « point zéro », de ne procéder par la suite qu'à un relevé partiel ne portant que sur un nombre limité de mailles par section caractéristique de chaussée.

D'un point de vue statistique, un échantillon de mailles est considéré comme représentatif d'une section caractéristique donnée si la moyenne des précédents indices de service des mailles le composant est, à cinq points près\*, égale à la valeur précédente de l'indice de service moyen de la section.

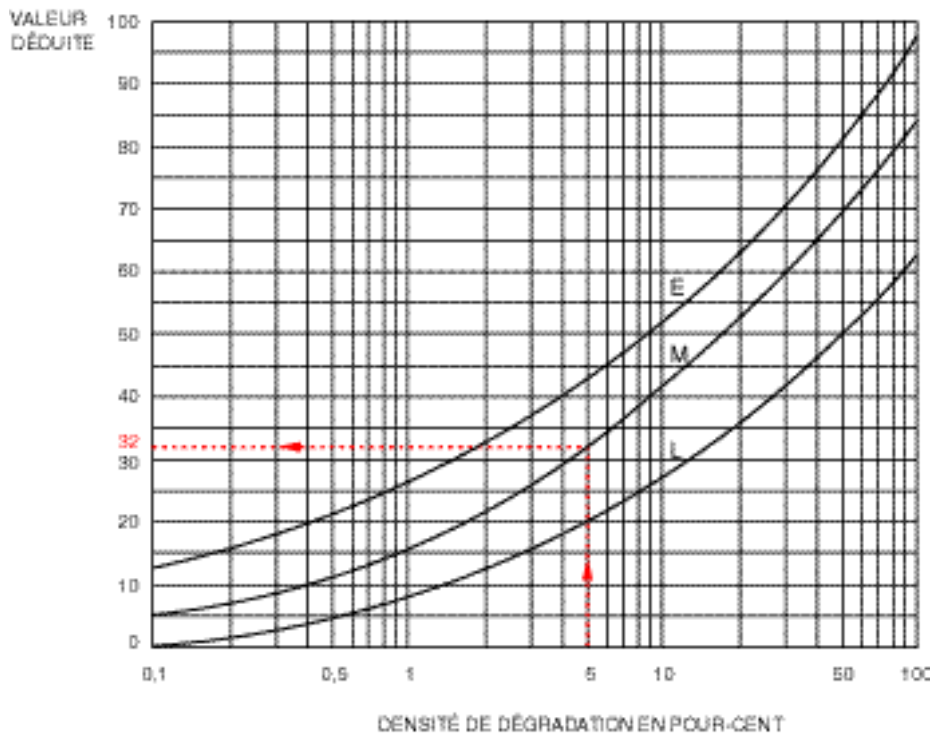
Le nombre minimal n de mailles à retenir, de façon à satisfaire la condition de représentativité de l'échantillon précédemment énoncée, sera, pour un nombre total N de mailles composant la section caractéristique étudiée, fourni par la formule :

$$n = \frac{N \cdot \sigma^2}{6,51 \cdot (N - 1) + \sigma^2}$$

dans laquelle  $\sigma$  représente l'écart type de l'I.S. calculé sur les N mailles lors du dernier relevé complet.

\* ces cinq points correspondant à l'estimation de l'incertitude relative au calcul de l'I.S.

### 7-2-3 Exploitation du relevé de dégradations



7-1 Abaque correspondant à une flache sur chaussée souple

La méthode repose sur le passage de chaque triplet (type de dégradation relevé, niveau de gravité, densité) à une valeur numérique significative de l'influence de cette dégradation sur les qualités de la chaussée.

Un abaque propre au type de dégradation considéré - dont la figure 7-1 donne un exemple - permet ainsi, dans un premier temps, de faire correspondre à chaque triplet une **valeur déduite**.

Toutes les valeurs déduites, correspondant aux diverses dégradations relevées sur une même maille, sont ensuite additionnées pour donner une **valeur déduite totale**.

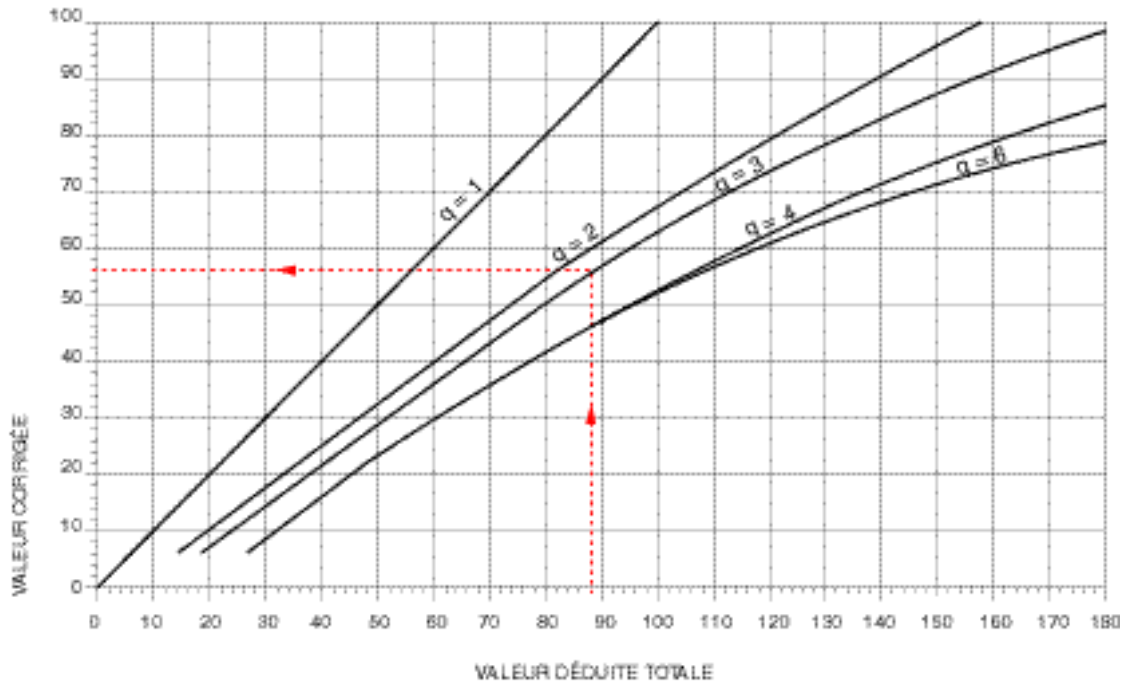
Introduite dans un second abaque, attaché au type de chaussée et dont la figure 7-2 correspond à celui des chaussées souples, la valeur déduite totale, caractérisant toujours la même maille, est corrigée en fonction du nombre  $q$  de dégradations significatives (dont les valeurs déduites sont supérieures à 5).

L'indice de la maille est égal au complément à 100 de la valeur déduite corrigée de la maille.

Enfin, l'**indice de service** de la **section caractéristique** sera la moyenne arithmétique des indices de service de ses différentes mailles composantes.

Les abaques et le programme informatique, auxquels peut indifféremment faire appel la méthode, ont été élaborés à partir des nombreux rapprochements faits, d'abord aux États-Unis puis par le S.T.B.A., entre états de dégradation estimés et observations faites en surface de chaussée.

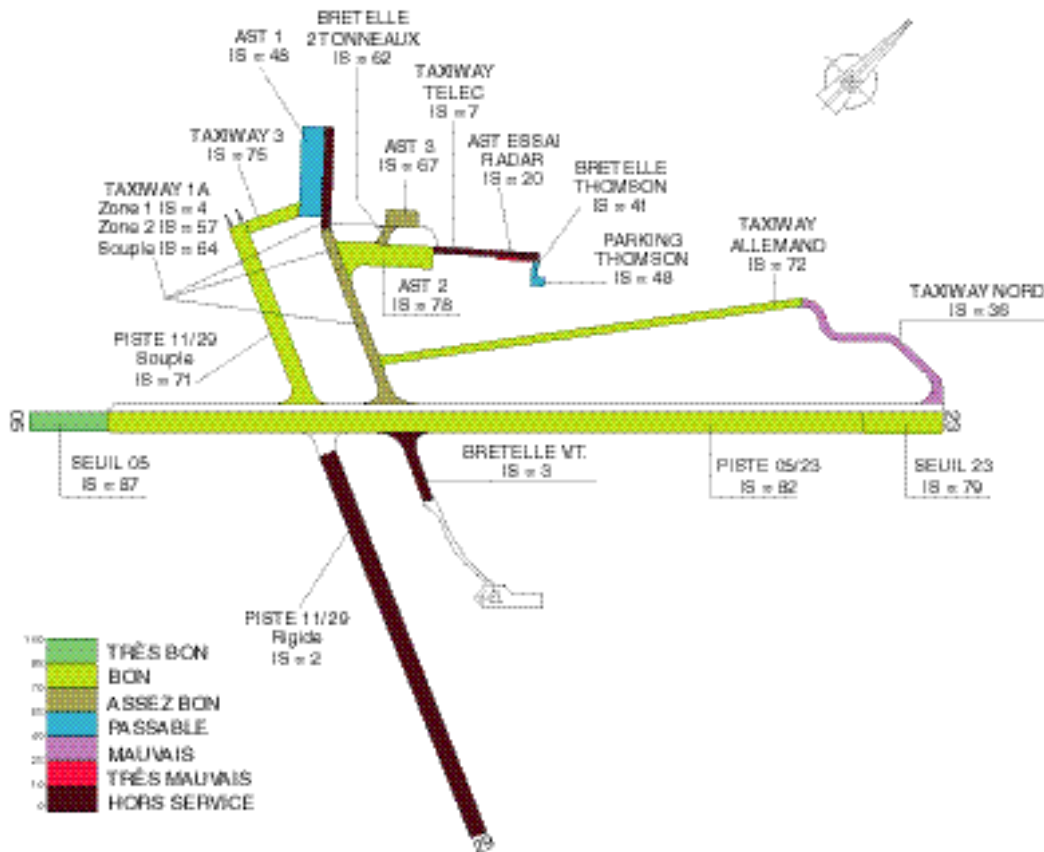
Le programme informatique écrit et utilisé par le S.T.B.A. peut être implanté localement sur un micro ordinateur de type PC avec l'environnement Windows. Les calculs peuvent aussi être effectués par le S.T.B.A. ou les S.S.B.A., sur la base des relevés visuels effectués localement.



7-2 Abaque apportant correction à la valeur déduite totale



## 7-2-4 L'indice de service - outil de gestion des chaussées aéronautiques



7-3 Exemple de zonage de comportements homogènes des chaussées d'un aéroport

L'indice de service calculé à partir de l'ensemble des dégradations observées est appelé **indice de service global**. Deux autres types d'indice de service coexistent, à savoir :

- l'**indice de service structurel** calculé uniquement à partir des dégradations révélant un défaut de portance,
- l'**indice de service superficiel** calculé uniquement à partir des dégradations révélant un défaut de surface.

La connaissance des indices de service (global, structurel et superficiel) offre les possibilités de :

- tracer un histogramme traduisant de façon graphique l'état de la chaussée (en abscisses les points métriques de la chaussée et en ordonnées l'indice de service) dont la figure 7-4 livre l'exemple,
- déterminer, comme la figure 7-3 en donne un

exemple, des zones de comportement homogène et apprécier leurs niveaux de service respectifs (de très bon à hors service),

- analyser en détail les zones homogènes et repérer celles présentant des problèmes d'intégrité de surface ou de structure pouvant conduire à des travaux d'entretien,
- définir des travaux d'**entretien**,
- programmer des travaux en fonction de l'évolution dans le temps de l'indice de service,
- déduire des **coefficients d'équivalence** représentatifs des couches supérieures de chaussées constituées de matériaux enrobés,
- vérifier la concordance entre l'aspect visuel des chaussées et les besoins de réadaptation de leur structure déduits de l'évaluation de la portance.

\* cf. § 7-1-1 ci-dessus

Les trois seuils de dégradations précédemment définis\* apparaissent en outre comme pouvant être localisés par les valeurs maximales ci-après de l'indice de service :

- 65 ou 60, selon qu'il s'agit des pistes ou des autres aires, pour le **seuil critique** (C), en deçà duquel la chaussée doit faire l'objet d'un suivi plus fréquent eu égard aux contraintes de sécurité liées à son exploitation,
- 50 ou 45, selon qu'il s'agit des pistes ou des autres aires, pour le **seuil d'alarme** (A), en deçà duquel la chaussée être devra recevoir **réfection**,
- 30 pour toutes les aires, pour le **seuil limite de réparation** (I), en deçà duquel la sécurité des aéro-nefs n'est plus assurée.

L'indice de service d'une chaussée évolue dans le temps sous l'effet conjugué des actions climatiques et du trafic. Des **courbes de référence**, que reproduit la figure 7-5 ci-après, ont ainsi pu être établies pour quatre familles de chaussées, à savoir :

- les chaussées souples à fort trafic, regroupant :
  - les chaussées souples recevant une forte proportion d'avions de masse supérieure à 30 t,
  - les chaussées souples sous-dimensionnées,
  - les **chaussées semi-rigides**,
- les chaussées souples à trafic modéré, regroupant :
  - les chaussées souples destinées aux avions de masse inférieure à 30 t,

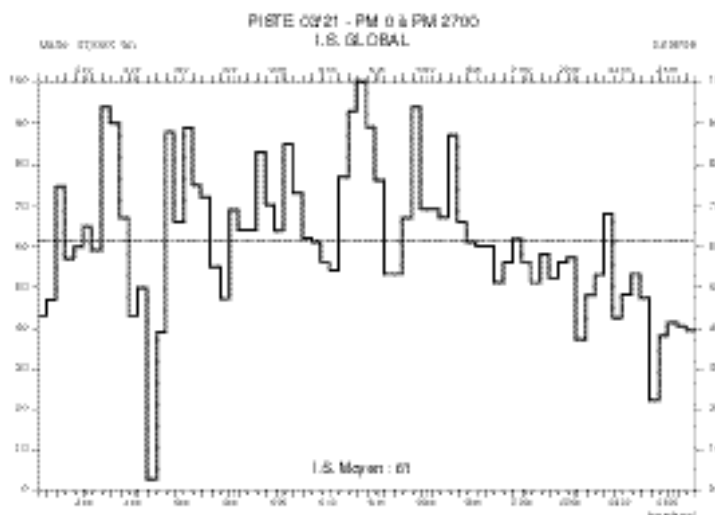
- les chaussées légères,
- les chaussées souples surdimensionnées,
- les chaussées rigides à fort trafic, regroupant :
  - les chaussées rigides recevant une forte proportion d'avions de masse supérieure à 30 t,
  - les chaussées rigides sous-dimensionnées,
- les chaussées rigides à trafic modéré, regroupant :
  - les chaussées rigides destinées aux avions de masse inférieure à 30 t,
  - les chaussées rigides surdimensionnées.

L'intérêt de ces courbes de référence est qu'elles permettent de positionner la courbe probable d'évolution d'une chaussée donnée, à partir de son premier relevé visuel de dégradations, et par suite de :

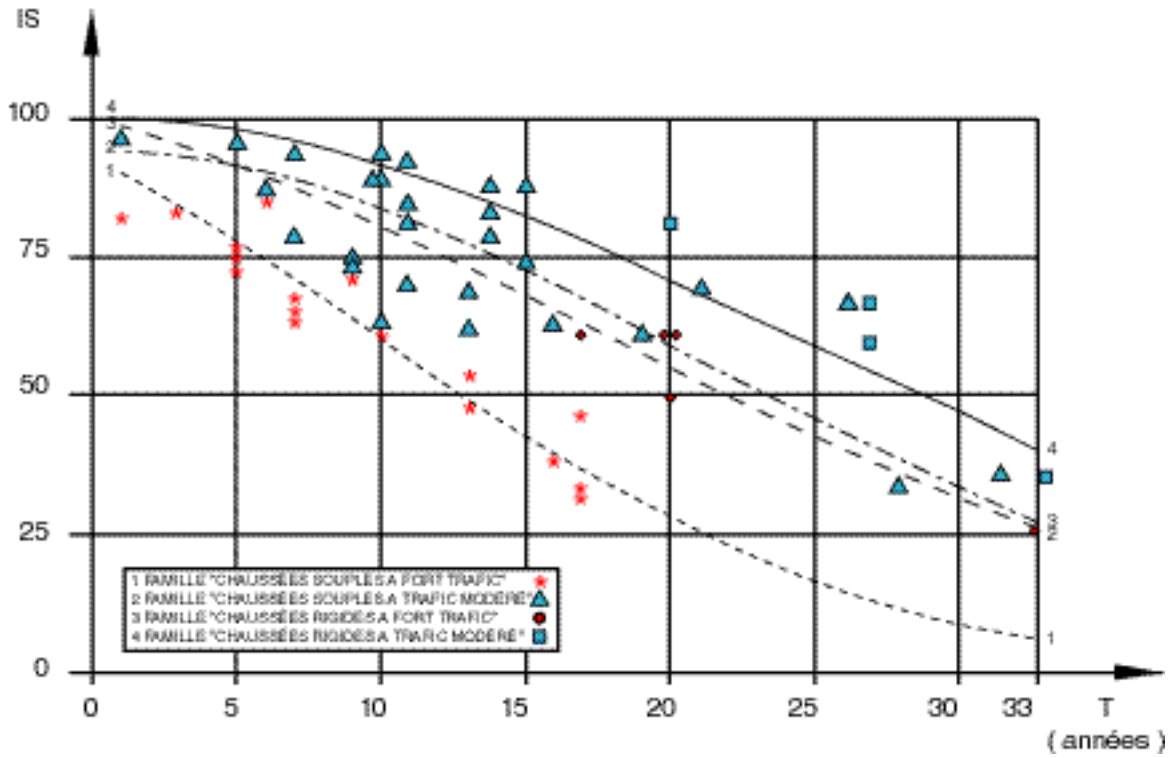
- estimer sommairement l'année où la chaussée devrait atteindre les seuils critiques ou d'alarme,
- programmer les travaux nécessaires d'entretien ou de réparation compte tenu des relevés ultérieurs qui détermineront la courbe réelle d'évolution de l'indice de service.

Les relevés ultérieurs permettront de voir si l'évolution de l'état de la chaussée est plus ou moins rapide que celle que laissait prévoir la courbe de référence.

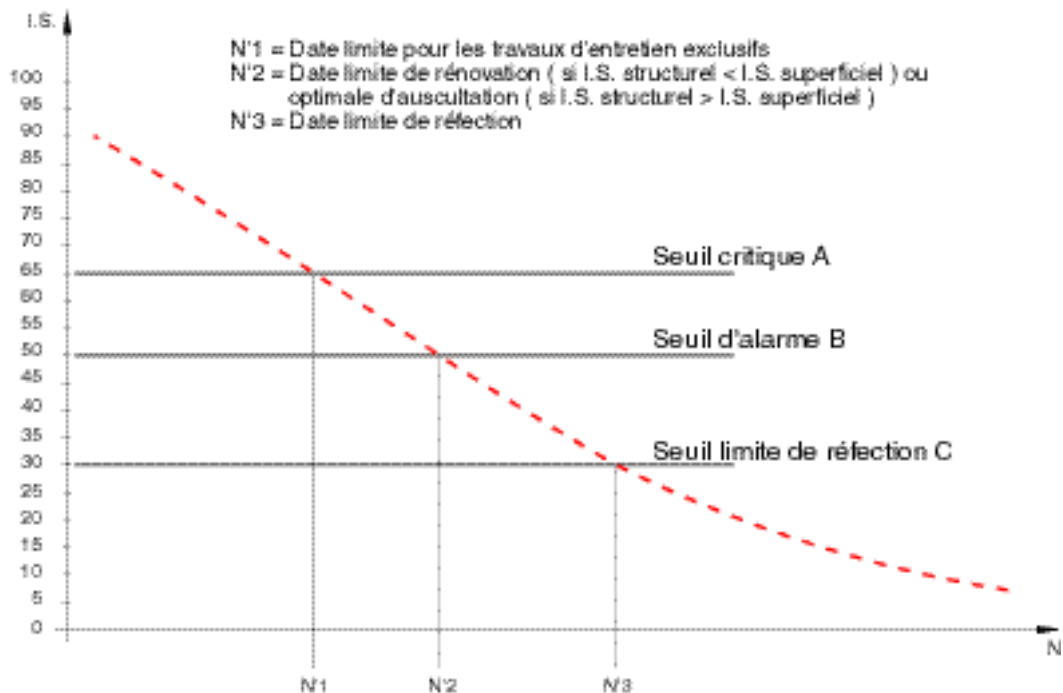
La figure 7-6 donne un exemple de courbe d'évolution propre d'une piste et du positionnement dans le temps, qu'elle permet, des différentes natures d'intervention.



7-4 exemple d'histogramme de l'état d'une piste



7-5 Courbes de référence traduisant l'évolution de l'indice de service dans le temps



7-6 Courbe d'évolution propre de l'indice de service d'une piste

## 7-3 Contrôle des qualités de surface

### 7-3-1 Contrôle de l'uni



Mesure du défaut d'uni par analyseur de profil en long

L'**uni** d'une chaussée est un critère de qualité géométrique. Il caractérise l'ensemble des dénivellations de la surface de la chaussée par rapport à ses profils théoriques.

Sur une piste, certains défauts d'uni ressentis alors que les avions évoluent à des vitesses élevées, pendant les phases d'atterrissage ou de décollage, peuvent affecter la sécurité.

Circulées à moindre vitesse, les autres parties de l'aire de mouvement posent des problèmes d'uni moins essentiels.

Les conséquences d'un mauvais uni de la piste pèsent à la fois sur l'avion et sur la chaussée elle-même.

- **Sur l'avion** d'abord, elles sont à l'origine de vibrations et d'accélération verticales pouvant, lorsqu'elles sont excessives, provoquer des difficultés de pilotage\*.

Compte tenu de la dispersion des caractéristiques vibratoires des avions existants, les mêmes défauts d'uni peuvent, suivant le type d'avion, être ou non tolérés ou provoquer des réclamations de la part des pilotes,

Outre la gêne pour la lisibilité des instruments de bord et l'inconfort du pilote\*\*, que provoquent ces vibrations et accélérations excessives dans la cabine, les principales difficultés de pilotage, résultant du roulage à grande vitesse d'un avion sur une piste présentant un mauvais uni, peuvent également être :

- l'apparition de mouvements de grande amplitude en pompage ou tangage de l'avion sur ses atterrisseurs, allant, dans certains cas, jusqu'à amener les amortisseurs en butée et pouvant par suite être dangereux pour le contrôle de l'avion,

- la mise en résonance d'un ou plusieurs atterrisseurs qui peuvent, par suite, ne plus être en contact continu avec la piste et générer des difficultés pour le contrôle latéral de l'avion ainsi qu'une perte d'efficacité du système de freinage.

- **Sur la chaussée elle-même**, le roulage à grande vitesse des avions sur certains défauts d'uni provoque localement des efforts dynamiques tendant à accentuer les dits défauts, voire même à entraîner un processus de dégradation.

Les fréquences de résonance provoquées dans la cabine de pilotage sont directement liées à la répartition aléatoire du défaut d'uni par rapport au profil théorique de la piste.

Basé sur ce principe, l'**analyseur de profil en long** (A.P.L.), mis au point par les Laboratoires des Ponts et Chaussées permet, selon la vitesse constante à laquelle il est tracté (72, 108 et 144 km/h), d'attribuer, par tronçon de chaussée, une note de qualité d'uni.

Des simulations effectuées en grand nombre ont montré que les longueurs d'onde auxquelles les avions sont sensibles à grande vitesse sont comprises entre 8 m et 100 m.

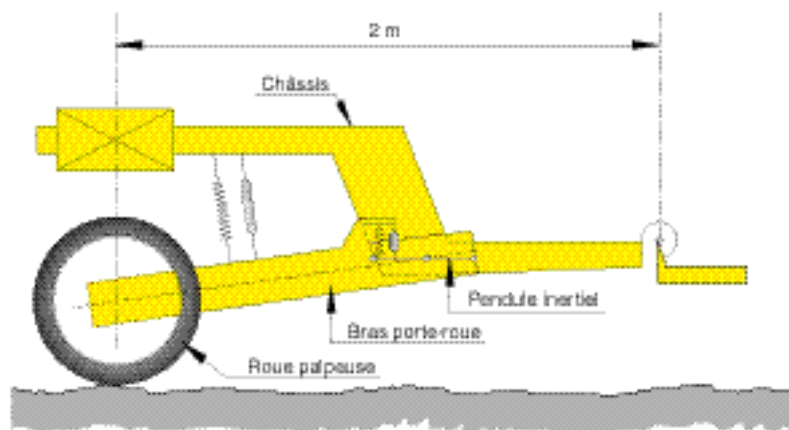
L'A.P.L. utilisé sur les pistes d'aérodrome est constitué par deux éléments de remorque dont le schéma est donné par la figure 7-7 ci-après et comportant chacun :

- un bras très rigide équipé d'une roue palpeuse,

\* Il est admis de nos jours que les constructeurs réservent des marges de sécurité suffisantes dans le calcul de la structure des avions, pour que celle-ci supporte sans dommage le roulage sur les pistes dont les défauts d'uni nuisent au pilotage.

\*\* L'inconfort des passagers peut quant à lui être négligé compte tenu de ce que :

- les phases de roulage au décollage et à l'atterrissage ne constituent qu'une faible partie d'un voyage aérien,  
- dans le processus de dégradation de l'uni d'une piste, les difficultés de pilotage apparaissent avant que ne soit perturbé le confort des passagers.



7-7 Schéma de principe de l'analyseur de profil en long

- un châssis lesté sur lequel est articulé le bras porte roue et s'appuyant sur celui-ci par l'intermédiaire d'un ressort et d'un amortisseur,
- un pendule inertiel servant de référence pour mesurer par capteur les débattements angulaires du bras porte roue,
- une roue dentée, montée sur la roue palpeuse, fournissant des impulsions électriques et permettant l'enregistrement des distances parcourues.

Le signal relevé par chaque élément de remorque caractérise le profil en long parcouru pour la gamme de longueurs d'onde considérée. Il fait l'objet, aujourd'hui en mode embarqué, d'un traitement automatique destiné à attribuer une note au profil du tronçon évalué. Cette notation s'effectue de 1 à 10, les notes 1 et 10 correspondant respectivement à un uni très mauvais et très bon pour la bande des longueurs d'onde prise en compte.

Parallèlement à l'analyse automatique du signal, l'A.P.L. fournit une sortie graphique qui, sans pour autant pouvoir être confondue avec lui, donne une image du profil en long permettant de localiser les défauts quantifiés par la notation.

Le contrôle de l'uni d'une piste est nécessaire à la réception de sa réalisation ou de son renforcement. S'il est effectué par nivellement, une tolérance de  $\pm 1$  cm vérifiée sur des profils en travers espacés de 10 à 15 m au maximum est généralement acceptable. S'il est effectué à l'A.P.L.-N.B.O. (NF P 98 218 3 et NF P 98 218 4), les caractéristiques minimales d'uni, qui sont définies dans le tableau ci-après, s'appliquent pour la couche de roulement dans le cas de la construction d'une piste neuve ou du renforcement d'une piste après remise aux normes du profil.

Le suivi du profil en long fait parti du programme général de suivi des aérodromes. Les défauts de qualité d'uni renseignent, dans une certaine mesure, sur les insuffisances structurelles.

Avant de choisir une solution de rénovation de piste, il convient d'en étudier l'uni du profil en long au moyen de l'A.P.L. Si un reprofilage s'avérait nécessaire, il y aurait lieu de mettre en œuvre une (voire deux) couche(s) d'enrobés avec un guidage au fil ou laser (la seconde pouvant l'être « à vis calées »).

Longueurs d'onde	Résultats enregistrés sur tronçons de 200 m	
	Note minimale	Pourcentage de tronçon présentant la note minimale
Petites ondes (0,7 m à 2,82 m)	6	90
	3	100
Moyennes ondes (2,82 m à 11,31 m)	6	90
	4	100
Grandes ondes (11,31 m à 45,24 m)	9	90
	6	100

## 7-3-2 Contrôle de l'adhérence



Instrument de Mesure Automatique de Glissance (I.M.A.G.)

La surface d'une piste revêtue sera traitée à l'origine, ou à l'occasion de sa rénovation, de manière à ce que son coefficient de frottement soit suffisant lorsque la chaussée est mouillée.

Diminuant en effet lorsque la chaussée est mouillée, l'adhérence à la piste des pneumatiques d'un avion est essentielle pour :

- le freinage à l'atterrissage ou en cas de décollage interrompu,
- la mise en rotation des roues à l'impact à l'atterrissage,
- le contrôle au roulage de la direction, notamment en présence de vents traversiers, en cas de fonctionnement asymétrique des moteurs (aussi bien au décollage qu'à l'atterrissage avec la poussée des moteurs inversée) ou encore à l'amorce d'une sortie rapide de piste.

Bien que le principe d'**adhérence pneu - chaussée** s'apparente à celui pris en considération dans le domaine routier, les particularités aéronautiques proviennent principalement de :

- la vitesse élevée à l'atterrissage et au décollage (280 km/h et même plus de 300 km/h pour certains types d'appareils),
- l'importance de la masse déplacée,
- l'absence de sculpture\* (rainures circulaires seulement) et la pression élevée des pneumatiques.

L'importance du phénomène conduit à s'arrêter quelque peu ci-après sur les causes de la **glissance sur chaussée** avant d'en aborder la mesure.

L'adhérence d'une chaussée sèche et propre est en général toujours convenable. Elle diminue et peut

devenir insuffisante en présence d'eau, de neige ou de glace. Une glissance excessive peut également provenir de la présence de mousse, de micro-organismes, de boue, de gomme ou de certaines peintures.

L'adhérence d'une piste couverte de neige ou de glace dépend peu des caractéristiques du revêtement. Aussi, pour ce qui concerne la construction et l'entretien des chaussées, s'intéresse-t-on surtout à la glissance due à la présence d'eau.

L'eau exerce sur l'avant du pneu un **effort hydro-dynamique** qui empêche le frottement pneu-chaussée de se réaliser. En arrière de cette zone, elle joue un rôle de lubrifiant et exerce un **effort visqueux**. Enfin, une surface réduite de l'aire de contact pneu-chaussée assure seule le **frottement sec**.

Lorsque le revêtement est recouvert d'un film d'eau suffisamment épais et que la vitesse de roulement est importante\*\*, le contact entre pneumatique et chaussée peut aller jusqu'à disparaître et provoquer le phénomène d'**hydroplanage** (dit également **aquaplanage**). Visant donc principalement les avions rapides (long-courriers, avions militaires de chasse), le seuil d'hydroplanage se trouve toutefois pour eux être repoussé compte tenu de la pression plus élevée à laquelle sont gonflés leurs pneumatiques.

Le risque d'hydroplanage est rare et ressort davantage de défauts d'uni. Il renvoie, par suite, au paragraphe 7-3-1 précédent. Des dépressions remplies d'eau forment, en effet, des flaques susceptibles de provoquer la perte d'adhérence entre le pneu et le revêtement et d'amorcer le phénomène d'hydroplanage.

La glissance sur chaussée mouillée, mais non polluée, dépend de nombreux facteurs, à savoir :

- la vitesse de l'avion,
- la forme, la structure et la pression du pneumatique,
- la composition, la température et la nature du caoutchouc ou de la gomme,
- l'épaisseur du film d'eau sur la chaussée,
- la nature des granulats et du liant du revêtement.

\* celles-ci ne résisteraient pas en effet aux efforts tangentiels au moment du toucher de roues

\*\* l'eau n'ayant pas alors le temps de s'évacuer

L'établissement d'un projet de piste d'aérodrome ne peut pas intervenir sur les trois premiers paramètres mais tiendra compte des deux derniers.

Pour une précipitation donnée, l'épaisseur du film d'eau est liée :

- aux caractéristiques géométriques de la chaussée par les pentes attribuées à ses différents profils afin de faciliter l'écoulement des eaux,
- aux vents qui influent considérablement sur l'épaisseur du film d'eau en ce qu'ils peuvent gêner l'écoulement et maintenir une épaisseur d'eau excessive,
- à la texture de surface ou **macrorugosité** qui commande la drainabilité du revêtement et qui est d'autant plus importante, sur les aérodromes, que les pneumatiques des avions comportent peu de sculptures favorisant l'évacuation de l'eau au contact de la chaussée.

La **mesure** qui permet le mieux d'apprécier l'adhérence des avions sur une chaussée dans des conditions données est celle du **coefficient de frottement longitudinal**. En effet le freinage est, en théorie, rectiligne et un bon coefficient de frottement longitudinal n'a aucune raison d'être accompagné d'un très mauvais coefficient transversal.

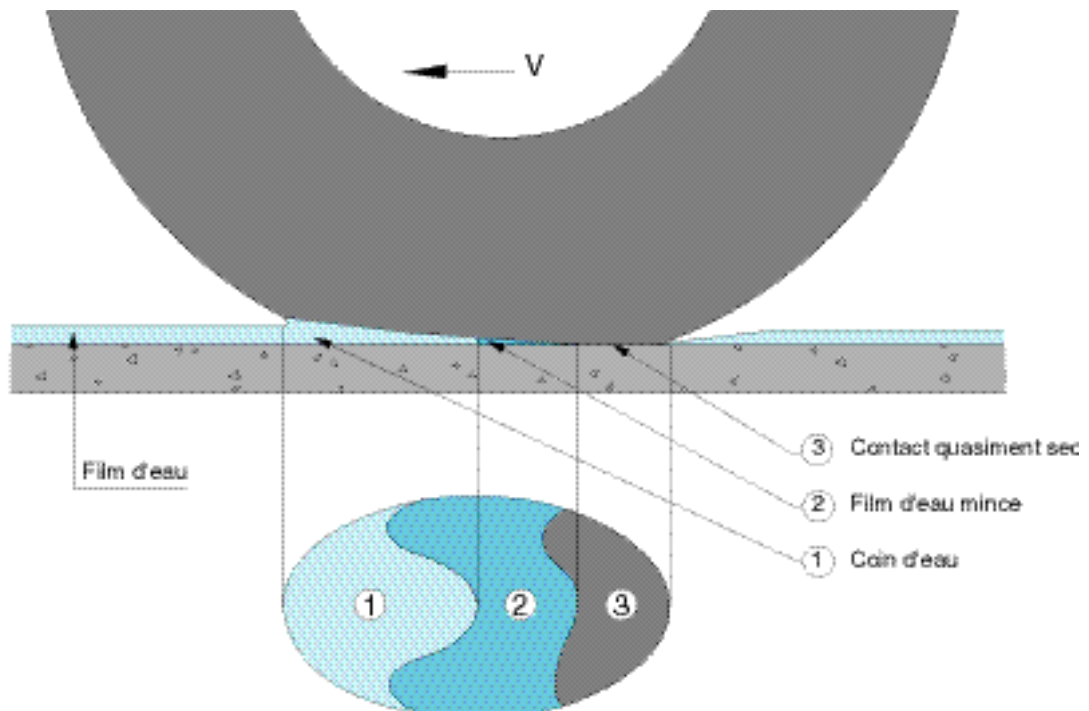
Invitant les États membres à doter leurs services nationaux de moyens permettant de contrôler l'adhérence des revêtements de piste, l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale leur recommandait :

- l'automouillage de la chaussée à une épaisseur constante (par exemple 1 mm),
- le choix d'une vitesse d'essai aussi élevée que possible (supérieure à 100 km/h),
- la mise en œuvre d'un taux de glissement représentatif (compris entre 5 et 20 %) de l'existence de dispositifs antibloquants sur les roues d'avion.

S'agissant du **taux de glissement** (part, exprimée en pour-cent de la vitesse au sol, de l'excès de celle-ci sur la vitesse de rotation de la roue mesurée sur sa circonférence), il a en effet été observé que, comme le met en évidence la figure 7-9, l'adhérence passe par un maximum lorsque le taux de glissement se situe dans une plage généralement (mais non toujours) comprise entre 5 et 20 %.

Faisant l'objet d'un brevet détenu conjointement par le S.T.B.A. et Aéroports de Paris, l'Instrument de Mesure Automatique de Glissance (I.M.A.G.) répond parfaitement aux recommandations ci-dessus de l'O.A.C.I. puisque :

- il dispose d'un système de mouillage, asservi à



7-8 Différentes zones de contact du pneumatique sur une chaussée mouillée

- la vitesse, simulant un film d'eau de 1 mm,
- l'appareil est équipé pour atteindre 140 km/h,
  - le taux de glissement peut être maintenu constant à toute valeur choisie entre 0 et 100\*.

L'**I.M.A.G.** se présente sous la forme d'une remorque tractée constituée :

- d'un châssis à deux roues porteuses supportant :
  - un bras articulé équipé d'une roue de mesure,
  - une roue de référence permettant de mesurer la vitesse,
  - un module électronique et un micro-ordinateur permettant le contrôle et l'exécution du processus d'essai,
  - un système électronique intégré de contrôle du système hydraulique de freinage de la roue de mesure,
- d'un véhicule tracteur gérant notamment le système de mouillage.

Le procédé de mesure consiste à freiner la roue de mesure afin de lui imposer un taux de glissement constant, à vitesse stabilisée du véhicule tracteur.

La mesure en continu du couple de freinage et de la charge appliquée à la roue de mesure permet une conversion automatique en coefficient de frottement.

L'adhérence est estimée acceptable, lorsque, selon la vitesse de déplacement de l'I.M.A.G., le coefficient de frottement longitudinal se situe

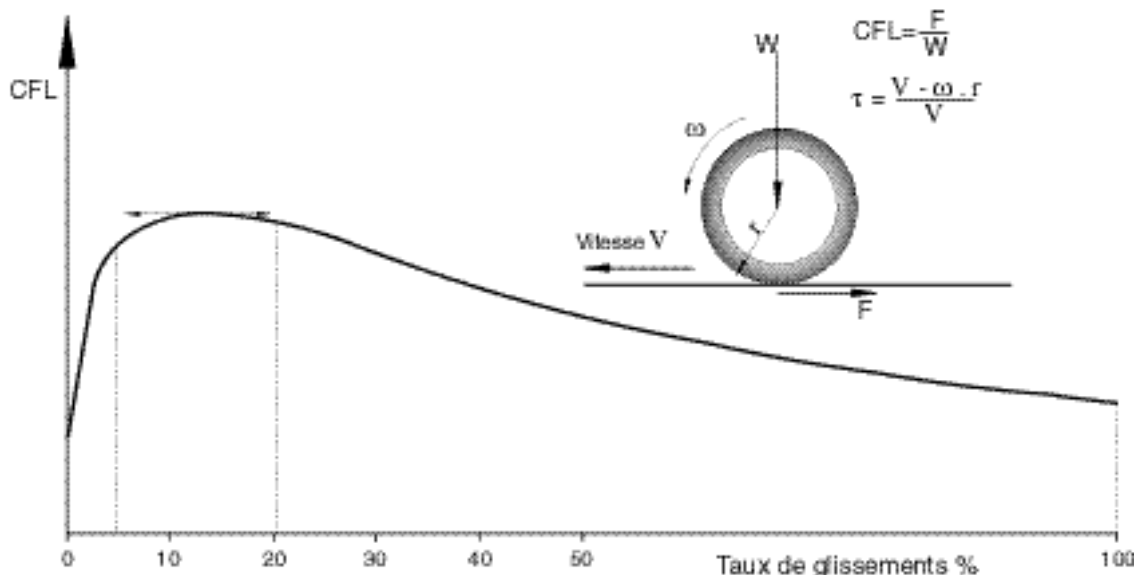
entre 0,6 et 0,7 à 40 km/h et entre 0,30 et 0,40 à 120 km/h.

Ajoutons enfin, concernant l'I.M.A.G., qu'il peut, comme d'ailleurs les autres appareils de mesure, être également utilisé, sans mouillage artificiel, dans un cadre opérationnel en conditions hivernales (présence de neige, glace fondante, etc...), afin d'informer les pilotes de l'état de surface d'une piste immédiatement avant atterrissage et décollage. Grâce à une instrumentation complémentaire, l'I.M.A.G. peut en outre quantifier la présence sur la chaussée de contaminants épais par l'indication d'une épaisseur d'eau équivalente.

Outre le contrôle de l'adhérence il est recommandé, pour tout revêtement, de procéder au **contrôle de sa macrorugosité** mesurée par l'essai de hauteur au sable (ponctuel ou continu).

Pour une surface non rainurée ou non poreuse, une hauteur au sable inférieure à 0,5 mm, associée à un drainage médiocre, risque de conduire à des phénomènes de glissance excessive. Au contraire, une hauteur de 1 mm assure une adhérence satisfaisante si les autres caractéristiques et notamment la microrugosité, liée à la nature des agrégats, sont convenables.

\* Cette caractéristique distingue principalement l'I.M.A.G. des autres appareils de mesure pour lesquels le taux de glissement est définitivement calé sur une valeur donnée (généralement 15 %).



7-9 Évolution du coefficient de frottement longitudinal avec le taux de glissement



## 7-4 Évaluation de la portance

La portance d'une chaussée peut être exprimée :

- par les valeurs des charges admissibles descendues par les différents types d'**atterrisseurs** (roue simple isolée, jumelage et boggie) à raison de 10 applications par jour pendant 10 ans,
- par l'indication du **P.C.N.** qui fait l'objet du paragraphe 8-3 ci-après.

### 7-4-1 Méthode inverse de dimensionnement

Par cheminement inverse de celui constituant la **méthode de dimensionnement** adaptée au même type de chaussée, la connaissance des caractéristiques du sol support et de la structure d'une chaussée permet de déterminer les charges d'atterrisseurs dont l'application est admissible sur une période de dix ans. Cette démarche constitue la base de l'évaluation de la portance d'une chaussée par la **méthode inverse de dimensionnement**.

Dans le cas des **chaussées souples**, les caractéristiques nécessaires sont le **C.B.R.** du sol porteur et l'**épaisseur équivalente** du corps de chaussée. La méthode inverse n'est applicable avec ces seules données que si la chaussée est normalement constituée et présente des couches de qualité croissante de bas en haut. Dans le cas contraire, qui est d'ailleurs peu fréquent, il convient de calculer la charge admissible à partir de chacune des couches et de ne retenir finalement que la plus faible des valeurs ainsi trouvées. Ceci suppose naturellement alors que soit connu le C.B.R. mesuré sur le dessus de chacune des couches.

Dans le cas des **chaussées rigides**, les caractéristiques sont l'épaisseur de la dalle de béton, le

**module de réaction** corrigé du sol support et la contrainte admissible de traction par flexion du béton. La méthode inverse est ici moins difficilement applicable car la charge admissible dépend principalement de la dalle de béton dont il est facile de mesurer les caractéristiques.

Dans un cas comme dans l'autre, cette méthode se heurte toutefois, lorsqu'elle est utilisée seule, à de grandes difficultés pour apprécier les paramètres structurels à prendre en compte pour caractériser, à un moment donné, une chaussée existante et son sol support. Même s'il existe des archives concernant à la fois la construction de la chaussée, les éventuels travaux d'entretien ou de renforcement réalisés et le trafic passé, cette méthode exige que de nombreux sondages et essais soient réalisés, dont les résultats demeureront généralement incertains du fait de la difficulté d'apprécier certains paramètres (coefficients d'équivalence des couches de chaussée souple, transferts de charge entre dalles de béton, etc...) et du risque de manque de représentativité des sondages. L'ensemble de la méthode sera naturellement revu avec l'introduction d'une nouvelle méthode de dimensionnement annoncée, au chapitre 5 pour les chaussées souples.

## 7-4-2 Recours au radar géologique

Le **radar géologique** est un moyen complémentaire non destructif permettant de déterminer en lecture continue :

- les épaisseurs des couches de matériaux constituant le corps de chaussée,
- les désordres pouvant affecter celles-ci et leur sol support.

Les impulsions électromagnétiques envoyées par le radar se propagent, en s'atténuant, dans la structure auscultée et se réfléchissent partiellement sur les interfaces entre couches du fait du contraste de leurs constantes diélectriques.

Calé par quelques carottages, le traitement des échos reçus en retour permet de tracer la coupe de la chaussée selon l'axe d'auscultation.

L'espacement entre axes d'auscultation sera choisi de manière à obtenir la meilleure visualisation de la répartition des anomalies et de la dispersion latérale des épaisseurs de matériaux. Un intervalle régulier (5 m par exemple) sera généralement retenu.

Dépendant essentiellement de la fonction de l'aire considérée, le nombre des axes d'auscultation sera généralement de :

- 1 à 3 pour une bretelle ou une voie de relation,
- 2 à 5 pour une piste,



Radar LPC

- 1 profil longitudinal tous les 20 m pour une aire de stationnement.

Il y a lieu de retenir, avant toute décision d'emploi d'un radar géologique, que :

- le signal radar traverse très mal ou pas du tout les couches contenant des éléments métalliques (laitier, mâchefer,...),
- la différenciation de deux couches successives traitées au bitume n'est généralement pas possible, sauf discontinuité marquée par l'interface,
- la présence d'eau réduit la profondeur d'investigation mais accroît les contrastes diélectriques entre couches traversées.

## M - CAS D'UNE CHAUSSÉE SOUPLE



Remorque de portance du STBA en fonctionnement

Photo: STBA / M.A. FROESSART

### M-1 OBJECTIF DE L'ESSAI

*L'essai de plaque sur une chaussée souple a pour but de caractériser le comportement à la fatigue du complexe constitué par la chaussée et son sol*

*support en déterminant la charge de service qui, appliquée 10 000 fois\* à la surface de la chaussée, provoquerait un tassement limite estimé admissible.*

### M-2 PRINCIPE DE L'ESSAI

*La chaussée est soumise à des cycles de charge et de déchargement sous des charges croissantes choisies de façon à encadrer la valeur supposée de la charge de service. Ainsi qu'il a déjà été indiqué\*\*, de nombreuses expérimentations ont montré que la déformation résiduelle après déchargement croissait à peu près linéairement avec le logarithme du nombre d'applications.*

*La courbe donnant le tassement résiduel après 10 000 cycles en fonction des charges d'essais peut alors être tracée. Selon l'allure de cette courbe et la constitution de la chaussée, une valeur de tassement résiduel maximal est choisie qui permet de déterminer sur la courbe la valeur de la charge de service à l'emplacement de l'essai.*

*Cette loi est ici utilisée pour calculer la valeur du tassement après 10 000 cycles à partir de celui mesuré à l'issue des 10 premiers.*

\* nombre représentatif des recouvrements de charges correspondant aux 36 500 mouvements pris en compte dans les méthodes de dimensionnement (cf. § 5-1)

\*\* cf. également § 5-1 (Charge de calcul et méthodes de dimensionnement)

### M-3 MODE OPÉRATOIRE



Photo: M. STÉPHAN / MA, FROISSEY

Poutre, capteurs et plaque

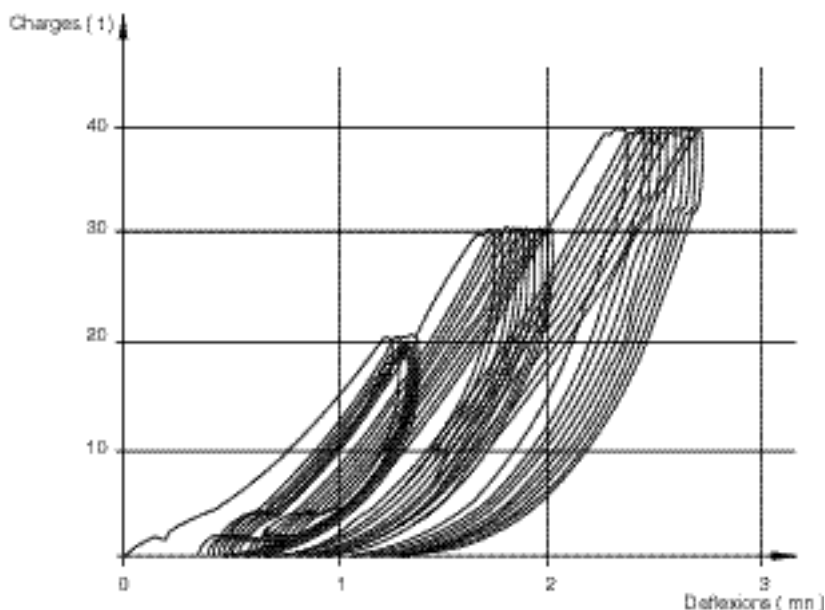
Le diamètre de la plaque d'essai est choisi de façon que la pression moyenne appliquée à la

chaussée reste dans le domaine des pressions habituelles des pneumatiques des avions fréquentant l'aérodrome. Ainsi les diamètres de 42 cm et 65 cm sont-ils en général respectivement retenus pour les charges inférieures à 20 t et pour celles comprises entre 20 et 50 t.

Cinq capteurs sont fixés sur une poutre de référence de façon à mesurer les déformations de la chaussée sur une longueur telle que puisse être définie l'allure de la cuvette de déflexion (un capteur de référence au travers de la plaque et quatre capteurs disposés à intervalles réguliers).

Les charges d'essai font chacune l'objet de dix cycles d'application, la première étant choisie sensiblement en dessous de la valeur supposée de la charge de service. Les suivantes sont définies en fonction des tassements obtenus avec les charges précédentes.

Il suffit généralement de trois ou quatre séries de dix cycles d'application, dont la plage recouvre de manière croissante la charge de service supposée, pour que le traitement des résultats permette de fixer la valeur à retenir pour celle-ci. La figure 7-10 ci-après reproduit le relevé d'un essai de chargement.



7-10 Relevé d'un essai à trois séries de dix cycles de chargement

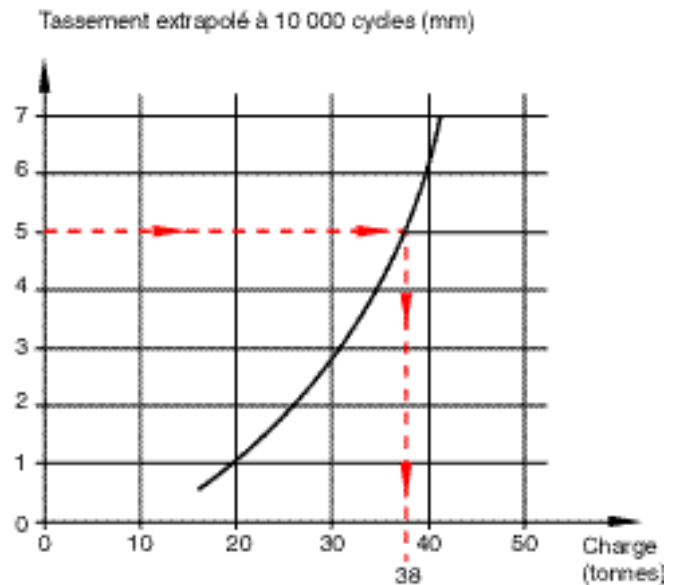
## M-4 EXPLOITATION DES MESURES

Les tassements résiduels mesurés sous la plaque au cours de chaque cycle font l'objet d'un traitement informatique ayant pour but de déterminer, pour la charge correspondant à chacun d'eux, le tassement résiduel extrapolé à 10 000 applications.

Peut ainsi être tracé le segment utile de la courbe qui relie ces valeurs extrapolées aux charges correspondantes et dont la figure 7-11 ci-contre donne un exemple facilement exploitable.

La charge admissible pour le point considéré, ou **charge de service**, est la valeur correspondant à un **tassement résiduel limite** estimé admissible. Cette valeur est choisie entre 2,5 et 5,0 mm en fonction du caractère plus ou moins adapté du schéma théorique retenu pour les structures souples\* à la chaussée considérée et selon les indications données par certains paramètres tels que l'âge et l'état apparent de la chaussée ou le produit  $R.d$  du rayon de courbure  $R$  de la cuvette de déformation sous le premier capteur par la déflexion  $d$  mesurée sous charge.

\* cf. § 5-2-1 ci-dessus (Comportement d'une chaussée souple)



7-11 Courbe reliant le tassement résiduel à la charge appliquée 10 000 fois

## N - CAS D'UNE CHAUSSEE RIGIDE

### N-1 OBJECTIF DE L'ESSAI

L'**essai de plaque** sur une chaussée rigide a pour but de déterminer la **charge de service** provoquant la contrainte maximale admissible de traction par

flexion en un point de la dalle de béton où elle peut être mesurée.

### N-2 PRINCIPE DE L'ESSAI

Les dalles testées sont chargées en coin de manière à ce que les contraintes de traction par flexion se développent sur leur face supérieure. Seules naturellement ont valeur de test les dalles non fissurées dans cette zone.

La contrainte maximale étant alors située sur la bissectrice de l'angle du coin de dalle, le principe de l'essai consiste à disposer une série de capteurs sur cette bissectrice afin de déterminer, pour chaque essai de chargement, l'élongation maximale correspondant elle-même à la contrainte maximale de traction dans le béton.

### N-3 MODE OPERATOIRE

La pression d'application ayant peu d'influence sur les résultats pour les chaussées rigides, seule la plaque de 42 cm de diamètre est utilisée.

Cinq **capteurs d'élongation** sont disposés sur la bissectrice de l'angle du coin chargé, au droit duquel ils sont associés à un **capteur de déflexion**. Placés sur les trois autres coins des dalles adjacentes, trois autres capteurs de déflexion complètent le dispositif afin d'évaluer la qualité des transferts de charge. Les quatre capteurs de déflexion sont fixés à une poutre de référence dont les appuis sont suffisamment éloignés du point d'application de la charge. Le dispositif de mesure, qui vient d'être décrit, est schématisé sur la figure 7-12.

Un préchargement comprenant un ou deux cycles à 5 t est tout d'abord réalisé pour caler les zéros des capteurs d'élongation et connaître la réponse de la dalle.

Les séries de cycles de chargements à des charges croissantes par pas fixe (pouvant varier de 5 à 10 t) sont ensuite réalisées à partir d'une valeur initiale déterminée par le préchargement.

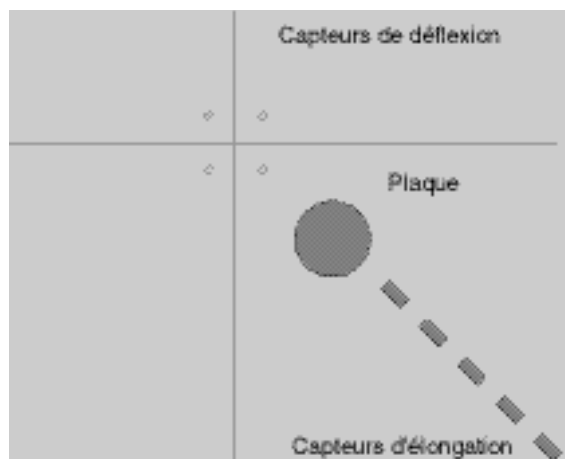
Chaque charge fait l'objet de quatre cycles afin de stabiliser la valeur de l'élongation sous chacun des capteurs

L'essai est normalement arrêté lorsque l'élongation maximale relative de la surface du béton atteint  $100 \cdot 10^{-6}$ , de façon à éviter toute rupture de dalle.



Capteurs en coin de dalle et sur la bissectrice de l'angle du coin chargé

Est également mesurée, pour chaque cycle de charge, la déflexion au coin de la dalle testée, dont l'ensemble des valeurs sera aussi exploité.



7-12 Disposition des capteurs concourant à un essai de chargement en coin de dalle d'une chaussée rigide

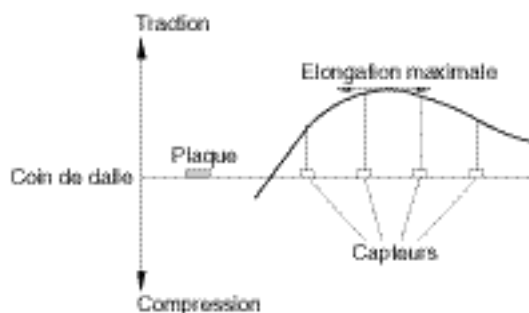
## N-4 EXPLOITATION DES MESURES

Les capteurs permettent de mesurer, pour chaque série de chargement, plusieurs élongations sur la bissectrice de l'angle du coin chargé, entre lesquelles une fonction d'ajustement permet de déterminer la valeur maximale atteinte sur cette même bissectrice.

Il est donc possible d'étudier l'évolution de cette élongation maximale en fonction de la charge.

La **charge de service** pour le coin de dalle considéré sera la plus petite des deux valeurs suivantes :

- celle correspondant à l'élongation maximale admissible, celle-ci étant déduite des caractéristiques du béton (module d'élasticité et contrainte admissible de traction par flexion) fournies, soit par les essais spécifiques correspondants, soit par les documents d'archives,
- celle correspondant à la charge provoquant l'**enfoncement maximal admissible**, pour lequel la valeur de 2 mm est généralement choisie.



7-13 Détermination graphique à partir des valeurs mesurées de l'élongation maximale correspondant à une série de chargement

## N-5 ÉVALUATION DES TRANSFERTS DE CHARGE

Les capteurs de déflexion disposés en coins permettent d'apprécier les conditions de transferts de charge et d'appui des dalles.

L'indice de **transfert de charge** pour le coin chargé est égal au rapport entre la déflexion mesurée sur ce dernier et la somme des quatre déflexions mesurées. Il varie par suite entre 1 (absence de transfert de charge) et 0,25 (parfait transfert de charge).

Il y a lieu toutefois de noter qu'il est important que les essais soient réalisés dans des conditions de températures représentatives des plus mauvais transferts de charge entre dalles. Ainsi ces essais peuvent-ils, indépendamment de la disponibilité de l'aire de manœuvre, être préférentiellement réalisés de nuit afin d'éviter l'autoblocage des dalles qui se dilatent pendant le jour sous l'effet d'une température plus élevée.



Essais de portance effectués en conditions optimales (de nuit) pour une chaussée rigide

## O - EXPLOITATION DE L'ENSEMBLE DES ESSAIS DE PLAQUE



Équipement électronique de la cabine laboratoire



Matériel pour l'outre mer complété sur place

Le Service Technique des Bases Aériennes dispose de deux types de **matériels d'essais**, à savoir :

- une « remorque de portance » largement automatisée, qui permet d'effectuer en métropole les essais dans des conditions optimales,
- un matériel, facilement transportable par avion hors métropole, destiné à être complété par des équipements lourds rassemblés sur place et qui permet la réalisation des mêmes essais, avec toutefois une moins grande commodité.

L'auscultation des infrastructures d'un aéroport comprend un nombre relativement important (80 à 100 sur un aéroport moyen) d'essais de plaque non destructifs permettant d'apprécier l'homogénéité de comportement de ses chaussées.

L'importance des moyens complémentaires mis en œuvre dépend de l'objectif recherché et des données connues de la chaussée. C'est ainsi que :

- si la chaussée est ancienne et ses caractéristiques mal connues, il convient d'effectuer des sondages et de procéder à des essais de laboratoire sur les matériaux prélevés dans le corps de

chaussée et son sol support,

- s'il s'agit d'une chaussée récente (dont les caractéristiques mécaniques ne peuvent qu'avoir été faiblement affectées et pour laquelle des archives suffisantes sont disponibles) ou d'une chaussée ayant précédemment fait l'objet d'une évaluation complète, il suffit en général, pour suivre l'évolution de sa portance\*, de réaliser des essais de plaque non destructifs. Il en est de même lorsqu'il s'agit de vérifier la qualité du renforcement d'une chaussée qui aurait fait l'objet d'une évaluation complète préalable.

Les essais, qui ont été décrits aux § M et N, fournissent en chaque point une **charge de service** pour une roue simple isolée d'avion. La méthodologie de détermination des **charges admissibles** pour l'ensemble de l'aire auscultée suit alors les étapes ci-après.

\* La sensibilité de l'essai aux conditions de température conduit à recommander que les campagnes successives sur une même plate-forme se situent en même période d'année.



## O-1 DÉLIMITATION ET CARACTÉRISATION DES ZONES HOMOGÈNES

*Il convient en effet, dans un premier temps, de déterminer les zones homogènes de la chaussée sur le double plan des caractéristiques mécaniques de sa structure et de son sol support.*

*Ce découpage en **zones homogènes** s'effectue à partir d'une première analyse des résultats d'essais de chargement de plaque effectués par le S.T.B.A., mais aussi en fonction :*

- de la destination des aires (piste, voie de circulation, aire de stationnement),*
- de l'historique des ouvrages (construction initiale, travaux d'entretien et de réfection successifs),*
- de l'état de surface d'après le relevé des dégradations.*

*Lorsque les caractéristiques structurelles de la chaussée ne sont pas suffisamment connues, les essais sont complétés par des sondages, dont le nombre et les implantations sont choisis de manière à ce qu'ils soient représentatifs dans chaque zone homogène.*

*Ainsi ces sondages sont-ils implantés en un (ou des) point(s) où ont été pratiqués des essais de plaque ayant donné un résultat voisin de la charge admissible retenue pour la zone. En général, on procède à un sondage par zone. Quelques son-*

*dages sont parfois aussi réalisés en des points singuliers (points où la charge admissible est particulièrement faible par exemple). Ces sondages, d'environ 1,5 m<sup>2</sup> de section, ont, selon le type de chaussée, pour objet de :*

- déterminer la structure de la chaussée, notamment l'épaisseur des couches, et de contrôler in situ et en laboratoire la qualité des matériaux en place,*
- réaliser des essais de **module de réaction** sur le sol support,*
- mesurer la teneur en eau et la densité en place du sol support et d'y prélever des échantillons intacts ou remaniés pour analyse et essais en laboratoire.*

*Pour chacune des zones, une étude du trafic supporté (masses, nombre de mouvements) ainsi qu'une inspection détaillée des chaussées (aux fins d'établir un indice de service) sont également effectuées.*

*La délimitation de chaque zone homogène au regard de la portance peut aussi être complétée par des renseignements complémentaires concernant le drainage.*

## O-2 CARACTÉRISATION DES CHAUSSÉES SOUPLES

La **charge de service**  $P_s$  correspondant à une **zone homogène** est généralement\* prise comme étant la moyenne  $\bar{P}$  des valeurs obtenues au cours des essais de plaque diminuée de l'écart type  $\delta$  ( $P_s = \bar{P} - \delta$ ).

Les mesures d'identification in situ et en laboratoire fournissent les caractéristiques :

- du sol support, dont notamment son indice **C.B.R.**,
- des matériaux constituant les couches de chaussée.

Déduites de cette identification, les valeurs des **coefficients d'équivalence** des différentes couches sont adaptées en fonction de l'état et de l'âge de la chaussée.

La méthode de caractérisation de chaque zone homogène consiste alors à comparer la charge de service provenant des essais de chargement de plaque (et par suite associée à la valeur du tassement résiduel choisi) et celle donnée par la **méthode inverse de dimensionnement** (associée aux coefficients estimés d'équivalence des couches de chaussée et à l'indice C.B.R. du sol support).

Lorsque ces valeurs sont voisines, la zone homo-

gène est caractérisée par :

- l'indice C.B.R. du sol support,
- l'épaisseur équivalente du corps de chaussée,
- les charges admissibles  $P_a$  (roue simple isolée (R.S.I.), jumelage (J) et boggie (B)) déduites des **abaques de dimensionnement** des différents types d'atterrisseurs\*\* à partir des deux données précédentes.

Dans le cas contraire, la variation du C.B.R. dans son intervalle de confiance (plus ou moins 1) permet généralement la mise en cohérence des paramètres de dimensionnement inverse et de la charge de service  $P_s$ .

Si aucun sondage n'a été réalisé sur la zone considérée, les paramètres d'un sondage réalisé sur une zone adjacente et de structure similaire seront utilisés pour caractériser la zone.

\* sauf naturellement lorsque le nombre des essais effectués sur la zone homogène ôte tout sens à l'écart type

\*\* La quasi-totalité des avions actuels étant équipée d'atterrisseurs à roue simple, à jumelage ou à boggie, les chaussées sont caractérisées par trois valeurs de charges admissibles correspondant chacune à la charge limite autorisée sur l'atterrisseur-type à raison de dix mouvements par jour pendant dix ans (trafic normal).

## O-3 CARACTÉRISATION DES CHAUSSEES RIGIDES

La charge admissible  $P_a$  résultera de la comparaison des deux charges suivantes :

- celle  $P_c$  résultant des essais de plaque en coins de dalles,
- celle  $P_m$  fournie par la **méthode inverse de dimensionnement**.

### O-3-1 CHARGE RÉSULTANT DES ESSAIS DE PLAQUE EN COINS DE DALLE

La charge de service résultant des essais de plaque est ici la moyenne  $\bar{P}$  diminuée de l'écart type  $\delta$  ( $P_c = \bar{P} - \delta$ ) de la plus faible des deux séries de charges correspondant respectivement à :

- celles produisant dans le béton une contrainte de traction maximale égale à la contrainte admissible  $\sigma_a$  correspondant à l'élongation admissible mesurée,
- celles induisant un enfoncement vertical admissible, pour lequel, comme déjà indiqué, on retient habituellement la valeur de 2 mm.

Rappelons que la contrainte admissible  $\sigma_a$  est liée, par l'intermédiaire d'un coefficient de sécurité CS à la contrainte  $\sigma_r$  de rupture du béton, par traction à la flexion, mesurée par le laboratoire :

$$\sigma_a = \frac{\sigma_r}{CS}$$

et que ce coefficient de sécurité dépend du type des dispositifs de transfert de charge et de leur qualité\*. Ainsi varie-t-il entre 1,8 (pour les joints munis de transfert de charge efficace) et 2,6 (dans le cas contraire)\*\*. Compte tenu de la difficulté à apprécier la valeur à lui donner, ce coefficient sera, dans un premier temps, pris égal à 1,8.

### O-3-2 CHARGE RÉSULTANT DU DIMENSIONNEMENT INVERSE

Cette charge  $P_m$  est déterminée moyennant la connaissance :

- du **module de réaction** du sol support, corrigé en fonction de l'épaisseur de la couche de fondation\*\*\*  $K_c$ ,
  - de l'épaisseur de la dalle de béton  $h$ ,
  - de la contrainte admissible de traction par flexion  $\sigma_a$  déterminée précédemment,
- tous paramètres provenant des sondages.

### Q-3-3 CHARGES ADMISSIBLES

La comparaison de  $P_c$  et de  $P_m$  conduit naturellement à considérer trois cas, à savoir :

- 1 - celui peu fréquent où  $P_c$  est supérieur à  $P_m$  et où, par conséquent, le chargement le plus contraignant est celui correspondant à l'application de la méthode inverse, auquel cas le coefficient de sécurité CS à retenir, pour la détermination des charges admissibles (R.S.I.), (J) et (B) conservera la valeur de 1,8 initialement choisie,
- 2 - celui où  $P_c$  est égal à  $P_m$  où, par conséquent, les deux cas de chargement sont équivalents et où la chaussée sera caractérisée comme précédemment,
- 3 - celui enfin où  $P_c$  est inférieur à  $P_m$  et où, par conséquent, le cas de chargement en coin de dalle s'avère être le plus contraignant. La valeur de  $P_c$  est alors choisie pour valeur devant servir de point de départ à la détermination, par la méthode inverse de dimensionnement, des charges admissibles (R.S.I.), (J) et (B) et préalablement à celle du coefficient CS.

\* cf. § N-5 ci-dessus (Étude des transferts de charge)

\*\* cf. § 5-3-3 ci-dessus (Prise en compte des joints de piste)

\*\*\* cf. § 5-3-2 ci-dessus (Détermination du module de réaction), figure 5-13

## O-4 CARACTÉRISATION DES CHAUSSEES COMPOSITES

Une **chaussée composite** est une chaussée rigide qui a été renforcée par des matériaux traités aux liants hydrocarbonés.

La charge admissible  $P_a$  pour une roue simple isolée est en général la moyenne  $\bar{P}$  des valeurs obtenues au cours des essais de plaque diminuée de l'écart type  $\delta$  ( $P_a = \bar{P} - \delta$ ).

Les mesures et identifications in situ et en laboratoire fournissent les caractéristiques du sol support dont son **module de réaction**.

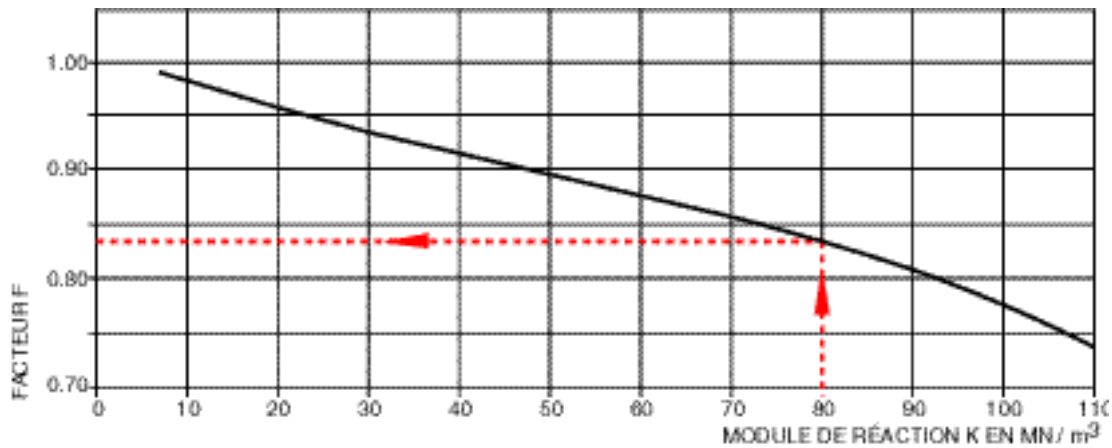
Lorsque les dalles de béton sont en bon état, le couple béton bitumineux - béton de ciment est assimilé à une dalle en béton de ciment dont l'épaisseur  $ht$  est déduite de la formule

$$e = 3,75 (F.ht - h)$$

dans laquelle

- $e$  est l'**épaisseur équivalente** de matériaux enrobés de renforcement,
- $h$  est l'épaisseur de la dalle existante,
- $ht$  est l'épaisseur théorique de la dalle équivalente,
- $F$  est un facteur de réduction dont la valeur, fonction du module de réaction  $K$  de la couche sur laquelle repose la dalle, peut être lue sur l'abaque ci-dessous.

Lorsque par contre l'épaisseur équivalente des matériaux hydrocarbonés de renforcement est supérieure à 25 cm - et dénote par suite une dégradation prononcée de l'ancienne chaussée en béton - la chaussée est considérée comme souple et est caractérisée selon les dispositions faisant l'objet du paragraphe O-2 qui leur est consacré.



7-14 Abaque pour la détermination du facteur F

## 7-5 Inspection des systèmes d'assainissement et de drainage



Photo: STBA / QUARTE

Caniveau, fossé ou regard bouché

*Résultat de la simplicité de leur conception et de leur bon dimensionnement, l'efficacité de ces ouvrages d'assainissement et de drainage dépend également de leur suivi et de leur entretien régulier dans le temps.*

*Cette efficacité est de première importance, les plus dangereuses conséquences d'un réseau de*

*drainage ne fonctionnant pas correctement étant :*

- la saturation du sol de fondation et des couches de chaussée pouvant entraîner la détérioration rapide des surfaces revêtues,
- l'accumulation excessive d'eau de ruissellement pouvant conduire à l'arrêt du trafic aérien.

### 7-5-1 Inspection des ouvrages du réseau d'assainissement

*Il s'agit ici des collecteurs, satujos, caniveaux à grille, fossés, passages sous chaussée, regards,...*

*Une inspection visuelle tous les six mois ou après les événements pluvieux importants est recommandée.*

*Une campagne de curage tous les cinq ans et une inspection des canalisations enterrées à l'aide d'une caméra tous les dix ans constituent une règle complémentaire efficace.*

*Le curage des fossés est naturellement à prévoir en fonction des résultats de l'inspection visuelle.*



PHOTOGRAPHIE SIBEA / A. MARAGNIES

*Image inacceptable d'un défaut de suivi du réseau d'assainissement*

### 7-5-2 Inspection des bassins étanches et des ouvrages desableurs-déshuileurs

*Une inspection visuelle tous les six mois ou après les événements pluvieux importants est recommandée.*

*Leur curage ou le pompage des boues et l'élimination des éléments flottants sont à prévoir en fonction des résultats de l'inspection visuelle.*

### 7-5-3 Inspection des bassins d'infiltration

*Ce type d'ouvrage ne nécessite, a priori, qu'une surveillance permettant de constater qu'il n'y a pas accumulation excessive de boues en fond de*

*bassin. Dans le cas contraire, il convient de procéder à son curage.*

### 7-5-4 Inspection des ouvrages du réseau de drainage des eaux d'infiltration ou de nappe

*Une visite tous les six mois aux différents exutoires permet de constater le fonctionnement normal du réseau. Cette visite pourra permettre de*

*mettre en évidence les défauts de fonctionnement qu'il conviendra de traiter avec les moyens appropriés.*