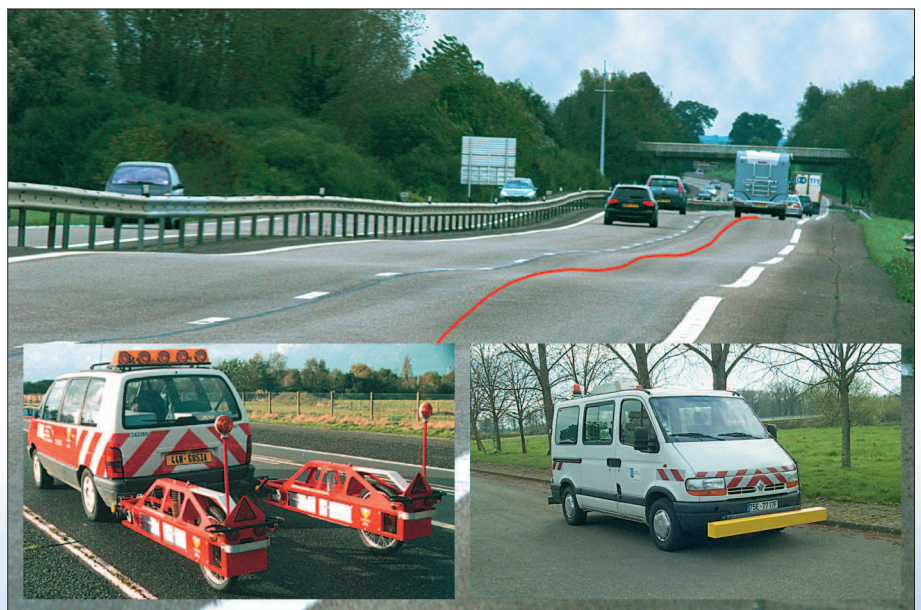




Laboratoire Central  
des Ponts et Chaussées

## techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées



Méthode d'essai des Ipc n°46  
Version 2.0

# Mesure de l'uni longitudinal des chaussées routières et aéronautiques

Conformément à la note du 04/07/2014 de la direction générale de l'Ifsttar précisant la politique de diffusion des ouvrages parus dans les collections éditées par l'Institut, la reproduction de cet ouvrage est autorisée selon les termes de la licence CC BY-NC-ND. Cette licence autorise la redistribution non commerciale de copies identiques à l'original. Dans ce cadre, cet ouvrage peut être copié, distribué et communiqué par tous moyens et sous tous formats.



Attribution — Vous devez créditer l'Oeuvre et intégrer un lien vers la licence. Vous devez indiquer ces informations par tous les moyens possibles mais vous ne pouvez pas suggérer que l'Ifsttar vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son Oeuvre.



Pas d'Utilisation Commerciale — Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de cette Oeuvre, tout ou partie du matériel la composant.



Pas de modifications — Dans le cas où vous effectuez une adaptation, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant l'Oeuvre originale (par exemple, une traduction, etc.), vous n'êtes pas autorisé à distribuer ou mettre à disposition l'Oeuvre modifiée.

## Le patrimoine scientifique de l'Ifsttar

Le libre accès à l'information scientifique est aujourd'hui devenu essentiel pour favoriser la circulation du savoir et pour contribuer à l'innovation et au développement socio-économique. Pour que les résultats des recherches soient plus largement diffusés, lus et utilisés pour de nouveaux travaux, l'Ifsttar a entrepris la numérisation et la mise en ligne de son fonds documentaire. Ainsi, en complément des ouvrages disponibles à la vente, certaines références des collections de l'INRETS et du LCPC sont dès à présent mises à disposition en téléchargement gratuit selon les termes de la licence Creative Commons CC BY-NC-ND.

Le service Politique éditoriale scientifique et technique de l'Ifsttar diffuse différentes collections qui sont le reflet des recherches menées par l'institut :

- Les collections de l'INRETS, Actes
- Les collections de l'INRETS, Outils et Méthodes
- Les collections de l'INRETS, Recherches
- Les collections de l'INRETS, Synthèses
- Les collections du LCPC, Actes
- Les collections du LCPC, Etudes et recherches des laboratoires des ponts et chaussées
- Les collections du LCPC, Rapport de recherche des laboratoires des ponts et chaussées
- Les collections du LCPC, Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, Guide technique
- Les collections du LCPC, Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, Méthode d'essai



Institut Français des Sciences et Techniques des Réseaux,  
de l'Aménagement et des Transports  
14-20 Boulevard Newton, Cité Descartes, Champs sur Marne  
F-77447 Marne la Vallée Cedex 2

Contact : [diffusion-publications@ifsttar.fr](mailto:diffusion-publications@ifsttar.fr)

[www.ifsttar.fr](http://www.ifsttar.fr)





# Mesure de l'uni longitudinal des chaussées routières et aéronautiques

## Exécution et exploitation des relevés profilométriques

### Méthode d'essai n° 46 Version 2.0

Juillet 2009



Laboratoire Central des Ponts et Chaussées  
58, boulevard Lefebvre - 75732 Paris Cedex 15

Cette deuxième version de la ME 46 complète la première par trois nouveaux modules rédigés par :

- Bernard Robert (Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc),
- Emmanuel Delaval (Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Lille),
- Jean-Marc Martin (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées),

sous la supervision de Michel Boulet (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées).

Elle met à jour les modules et annexes existants, rédigés en 2000 par :

- Fabienne Gazo (Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Toulouse),
- Kathy Sebaoun (Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Quentin),
- Wladyslav Jendryka (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées),
- Jean-Claude Pariat (Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées d'Autun),
- Ivy Mouchel (Service Technique de l'Aviation Civile).

Ce document est disponible au :

**Laboratoire Central des Ponts et Chaussées**

DISTC-Diffusion des éditions

58, boulevard Lefebvre

F-75732 Paris Cedex 15

Téléphone : 01 40 43 50 20

Télécopie : 01 40 43 54 95

Internet : <http://www.lcpc.fr>

Prix : **35 Euros HT**

Ce document est propriété du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et ne peut être reproduit, même partiellement, sans l'autorisation de son Directeur général (ou de ses représentants autorisés)

© 2009 - LCPC

ISBN 978-2-7208-2543-3

CrossRef 10.3829/me-me46-2-fr

## ■ SOMMAIRE

<b>PRÉSENTATION</b> .....	5
<b>■ MODULE GÉNÉRAL</b>	
<b>Mesure de l'uni longitudinal des chaussées routières et aéronautiques</b> .....	7
1. Avant-propos .....	7
2. Objet de la méthode .....	8
3. Types d'application .....	8
4. Principe général de la mesure profilométrique de l'uni des chaussées .....	9
5. Appareils de mesure .....	12
6. Sécurité .....	12
7. Glossaire .....	13
8. Références bibliographiques .....	14
<b>■ MODULE 1</b>	
<b>Vérification de la conformité de la couche de roulement des chaussées routières</b> .....	15
1. Objet de la méthode .....	15
2. Domaine d'application .....	15
3. L'appareil de mesure .....	15
4. Incertitude de mesure .....	16
5. Description de l'essai .....	16
6. Analyse des résultats .....	19
7. Présentation des résultats .....	20
<b>■ MODULE 2</b>	
<b>Contribution à l'évaluation de l'état des chaussées à fort trafic</b> .....	23
1. Objet du module .....	23
2. Domaine d'application .....	23
3. L'appareil de mesure .....	23
4. Incertitude de mesure .....	23
5. Description de la mesure .....	24
6. Expression des résultats .....	25
7. Présentation des résultats .....	28
<b>■ MODULE 3</b>	
<b>Contribution à l'évaluation des besoins en reprofilage</b> .....	29
1. Objet du module .....	29
2. Domaine d'application .....	29
3. L'appareil de mesure .....	30
4. Incertitude de mesure .....	30

5. Description de la mesure .....	30
6. Expression des résultats.....	31
7. Présentation des résultats .....	32

■ **MODULE 4**

<b>Vérification de la conformité de la couche de roulement des chaussées aéronautiques .....</b>	<b>35</b>
1. Objet du module.....	35
2. Domaine d'application.....	35
3. L'appareil de mesure .....	35
4. Incertitude de mesure.....	36
5. Description de la mesure .....	36
6. Analyse des résultats .....	43
7. Présentation des résultats .....	43

■ **MODULE 5**

<b>Expertise, diagnostic et aide à la décision .....</b>	<b>45</b>
1. Objet du module.....	45
2. Domaine d'application.....	45
3. L'appareil de mesure .....	45
4. Incertitude de mesure.....	45
5. Description de la mesure .....	46
6. Analyse des résultats .....	47
7. Présentation des résultats .....	55

**ANNEXES AUX MODULES DE LA MÉTHODE D'ESSAI.....** 57

■ **ANNEXE AM GÉNÉRAL - 1**

APL : Analyseur de Profil en Long.....	59
--	----

■ **ANNEXE AM GÉNÉRAL - 2**

MLPL : MuLtiProfilomètre Longitudinal .....	65
---	----

■ **ANNEXE AM3-1**

Méthode d'estimation des quantités de reprofilage.....	69
--	----

■ **ANNEXE AM3-2**

Algorithme de calcul de l'IRL .....	71
-------------------------------------	----

■ **ANNEXE AM4-1**

Spécificité des mesures sur chaussées aéronautiques .....	75
---	----

■ **ANNEXE AM4-2**

Localisation des relevés de profils .....	79
---	----

## ■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE

*Une première version de la méthode d'essai n° 46 a été publiée en 2000 ; elle ne comprenait que le module général et le module n° 1 relatif à la « vérification de la conformité de la couche de roulement des chaussées ». Cette publication partielle était destinée à accompagner celle de la circulaire n° 2000-36 du 22 mai 2000 de la Direction des routes et de ses textes d'application, relatifs au contrôle de l'uni longitudinal des couches de roulement neuves (application au 1er janvier 2001). Cette première version prenait en compte les limites de la pertinence de l'indicateur CAPL 25 (décrite dans la méthode d'essai n° 5 et sur lequel s'appuyait la circulaire précédente n° 84-50) pour proposer une analyse plus fine du signal d'uni longitudinal par décomposition suivant trois bandes d'ondes.*

*Dès sa parution, cette version envisageait d'élargir la gamme des applications de la mesure de l'uni à d'autres domaines que la seule vérification de la conformité des travaux. Ainsi, en février 2002, le module 4 sur l' « évaluation de l'uni longitudinal des chaussées aéronautiques » était publié.*

*La méthode d'essai 46-2 actualise les modules existants pour tenir compte des évolutions des matériels et des logiciels d'analyse, et intègre trois nouveaux modules. Outre le module général, la méthode comporte donc cinq modules spécifiques :*

- le module 1 est relatif à la vérification de conformité de la couche de roulement des chaussées routières,*
- le module 2 permet de contribuer à l'évaluation de l'état des chaussées à fort trafic,*
- le module 3 propose une démarche d'évaluation des besoins en reprofilage,*
- le module 4 est relatif à la vérification de conformité de la couche de roulement des chaussées aéronautiques,*
- le module 5 est dédié à l'expertise, le diagnostic et l'aide à la décision dans le cadre de travaux d'entretien ou de réhabilitation.*

*Au cours de la période qui s'est écoulée entre la publication de la version initiale et celle de la présente version 46-2,*

- les travaux du Groupe National Caractéristique de Surface (GNCDS) du Comité Français des Techniques Routières (CFTR) ont confirmé la pertinence de la démarche décrite dans le module n° 1, et validé les dispositions du module n° 5,*
- les outils d'analyse (APL 2000) ont été éprouvés et régulièrement améliorés : réservés à l'origine aux seuls opérateurs des appareils de mesure, ils sont aujourd'hui diffusables à l'ensemble des acteurs de la communauté routière,*
- en complément de l'appareil historique, l'analyseur de profil en long (APL), le plus utilisé en France, un nouvel appareil mlpc®, le multiprofilomètre longitudinal (MLPL), a été*



*mis au point et commence à être diffusé : il convient toutefois de rappeler que la méthode d'essai est indépendante du matériel de mesure utilisé, dès lors que les caractéristiques des profils qu'il relève satisfont les spécifications définies dans la méthode d'essai n°46,*

- les travaux de normalisation européenne des méthodes d'essai se sont poursuivis : la norme EN 13036-6 « Mesure des profils longitudinaux et transversaux dans le domaine des longueurs d'onde correspondant à l'uni et à la mégatexture (des chaussées) », publiée en 2008, se substitue partiellement à la norme française NF P 98-218-3 référencée dans la méthode d'essai ; la norme EN 13036-5 « Détermination d'indices d'uni longitudinal » en cours d'élaboration (publication envisagée en 2010) pourra conduire à établir une transposition ou un lien avec la méthode d'essai n°46.*

*Coordonnée par la Division ESAR (Entretien Sécurité et Acoustique des Routes) du LCPC, la rédaction de cette nouvelle version de la méthode n°46 a associé les divers spécialistes du réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées, du Service Technique de l'Aviation Civile et du Laboratoire des Aéroports de Paris. La méthode a fait l'objet d'une large concertation au sein de la communauté routière nationale, et prend en compte l'avis du GNCDS. La Direction Technique ISR et la Division ESAR du LCPC se tiennent à la disposition des utilisateurs de cette méthode pour faciliter la compréhension des diverses procédures qu'elle contient.*

**MICHEL BOULET**

DIRECTEUR TECHNIQUE  
INFRASTRUCTURES ET SÉCURITÉ ROUTIÈRE

# Mesure de l'uni longitudinal des chaussées routières et aéronautiques

## 1. Avant-propos

### 1.1. La notion d'uni longitudinal

Contrairement au profil en long théorique des projets routiers, qui suit une ligne courbe sans défaut, la surface des chaussées présente des irrégularités géométriques, principalement dues à des défauts de construction ou à des dégradations qui apparaissent au cours de la vie de la chaussée. L'ensemble de ces irrégularités plus ou moins prononcées et répétées, constitue l'uni longitudinal des chaussées.

Les défauts d'uni longitudinal perturbent le comportement dynamique des véhicules, en provoquant divers mouvements affectant, selon les fréquences d'excitation, la sécurité et le confort de leurs passagers, voire l'usure et la consommation en carburant des véhicules. Ils sont aussi la cause des phénomènes de surcharge dynamique qui accélèrent la fatigue des chaussées.

Conventionnellement défini comme un signal aléatoire, dans un domaine de longueurs d'ondes comprises entre 0,50 m et 50 m pour les routes (100 m pour les pistes aéronautiques), l'uni longitudinal des chaussées se mesure à l'aide d'appareils aux principes de fonctionnement divers, se classant généralement dans l'une ou l'autre de deux familles : les appareils de « type réponse » et les appareils de « type Profilomètre ». Dans la présente méthode d'essai, seules sont considérées les mesures au moyen d'appareils de « type Profilomètre » (statiques ou dynamiques).

D'une façon générale, que ce soit en cours ou en fin de sa construction ou dans le cadre des auscultations pour la gestion de son entretien, la qualité de l'uni longitudinal d'une chaussée s'apprécie en fonction de la gamme de longueurs d'onde des défauts et en fonction de la vitesse maximale de circulation qui y est autorisée.

## 1.2. Structure du document

Le présent document est composé d'une partie générale et de cinq modules ou modes opératoires, correspondant à cinq types d'application de la mesure de l'uni longitudinal. La partie générale comprend les éléments communs à tous les types d'application. Les cinq modules ont une structure identique et incluent :

- l'objet du module,
- le domaine d'application,
- le niveau de performances requis pour le matériel de mesurage,
- la description de l'essai,
- les conditions de réalisation de l'essai,
- l'analyse des résultats et leur présentation.

Chacun des modules Mm peut contenir x annexes repérées AMm-x. Pour la différencier de celle de la partie générale, la numérotation des tableaux et figures de chaque module sera de la forme Mm-y et AM-x-z (y numéro d'ordre de l'illustration dans le module M et z numéro d'ordre de l'illustration dans l'annexe).

## 2. Objet de la méthode

La méthode d'essai n° 46 de mesure de l'uni longitudinal des chaussées, définit les conditions de réalisation et d'analyse des relevés profilométriques effectués sur les couches des chaussées routières ou aéronautiques, que ce soit lors de leur construction ou dans le cadre d'une campagne d'auscultation pour la gestion de leur entretien.

La méthode fournit aux acteurs de la construction et de la gestion des routes, les connaissances utiles au bon usage de la mesure de l'uni longitudinal des chaussées.

## 3. Types d'application

La méthode d'essai n° 46 distingue cinq types d'application de la mesure longitudinal des chaussées (tableau I).

**TABLEAU I - Modules et types d'application de la méthode d'essai n° 46**

Modules	Types d'application
Module 1	Vérification de la conformité de la couche de roulement des chaussées
Module 2	Contribution à l'évaluation de l'état des chaussées à fort trafic
Module 3	Contribution à l'évaluation des besoins de reprofilage
Module 4	Vérification de la conformité de la couche de roulement des chaussées aéronautiques
Module 5	Expertise, diagnostic, aide à la décision

## 4. Principe général de la mesure profilométrique de l'uni des chaussées

### 4.1. Relevé du profil

Les amplitudes des dénivellations verticales du profil en long de la couche de chaussée à ausculter sont relevées par l'appareil de « type Profilomètre » et sont enregistrées sous forme numérique dans un fichier informatique. Le relevé est réalisé selon un pas d'échantillonnage spatial constant  $\Delta x$ .

Cet enregistrement permet de reconstituer une image du profil en long de la chaussée (ou pseudo-profil). La fidélité de cette image dépend des caractéristiques instrumentales (fonction de transfert) de l'appareil.

La figure 1 donne l'exemple d'un tel profil relevé sur environ un kilomètre.

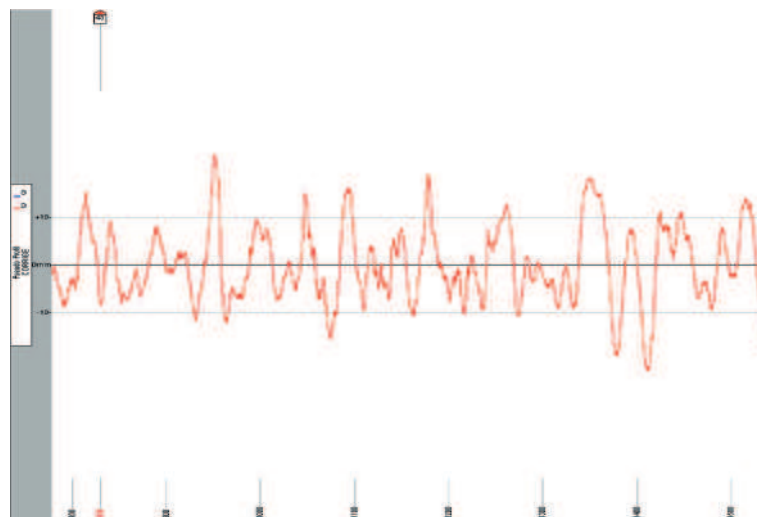


Figure 1

Aspect d'un profil relevé au pas d'échantillonnage  $\Delta x = 5 \text{ cm}$ .

En référence aux normes NF P 98-218-3 [2] et EN 13036-6 [9], les caractéristiques minimales des relevés réalisés par le moyen d'essai, doivent être les suivantes :

- contenu spectral : restitution sans atténuation de toutes les longueurs d'ondes  $\lambda$  comprises entre 0,7 m et 45,2 m,
- échantillonnage spatial : pas élémentaire  $\Delta x \leq 5 \text{ cm} \pm 0,5 \text{ cm}$ ,
- amplitude verticale : étendue de mesure  $\geq \pm 80 \text{ mm}$ , résolution  $\leq 0,1 \text{ mm}$ ,
- abscisse curviligne : résolution  $\leq 0,05 \text{ m}$ , incertitude de mesure  $\leq 0,1 \%$ .

En complément, on saisit, au cours de la mesure et de manière synchrone à l'acquisition de l'abscisse curviligne, toute information ou « événement » servant au repérage et à la localisation des points singuliers : changement de revêtement, joint d'ouvrage, traversée de voie ferroviaires, etc.

Le pseudo-profil ainsi décrit, est l'information de base à laquelle s'appliquent les méthodes de traitement, faisant l'objet des normes NF P 98-218-3 [2], EN 13036-6 [9] ou ISO 8608 [1] ou de définitions spécifiques, pour caractériser par l'intermédiaire d'un indicateur, l'uni longitudinal d'une couche de chaussée.

L'analyse directe de la forme du pseudo-profil est en outre indispensable pour la localisation d'un défaut d'uni particulier.

## 4.2. Analyse du profil : calcul du quantificateur d'uni NBO

L'analyse de chaque profil relevé passe par le calcul des indices d'uni NBO (Notes par Bandes d'Ondes). En référence à la norme NF P 98-218-3, ce calcul requiert une décomposition numérique préalable du profil relevé, en signaux filtrés selon trois bandes de longueurs d'ondes définies dans le tableau II.

TABLEAU II - Définition des bandes de longueurs d'ondes

Désignation	Terme abrégé	Longueurs d'ondes (m)	Longueur des segments de calcul (m)
Petites ondes	PO	$0,707 < \lambda < 2,828$	20
Moyennes ondes	MO	$2,828 < \lambda < 11,312$	100
Grandes ondes	GO	$11,312 < \lambda < 45,248$	200

Dans chaque bande d'onde et pour la longueur de segmentation choisie, on calcule l'énergie du signal filtré, pour donner les indices suivants d'énergie par bandes d'ondes EBO (unité en  $\text{cm}^3$ ) :

- $EPO_{20}$  désigne les énergies PO calculées sur des segments successifs de 20 m de longueur,
- $EMO_{100}$  désigne les énergies MO calculées sur des segments successifs de 100 m de longueur,
- $EGO_{200}$  désigne les énergies GO calculées sur des segments successifs de 200 m de longueur.

La procédure d'analyse est illustrée par la figure 2.

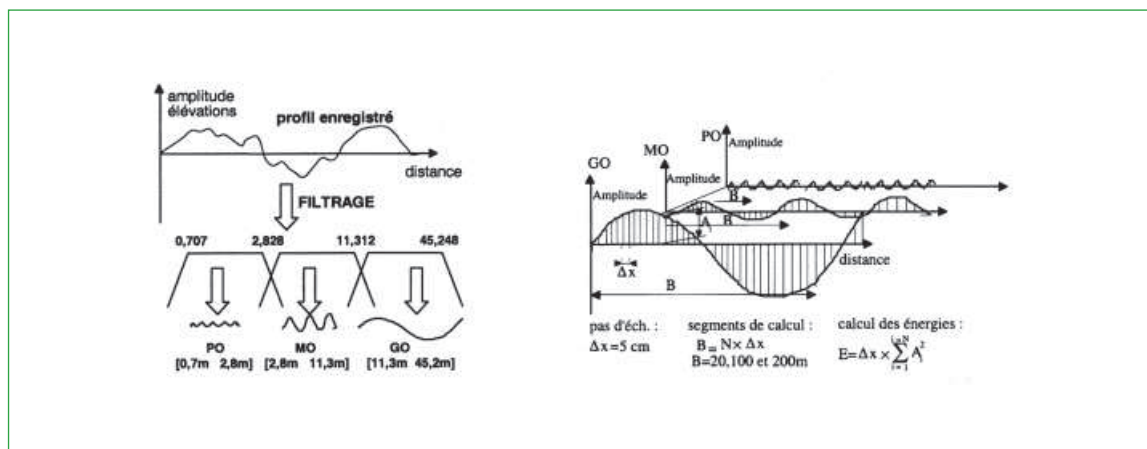


Figure 2

Principe de calcul des énergies EBO.

Les segments de calcul sont localisés par rapport au repère d'origine de la section à ausculter. En fin de session de mesure, lorsqu'un segment est inférieur à 20 m, 100 m et 200 m (respectivement PO, MO et GO), il n'est pas procédé au calcul de l'énergie s'y rapportant.

Les valeurs des énergies EBO ainsi obtenues sont transformées en notes par bandes d'ondes (NBO), qui donnent une appréciation de la qualité chiffrée dans une échelle à 20 niveaux graduée de 0 (très mauvais uni) à 10 (excellent uni). La correspondance entre les valeurs des notes NBO et les étendues des valeurs des énergies EBO est donnée dans le tableau III.

À ce stade, on dispose alors d'un fichier informatique comportant en regard des valeurs de distance parcourue (abscisse curviligne), par segment, les valeurs des énergies et des notes par bandes d'ondes pour les profils relevés.

**TABLEAU III - Correspondances entre les énergies EBO et les notes NBO**

Notes NBO	Intervalle des énergies EBO (borne droite incluse, borne gauche exclue)		
	Petites ondes EPO <sub>20</sub> (en cm <sup>3</sup> )	Moyennes ondes EMO <sub>100</sub> (en cm <sup>3</sup> )	Grandes ondes EGO <sub>200</sub> (en cm <sup>3</sup> )
10	0 à 1,1	0 à 39	0 à 1 267
9,5	1,1 à 1,4	39 à 49	1 267 à 1 585
9	1,4 à 1,7	49 à 62	1 585 à 1 983
8,5	1,7 à 2,2	62 à 77	1 983 à 2 481
8	2,2 à 2,7	77 à 97	2 481 à 3 103
7,5	2,7 à 3,4	97 à 121	3 103 à 3 882
7	3,4 à 4,2	121 à 151	3 882 à 4 857
6,5	4,2 à 5,3	151 à 189	4 857 à 6 076
6	5,3 à 6,6	189 à 236	6 076 à 7 601
5,5	6,6 à 8,2	236 à 296	7 601 à 9 509
5	8,2 à 10,3	296 à 370	9 509 à 11 896
4,5	10,3 à 12,9	370 à 463	11 896 à 14 882
4	12,9 à 16,1	463 à 579	14 882 à 18 618
3,5	16,1 à 20,2	579 à 725	18 618 à 23 292
3	20,2 à 25,3	725 à 906	23 292 à 29 139
2,5	25,3 à 31,6	906 à 1134	29 139 à 36 453
2	31,6 à 39,5	1 134 à 1 419	36 453 à 45 604
1,5	39,5 à 49,5	1 419 à 1 775	45 604 à 57 051
1	49,5 à 61,9	1 775 à 2 220	57 051 à 71 372
0,5	61,9 à 77,4	2 220 à 2 778	71 372 à 89 288
0	> 77,4	> 2 778	> 89 288

### 4.3. Autres analyses du profil : cas particuliers

Certaines applications ne font appel que partiellement aux résultats décrits (une ou deux bandes sur les trois traitées) d'autres nécessitent parfois l'utilisation de quantificateurs spécifiques. Ces cas sont alors décrits dans le module propre à l'application.

## 5. Appareils de mesure

### 5.1. Profilomètres à référence géométrique

Cette dénomination recouvre les appareils dont le principe de mesure repose sur une référence géométrique comme : les règles, les théodolites de précision, les faisceaux laser, etc. Ces appareils sont, à ce jour, généralement statiques ou quasi-statiques.

### 5.2. Profilomètres à référence inertielle

Cette dénomination recouvre les appareils dont le principe de mesure repose sur une référence inertielle directe à basse fréquence comme les systèmes à pendule inertielle ou à centrale gyroscopique, ou indirecte comme les systèmes à double intégration de l'accélération. Ces appareils ont un grand rendement et peuvent avoir des exigences de vitesse (minimale, maximale, constante, etc.).

### 5.3. Démarche Qualité

Les équipements doivent être en conformité avec la procédure Qualité, à la fois métrologique et opératoire, définie par le constructeur ; une attestation de conformité les accompagne.

### 5.4. Matériels spécifiques à une application

Des textes réglementaires se rapportant à certaines applications particulières (par exemple pour la vérification de conformité des chaussées neuves) se réfèrent à un matériel ou un traitement des données spécifique. Dans ce cas, et lorsqu'il y a nécessité, une annexe décrit dans le module concerné, les dispositions particulières à prendre.

## 6. Sécurité

Pour la sécurité des personnels et des matériels, l'équipage de mesure devra respecter toutes les dispositions indiquées dans le Plan Prévention Sécurité et de Protection Santé du chantier. Dans tous les cas, il prendra les consignes auprès du maître d'ouvrage ou du maître d'œuvre [3] et [4].

## 7. Glossaire

**APL** : Analyseur de Profil en Long – matériel mlpc<sup>®</sup>

Quantificateur (ou indice) d'uni : Indicateur de la qualité de l'uni d'une chaussée ou d'une piste. Il est déterminé par des algorithmes de calcul appliqués au profil relevé en utilisant ou non, différents modes de filtrage. On trouve aussi le terme index qui est pris au vocabulaire anglais.

**APL72** : Ancienne configuration bitrace de l'APL qui permettait après filtrage du signal analogique dans trois bandes d'ondes, respectivement PO [1-3,3 m], MO [3,3-13 m], GO [13-40 m] de délivrer à partir de leurs énergies, des notes d'uni dites notes APL72 dans une échelle de 1 à 10, sur des segments de chaussée de 200 m et à partir de la moyenne des énergies gauche et droite. Voir aussi notation NBO.

**Bande de roulement** : Les deux parties de la voie de circulation correspondant à l'emprise de la chaussée en contact avec les pneumatiques des véhicules. Cette emprise se délimite par la variété de largeurs de voie des véhicules pour leurs trajectoires les plus fréquentes. La matérialisation est alors visible sous différentes formes (traces de pneumatiques, polissage, ressuage voire orniérage).

**Bitrace** : Configuration ou équipement permettant le relevé simultané de deux pseudo-profils.

**MLPL** : MuLti-Profilomètre Longitudinal - Matériel mlpc<sup>®</sup> : appareil sans contact de mesure de profil en long sur deux ou trois traces.

**Monotrace** : Configuration ou équipement permettant le relevé d'un seul pseudo-profil.

**Notation NBO (par segmentation variable)** : La notation par bandes d'ondes est définie au chapitre 4.2. On remarquera que si le principe général est le même que la notation APL72, le mode de filtrage, les bandes des filtres, les segments de calcul et le mode de notation ont évolué notamment en fonction de normes.

**Pseudo-profil** : Image d'un profil vrai de la chaussée dont les caractéristiques dépendent du filtre à travers lequel est vu le profil. Ce filtre déforme le profil en modifiant l'amplitude et/ou la phase du signal qui le transcrit. Par convention, l'uni des chaussées est défini par un pseudo-profil des défauts de longueurs comprises entre environ 0,5 m et environ 50 mètres. Cependant, on emploie souvent pour ce pseudo-profil, le terme profil, voire profil de référence, ce dernier étant lui-même plus ou moins fidèlement relevé par les différents matériels d'auscultation créés à cet effet.

**Trace** : Axe longitudinal portant la position des relevés du profil routier. Cet axe correspond à la trajectoire de l'appareil au cours de la mesure. Par extension, on utilise les termes de trace gauche ou trace droite, pour désigner le canal de mesure dans la chaîne d'acquisition. On parle « d'erreur de trace » quand les mesures sont réalisées en dehors de l'axe souhaité.

**Transposition (de vitesse)** : Opération qui permet de reconstituer, pour un pseudo-profil obtenu à une vitesse de mesure donnée, le pseudo-profil qui aurait été obtenu à une autre vitesse. La fidélité et la justesse des résultats de cette opération dépendent de la stabilité de la fonction de transfert mais aussi du contenu spectral du signal analysé. De ce fait, et quoique fiables dans la majeure partie des cas, ces résultats ne peuvent être considérés



que comme des approximations des valeurs qui auraient été obtenues dans les conditions normales de mesurage.

**Tritrace** : Configuration ou équipement permettant le relevé simultané de trois pseudo-profils.

## 8. Références bibliographiques

[1] Norme ISO 8608 : Vibrations mécaniques - Profils de routes - Méthode de présentation de résultats, éditeur ISO, janvier 1995.

[2] Norme NF P 98-218-3 : Détermination de quantificateurs d'uni longitudinal à partir de relevés profilométriques, éditeur AFNOR.

[3] Signalisation temporaire - Manuel du chef de chantier, routes à chaussées séparées et routes bidirectionnelles, éditeur SETRA, mars 1993.

[4] Exploitation sous chantier, les alternats : guide technique, DR/DSCR-SETRA.

[5] Niveau d'uni des couches de roulement - Bilan des mesures en France depuis 1993. Marie-Line Gallenne et Wladyslaw Jendryka. Symposium SIAIS sur l'impact environnemental des défauts d'uni des routes. Porto, Portugal, mars 1999.

[6] Exigences d'uni pour les chaussées : évolutions et conséquences, J.-F. Corté. Symposium SIAIS sur l'impact environnemental des défauts d'uni des routes. Porto, Portugal, mars 1999.

[7] Uni et confort vibratoire des véhicules légers, Y. Delanne et P. Daburon. Symposium SIAIS sur l'impact environnemental des défauts d'uni des routes, Porto, Portugal, mars 1999.

[8] Inventory of high-speed longitudinal and transverse road evenness measuring equipment in Europe, Étude FILTER, G. Descornet, Rapport FEHRL 99-01.

[9] Norme EN 13036-6 : Mesure de profils transversaux et longitudinaux dans le domaine des longueurs d'onde correspondant à l'uni et à la mégatexture, 2008.

[10] Note de sensibilisation du GNCDS : Uni des couches de roulement neuves - Des surprises à éviter, juillet 2007.

## ■ MODULE 1

# Vérification de la conformité de la couche de roulement des chaussées routières

## 1. Objet de la méthode

Ce premier module de la méthode d'essai n° 46 décrit la façon de caractériser la qualité d'uni d'une chaussée.

À partir du relevé du pseudo-profil, on calcule un quantificateur des défauts d'uni de la route sur une longueur donnée. Une analyse de la suite des quantificateurs obtenue permet de situer le niveau de la qualité de l'uni par rapport à des exigences de qualité minimale requise fixées dans les clauses des marchés de travaux.

## 2. Domaine d'application

La méthode est applicable à la vérification de la conformité de l'uni longitudinal des couches de roulement des chaussées lors de la réception des travaux de construction d'une chaussée neuve et pour les travaux de renforcement ou d'entretien d'une chaussée en service. Les mêmes dispositions s'appliquent alors, pour l'évaluation préalable de l'uni de la couche support.

Dans le cadre de contrôles internes, il est recommandé de vérifier la qualité de l'uni sur les couches inférieures. Les chapitres suivants contiennent, les éléments propres à cette application.

La méthode s'applique aux voies de circulation réservées au trafic automobile quels que soient les types de chaussées et les catégories de routes : autoroutes et voies assimilées, routes interurbaines, voies urbaines.

## 3. L'appareil de mesure

L'appareil de mesure doit être un appareil de type « profilomètre » :

- de classe 1 au sens de la norme NF P 98 218-3,
- au minimum de classe 1L1113 au sens de la norme EN 13036-6.

## 4. Incertitude de mesure

L'incertitude attendue pour une mesure d'uni réalisée dans le cadre de l'essai ici défini, doit être compatible avec le tableau M1-1 qui indique la valeur d'EMT (Erreur maximale tolérée) associée à une valeur élémentaire des indicateurs NPO, NMO et NGO, avec un intervalle de confiance de 99 %.

**TABEAU M1-1 - Erreurs maximales tolérées dans l'application du Module 1 de la méthode n° 46**

Bandes d'ondes	EMT en note
PO	1 point
MO	0,5 point
GO	0,5 point

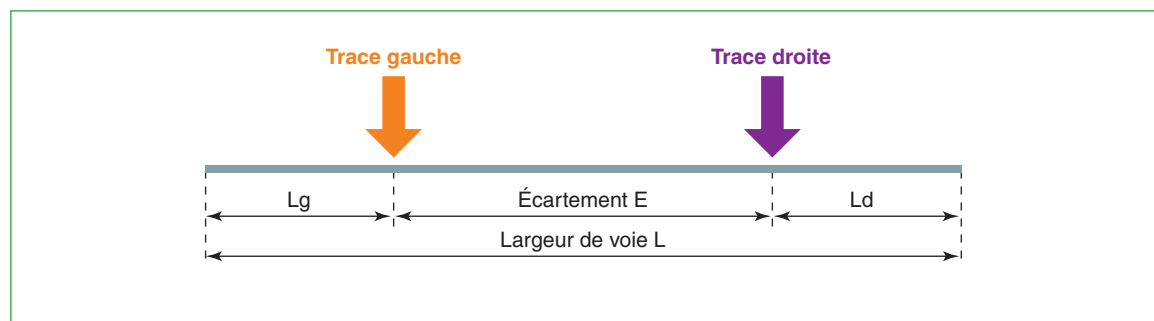
## 5. Description de l'essai

### 5.1. Objet de l'essai

Pour une voie de circulation donnée, l'essai consiste à relever, en continu et dans le sens de circulation du trafic, deux profils suivant des traces de mesures situées dans les bandes de roulement des véhicules et à calculer pour chaque profil relevé, l'indicateur d'uni NBO, tel que défini dans le chapitre général, selon une segmentation variable.

La figure M1-1 schématise le positionnement transversal des traces de mesures sur la voie auscultée.

- Avec un appareil bitrace :  
écartement  $E = 1,50 \text{ m} \pm 0,25 \text{ m}$   
 $L_d = L_g = (L - E) / 2 \pm 0,40 \text{ m}$ .
- Avec un appareil monotrace :  
si  $L = 3,5 \text{ m} \Rightarrow L_d = L_g = 1 \text{ m} \pm 0,40 \text{ m}$   
si  $L = 3 \text{ m} \Rightarrow L_d = L_g = 0,75 \text{ m} \pm 0,40 \text{ m}$ .



*Figure M1-1*

*Positionnement transversal des traces de mesure sur une voie de circulation.*

## 5.2. Préparation de l'essai

Avant d'entreprendre l'essai, il convient d'effectuer une reconnaissance du site à ausculter, pour :

- s'assurer de la faisabilité de l'essai dans les conditions normales d'utilisation de l'appareil,
  - propreté de la chaussée,
  - absence d'entrave à la circulation (existante ou risquant d'apparaître),
  - possibilité du maintien de la vitesse de mesure requise ;
- situer la zone de mesure par rapport à un point de repère (PR) qui peut être :
  - une borne ou marque de PR existante,
  - un ouvrage d'art,
  - une intersection de routes en l'absence de tout autre repère,
  - ou un profil de chantier ;
- inventorier les événements qui seront saisis au cours de la mesure (PR, ouvrages d'art, intersections, joints transversaux, etc.) ;
- marquer la zone à ausculter :
  - au droit des repères d'origine et d'extrémité de la zone pour faciliter leur identification et leur saisie,
  - sur les joints, au droit des ouvrages d'art.

## 5.3. Exécution de l'essai

Sauf spécification contraire définie dans le CCTP de marché de travaux, l'essai est réalisé dans le sens normal de circulation du trafic, en respectant les instructions de la notice d'utilisation de l'appareil pour obtenir les performances métrologiques requises (par exemple celles relatives à la vitesse de mesure).

L'enregistrement des profils relevés est déclenché au moins 200 m avant le repère d'origine de la section à ausculter et arrêté au moins 200 m après le repère de fin (Fig. M1-2).

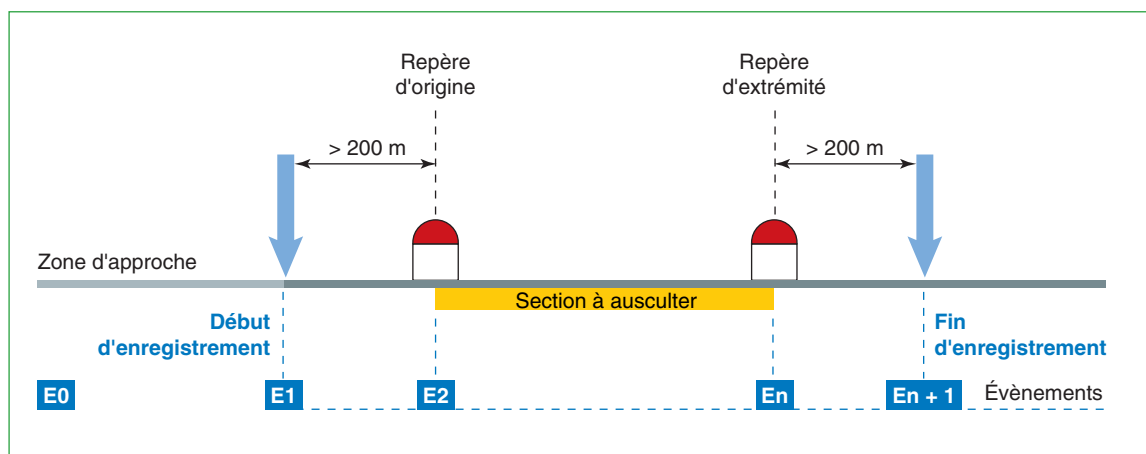


Figure M1-2

*Schéma des zones de transition encadrant une section à ausculter.*

Il est conseillé de limiter à 15 000 m environ la longueur maximale d'un relevé afin de limiter les erreurs cumulées sur la mesure de l'abscisse curviligne.

À l'issue des mesures, les fichiers des valeurs d'élévation des profils enregistrés font l'objet d'une vérification. On effectue un contrôle de la forme du profil relevé qui ne doit pas comporter de discontinuité ou d'aberration. On vérifie également l'abscisse curviligne des repères et autres points singuliers relevés.

En cas d'intervention sous circulation, les dispositions sont arrêtées en commun accord avec le service gestionnaire de la route.

## 5.4. Cas des mesures sur les couches intermédiaires

Dans ce cas, l'application des dispositions de ce module reste fortement recommandée. Toutefois des adaptations pourront être apportées pour tenir compte des contraintes induites par l'organisation du chantier.

### 5.4.1. Exigences sur le repérage

Dans tous les cas où intervient la notion de comparaison des résultats avant travaux et après travaux, il convient de porter le plus grand soin au repérage de l'origine commune aux essais successifs dans le but de pouvoir les superposer correctement.

### 5.4.2. Exigences sur la vitesse de mesure

Sur des couches intermédiaires (couches sous jacentes à la couche de roulement finale), il ne sera pas toujours possible de pratiquer la vitesse nominale d'essai prévue par le mode opératoire de l'appareil. Dans le cas où la vitesse ne pourrait pas être maintenue (circulation de chantier, présence d'obstacles, instabilité des matériaux de la couche auscultée, etc.), le mode opératoire des appareils, dont les résultats de mesure sont sensibles à la vitesse d'auscultation, doit préciser les dispositions à prendre pour en déduire les valeurs du quantificateur NBO.

### 5.4.3. Nombre de traces de mesures

La couche support de la couche de roulement finale sera mesurée dans les mêmes conditions que pour cette dernière : mesure dans les bandes de roulement de chaque voie de circulation.

Les mesures sur les couches inférieures peuvent n'être réalisées que dans une seule trace de chaque voie de circulation et de préférence dans la bande de roulement droite. Les opérations de comparaison doivent être appliquées sur les mêmes traces.

### 5.4.4. Erreurs maximales tolérées (EMT)

Sur la couche support de la couche de roulement finale, l'incertitude de mesure doit être inférieure (ou au plus égale) aux valeurs d'EMT définies pour les trois bandes d'ondes dans le tableau M1-1.

Pour les mesures sur les couches inférieures à la couche support de la couche de roulement finale, les valeurs d'EMT sont plus élevées compte tenu des conditions d'essai.



Pour un lot de 1 000 mètres et pour chaque trace, on dispose ainsi de 50 valeurs de notes NPO, 10 de notes NMO et 5 de notes NGO.

## 6.2. Cas des mesures sur les couches intermédiaires

Sauf document spécifique explicitant une méthodologie différente d'analyse des résultats, les dispositions générales s'appliquent sur les couches successives. On notera toutefois que sur les couches inférieures (hors couche support de la couche de roulement) l'analyse des notes PO n'a aucun intérêt et qu'elles ne seront donc pas à prendre en compte.

# 7. Présentation des résultats

Les résultats sont présentés sur une feuille d'essai contenant :

- un graphique, sous forme de schéma itinéraire, des notes pour les trois bandes d'ondes dans les deux traces auscultées ainsi que le positionnement des événements relevés,
- un cartouche comportant la date des mesures, les informations relatives à l'identification et la localisation de la section auscultée ainsi que les paramètres de mesure (vitesse, pas d'acquisition etc.).
- les conditions particulières d'exécution des mesures : conditions climatiques, état de la chaussée, incidents, etc. ,
- le résultat du tri des notes sous forme d'un tableau des effectifs par note (ou graphe des distributions).

En plus des feuilles d'essais précédemment décrites, le procès-verbal d'essai contient une page de garde identifiant clairement l'organisme responsable de l'exécution de l'essai, ses coordonnées, les références du dossier, ainsi que le demandeur des essais. Il mentionne par ailleurs l'équipage et l'appareil de mesure ainsi que la date de vérification de l'appareil par l'organisme contrôleur.

Un exemple est donné dans les pages suivantes (Fig. M1-3, M1-4 et M1-5).

**UNI LONGITUDINAL**  
**MESURE DE L'UNI SUR LA COUCHE DE ROULEMENT**

**Procès verbal d'essai N° : 100**

**Session N° : 32**

**Date des relevés : 13022008**

**Route : RD 364 Département : 44**

**PR début : 9 + 415 PF fin : 7 - 1973**

**Voie : 1 Sens : Moins**

**Couche : 1**

**Type de chantier : Avant travaux**

**APL gauche N° 1 APL droit N° 2**

**Chauffeur : Durand Pupitreur : Dupont**

**N° d'affaire : 123**

**Date de la commande : 31012008**

**Par : CG44**

**Chargé d'essai : Dupont**

*Figure M1-3 - Procès-verbal d'essai.*



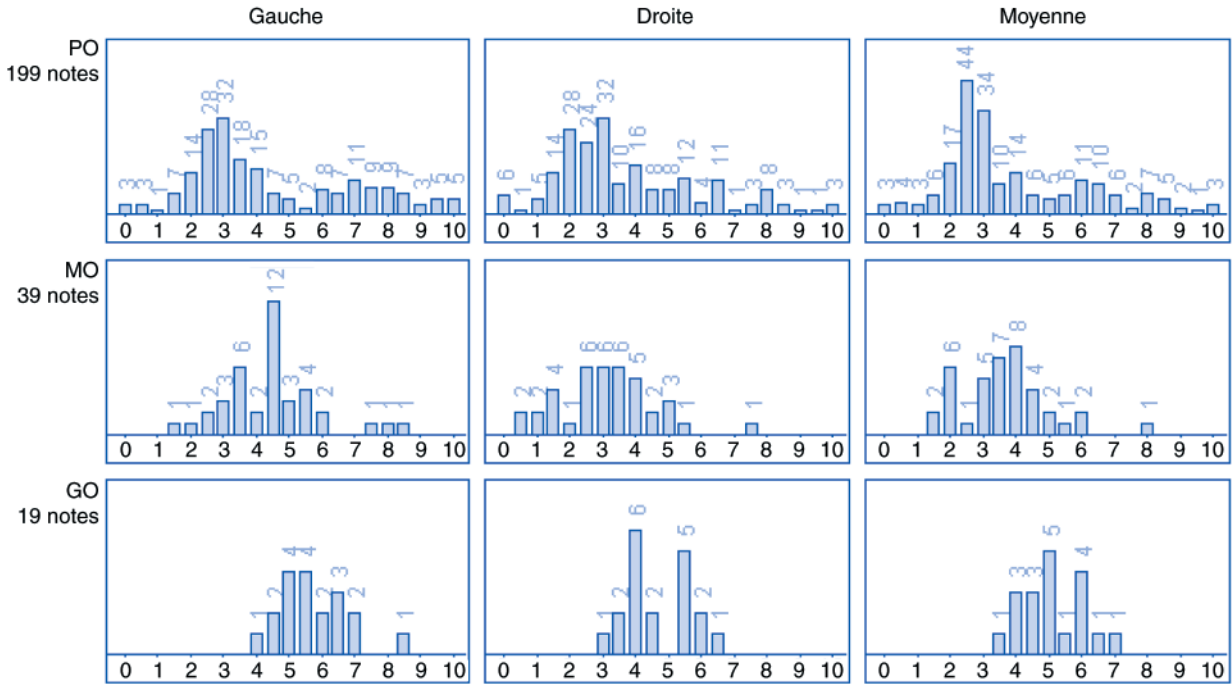


Figure M1-4  
Histogramme des notes.

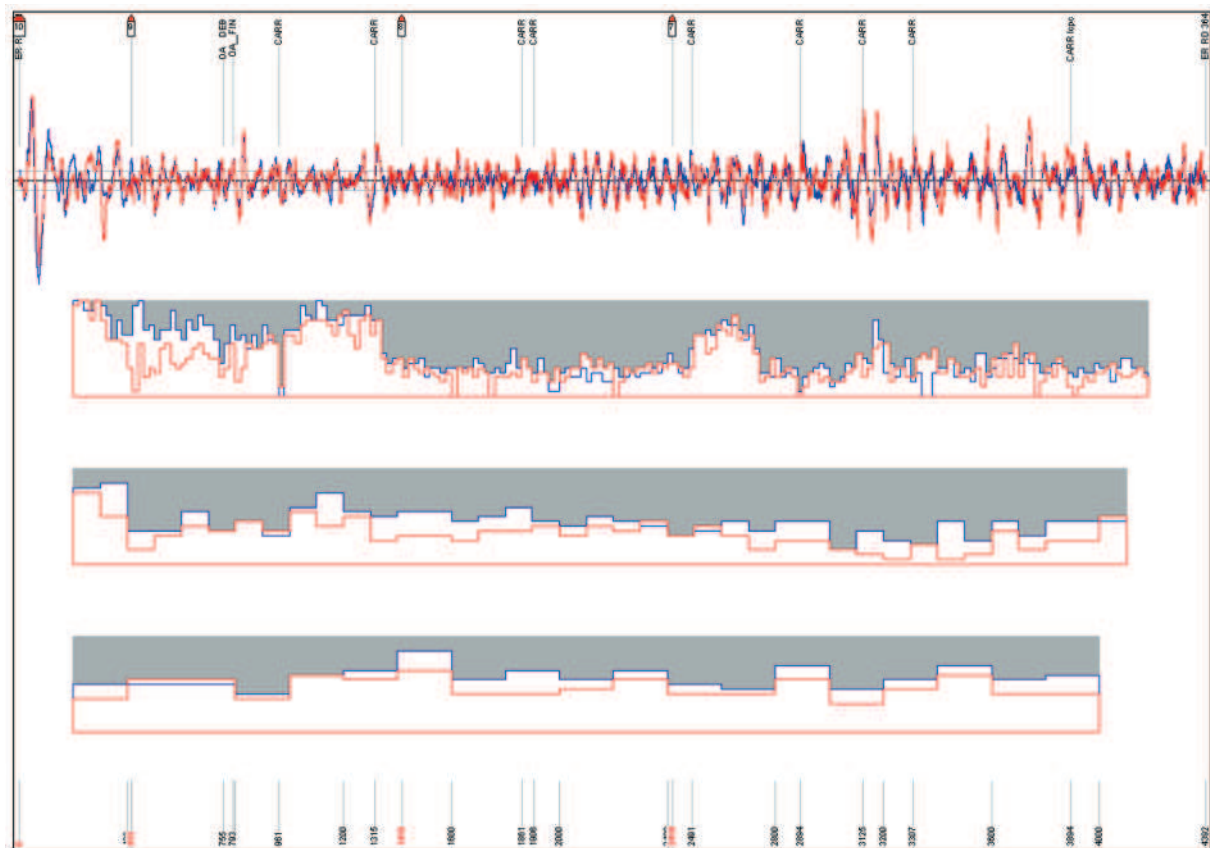


Figure M1-5  
Schéma itinéraire (profil et notes).

# Contribution à l'évaluation de l'état des chaussées à fort trafic

## 1. Objet du module

Ce deuxième module de la méthode d'essai n°46 explicite une forme d'interprétation de l'uni longitudinal pour contribuer à l'évaluation de l'état des chaussées à fort trafic (réseaux structurant). Cette contribution, associée à celles d'autres paramètres comme l'orniérage, les fissures, le coefficient de frottement, et autres, permet de consolider certaines méthodes d'études telles que celle appliquée à l'évaluation de réseau. L'analyse de l'uni relevé de façon continue sur plusieurs traces apporte la contribution recherchée, notamment sur les réseaux à fort trafic sur lesquels les anomalies structurelles sont très rapidement suivies de déformations dégradant l'uni des bandes de roulement. L'évaluation vise à la fois l'état structurel et la qualité d'usage des chaussées.

## 2. Domaine d'application

Ce module s'applique prioritairement sur les voies lentes des chaussées à fort trafic à assise traitée (sauf les chaussées en béton). Il permet de mettre en évidence les défauts structurels et de surface présents au moins sur la bande de roulement de rive.

## 3. L'appareil de mesure

L'appareil de mesure doit être un appareil de type « profilomètre » au sens de la norme NFP 98 218-3. Le moyen d'essai permet de relever deux ou trois traces de mesure dans la voie auscultée : les deux premières obligatoires sont l'axe de la voie et la bande de roulement de rive (notée droite ensuite), la troisième facultative étant la bande de roulement d'axe (notée gauche ensuite).

## 4. Incertitude de mesure

L'appareil de mesure doit être un appareil de type « profilomètre » :

- de classe 1 au sens de la norme NF P 98 218-3,
- au minimum de classe 1L1113 au sens de la norme EN 13036-6.

## 5. Description de la mesure

### 5.1. Objet de l'essai

Pour une voie de circulation donnée, l'essai consiste à relever, en continu et dans le sens de circulation du trafic, les profils longitudinaux dans les bandes de roulement des véhicules et dans l'axe de la voie (dans le cas du relevé de deux profils seulement, la bande de roulement gauche n'est pas auscultée). Une exploitation comparant les niveaux d'uni des deux ou trois traces permet de restituer des indicateurs de qualité d'usage et de structure (cf. paragraphe 6).

La figure M2-1 schématise le positionnement transversal des traces de mesure sur la voie auscultée.

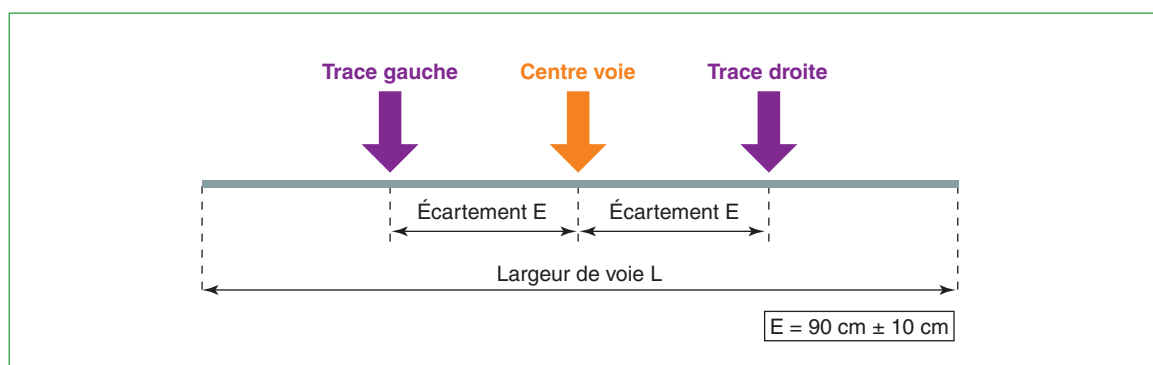


Figure M2-1

*Positionnement transversal des traces de mesure sur une voie de circulation.*

### 5.2. Préparation de l'essai

Avant d'entreprendre l'essai, il convient d'effectuer une reconnaissance du site à ausculter, pour :

- s'assurer de la faisabilité de l'essai dans les conditions normales d'utilisation de l'appareil :
  - propreté de la chaussée,
  - absence d'entrave à la circulation (existante ou risquant d'apparaître) ;
- situer la zone de mesure par rapport à des points de repère qui peuvent être :
  - une borne ou marque de PR existante,
  - un ouvrage d'art,
  - une intersection de routes en l'absence de tout autre repère,
  - ou un profil de chantier ;
- inventorier les événements qui seront saisis au cours de la mesure (PR, ouvrages d'art, intersections, joints transversaux, etc.)

### 5.3. Exécution de l'essai

Sauf spécification contraire, l'essai est réalisé dans le sens normal de circulation du trafic, en respectant les instructions de la notice d'utilisation de l'appareil pour obtenir les performances métrologiques requises (par exemple celles relatives à la vitesse de mesure). La trajectoire suivie doit être telle que la bande de roulement droite soit auscultée. Un dispositif d'assistance à la conduite est conseillé pour maintenir la trajectoire optimale (repères, caméra, etc.).

L'enregistrement des profils relevés est déclenché au moins 200 m avant le repère d'origine de la section à ausculter et arrêté au moins 200 m après le repère de fin (Fig. M2-2).

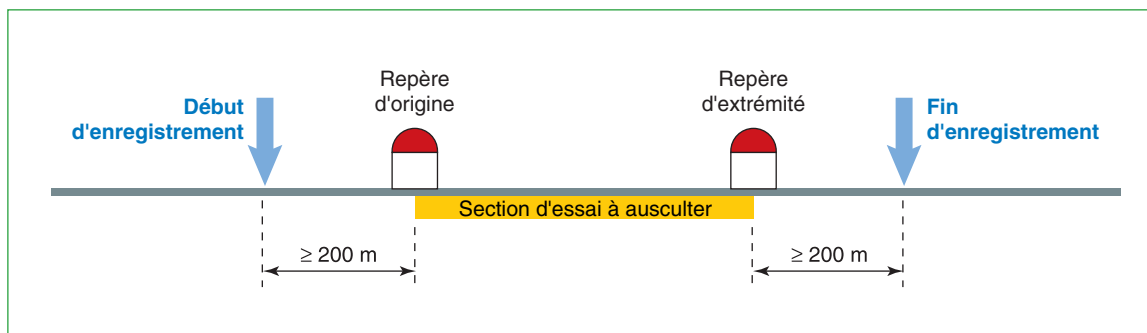


Figure M2-2

*Schéma des zones de transition encadrant une section à ausculter.*

À l'issue des mesures, les fichiers des valeurs d'élévation des profils enregistrés font l'objet d'une vérification. On effectue un contrôle de la forme du profil relevé qui ne doit pas comporter de discontinuité ou d'aberration. On vérifie également l'abscisse curviligne des repères et autres points singuliers relevés.

En cas d'intervention sous circulation, les dispositions sont arrêtées en commun accord avec le service gestionnaire de la route.

## 6. Expression des résultats

L'exploitation des mesures suit les étapes suivantes :

- calcul, pour les deux ou trois profils, des énergies par bandes d'ondes (EBO 20, 100 et 200 m),
- conversion, pour chaque profil, des énergies en notes (NBO variant de 0 à 10),
- calcul des critères d'évaluation à partir des NBO de chaque profil,
- calcul des indicateurs de qualité d'usage et de structure.

### 6.1. Calcul des EBO (énergies par bandes d'ondes)

Le calcul des EBO est réalisé sur les deux ou trois profils selon la norme NF 9 218-3. Le module général de la présente méthode détaille aussi le calcul des énergies par bandes

d'ondes. À l'issue du calcul, les énergies dans les domaines des petites, moyennes et grandes ondes, pour chacune des traces, sont les suivantes :

$$\begin{array}{lll} \text{EPO}_{\text{gauche}} & \text{EMO}_{\text{gauche}} & \text{EGO}_{\text{gauche}} \\ \text{EPO}_{\text{cent}} & \text{EMO}_{\text{cent}} & \text{EGO}_{\text{cent}} \\ \text{EPO}_{\text{droite}} & \text{EMO}_{\text{droite}} & \text{EGO}_{\text{droite}} \end{array}$$

Le calcul d'énergie des petites, moyennes et grandes ondes est fait respectivement sur 20, 100 et 200 m.

Dans le cas d'une utilisation bi-trace (bande de roulement de rive et centre de la voie) les notations concernant la bande de roulement gauche ne sont pas calculées.

## 6.2. Calcul des NBO (notations par bandes d'ondes)

Dans le module général, un tableau de conversion permet de convertir les énergies en notes avec une résolution de 0.5 point. Cette résolution peut ne pas être suffisante pour juger précisément de l'écart du niveau d'uni entre les différents profils. Une opération de « décimalisation » des notes est réalisée en appliquant les relations mathématiques suivantes :

- $\text{NPO} = -2.2373 * \ln(\text{EPO}) + 9.975$
- $\text{NMO} = -2.2317 * \ln(\text{EMO}) + 17.947$
- $\text{NGO} = -2.2326 * \ln(\text{EGO}) + 25.700$

Si les notes sont supérieures à 10, elles prennent la valeur 10.

À l'issue du calcul, les notes des petites, moyennes et grandes ondes, pour chacune des traces, sont les suivantes :

$$\begin{array}{lll} \text{NPO}_{\text{gauche}} & \text{NMO}_{\text{gauche}} & \text{NGO}_{\text{gauche}} \\ \text{NPO}_{\text{cent}} & \text{NMO}_{\text{cent}} & \text{NGO}_{\text{cent}} \\ \text{NPO}_{\text{droite}} & \text{NMO}_{\text{droite}} & \text{NGO}_{\text{droite}} \end{array}$$

Dans le cas d'une utilisation bi-trace (bande de roulement de rive et centre de la voie) les notations concernant la bande de roulement gauche ne sont pas calculées.

## 6.3. Calcul des critères d'évaluation

Les critères permettant l'évaluation de la voie auscultée sont les suivants :

- pour la bande PO  $\text{CdifNPO} = \text{NPO}_{\text{cent}} - \min. (\text{NPO}_{\text{droite}} ; \text{NPO}_{\text{gauche}})$   
 $\text{CminNPO} = \min. (\text{NPO}_{\text{droite}} ; \text{NPO}_{\text{gauche}})$
- pour la bande MO  $\text{CminNMO} = \min. (\text{NMO}_{\text{droite}} ; \text{NMO}_{\text{gauche}})$
- pour la bande GO  $\text{CminNGO} = \min. (\text{NGO}_{\text{droite}} ; \text{NGO}_{\text{gauche}})$

## 6.4. Calcul des indicateurs de qualité

Les indicateurs de qualité peuvent être calculés de façon brute ou agrégée selon un pas fixé (généralement 200 m).

La *qualité de structure* est évaluée comme suit :

$$\text{QSPO}_{\text{brut}} = 10 - \text{CdifNPO}$$

$$\text{Si } \text{QSPO}_{\text{brut}} > 10 \text{ alors } \text{QSPO}_{\text{brut}} = 10$$

$QSPO_{\text{signif}}$  = Extension (%) des  $QSPO_{\text{brut}}$  compris entre  $x_1$  et  $x_2$  sur le pas d'agrégation

$QSPO_{\text{grave}}$  = Extension (%) des  $QSPO_{\text{brut}}$  inférieurs à  $x_1$  sur le pas d'agrégation

$QSPO_{\text{total}}$  = Extension (%) des  $QSPO_{\text{brut}}$  inférieurs à  $x_2$  sur le pas d'agrégation

$x_1 = 5$  et  $x_2 = 8.5$  sont les valeurs de seuil permettant le mieux de corrélérer QSPO à la présence et à la gravité des dégradations d'origine structurelle observées sur la voie auscultée. On considère que si QSPO est inférieur à 8.5, la probabilité d'existence d'un désordre structurel est supérieure à 80 %.

La *qualité d'usage* est évaluée comme suit :

$QUPO_{\text{brut}}$  = CminNPO

$QUPO_{\text{signif}}$  = Extension (%) des CminNPO compris entre  $x_1$  et  $x_2$  sur le pas d'agrégation

$QUPO_{\text{grave}}$  = Extension (%) des CminNPO inférieurs à  $x_1$  sur le pas d'agrégation

$QUPO_{\text{total}}$  = Extension (%) de CminNPO inférieurs à  $x_2$  sur le pas d'agrégation

$QUMO_{\text{brut}}$  = CminNMO

$QUMO_{\text{signif}}$  = Extension (%) des CminNMO compris entre  $x_1$  et  $x_2$  sur le pas d'agrégation

$QUMO_{\text{grave}}$  = Extension (%) des CminNMO inférieurs à  $x_1$  sur le pas d'agrégation

$QUMO_{\text{total}}$  = Extension (%) des CminNMO inférieurs à  $x_2$  sur le pas d'agrégation

$QUGO_{\text{brut}}$  = CminNGO

$QUGO_{\text{signif}}$  = Extension (%) des CminNGO compris entre  $x_1$  et  $x_2$  sur le pas d'agrégation

$QUGO_{\text{grave}}$  = Extension (%) des CminNGO inférieurs à  $x_1$  sur le pas d'agrégation

$QUGO_{\text{total}}$  = Extension (%) des CminNGO inférieurs à  $x_2$  sur le pas d'agrégation

Il est préconisé de fixer les seuils  $x_1$  et  $x_2$  en prenant comme référence la circulaire 2000-36 dont les spécifications selon le type de chantier ausculté sont étroitement liées à la qualité d'usage.

La note *Point Zéro* d'un tronçon élémentaire de longueur égale au pas d'agrégation est évaluée par :

$NZ\text{éro} = \min. (NPO_{\text{cent}})$  sur le pas d'agrégation.

*NB : dans le domaine de l'évaluation, les indicateurs sont agrégés (par tronçons de 200 m généralement). Pour une analyse détaillée éventuelle, il est conseillé de conserver les valeurs individuelles (énergies et notes de chaque trace de mesure) ayant servies à calculer les indicateurs.*

## 7. Présentation des résultats

Les résultats sont présentés sur une feuille d'essai contenant :

- un schéma itinéraire du profil en long de la route,
- un schéma itinéraire (sous le profil en long) représentant les indicateurs de qualité selon le pas d'agrégation choisi (par exemple 200 m). Il est conseillé de représenter les notes ayant servies à calculer les indicateurs (Fig. M2-3),

- un cartouche comportant la date des mesures, les informations relatives à l'identification et la localisation de la section mesurée ainsi que les paramètres de mesure (vitesse, pas d'acquisition, etc.),
- les conditions particulières d'exécution des mesures : conditions climatiques, état de la chaussée, incidents, etc.

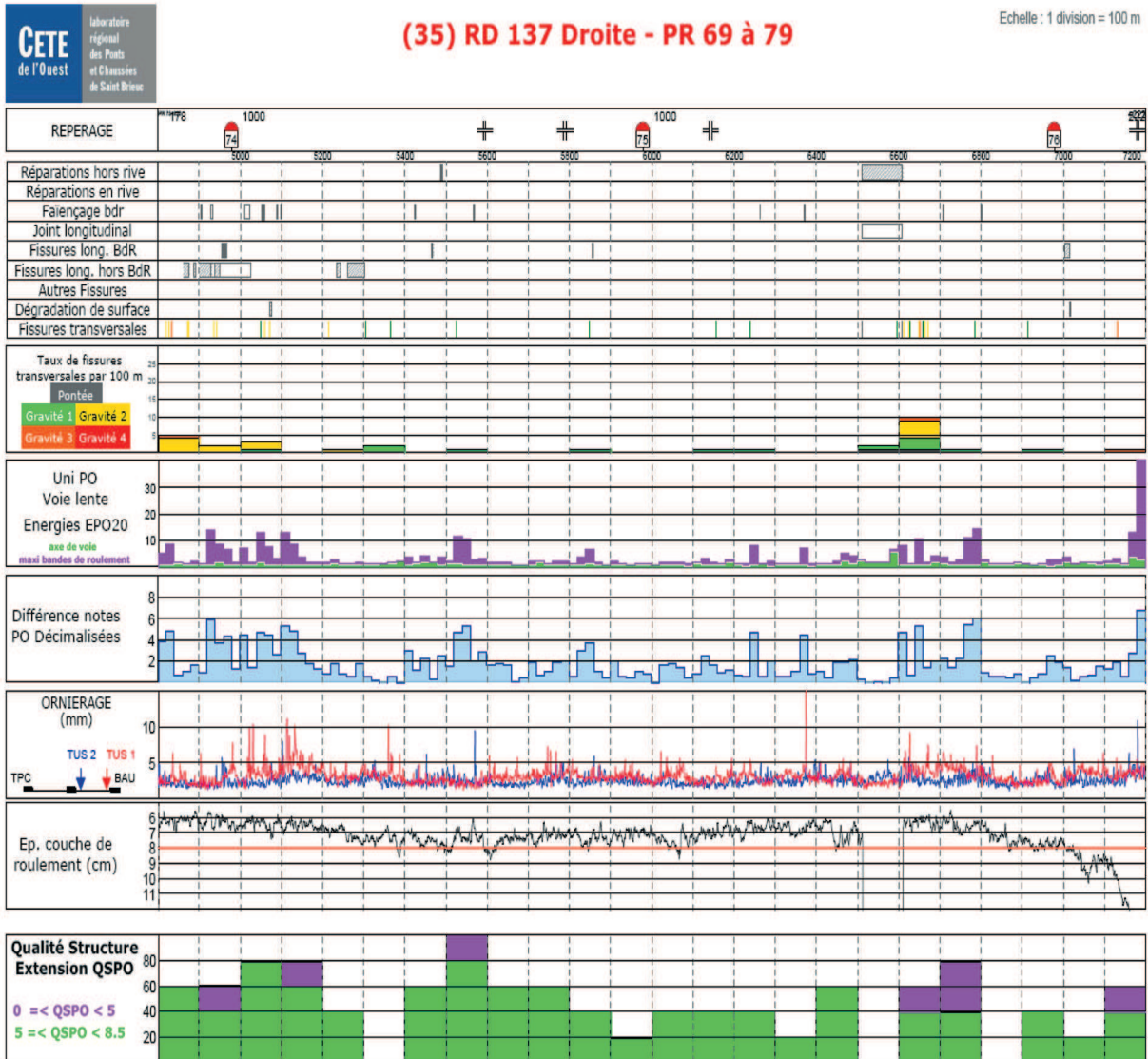


Figure M2-3

Exemple de schéma itinéraire comportant l'indicateur QSPO.

# Contribution à l'évaluation des besoins en reprofilage

## 1. Objet du module

Ce troisième module de la méthode d'essai n°46 décrit une analyse de l'uni longitudinal permettant de contribuer à l'estimation des quantités de reprofilage. Il propose un indicateur moins contraignant que le CAPL25 qui était utilisé jusqu'à présent, c'est-à-dire sans contrainte d'appareil, ni de vitesse de mesure. Dans le but de continuer à appliquer la méthode d'estimation des quantités de reprofilage, mis au point en 1998 (décrite en annexe AM3-1), qui combine l'indice de planéité transversal (intitulé IP dans la méthode d'essai n° 49 relative à la mesure du profil en travers) et le CAPL 25, le nouvel indicateur proposé en substitution à ce dernier, est calculé de sorte à lui être étroitement corrélé. Le calcul, indépendant de l'appareil de mesure et de la vitesse de mesure, fournit un indice de reprofilage longitudinal (intitulé IRL) proportionnel à la «surface de remplissage» du profil permettant d'obtenir un uni correct.

Ainsi, à partir d'un profil longitudinal réputé « vrai », comme le fournissent les profilomètres couramment utilisés, il est possible d'appliquer sans contrainte d'utilisation, la méthode d'étude existante par simple remplacement du CAPL25 par l'IRL.

Ce module propose aussi une correspondance entre l'IRL et une note intitulée « note de reprofilage longitudinal (NRL) ». Cette note est étroitement corrélée à une combinaison des notes petites et moyennes ondes, telles que définies par le module général, mais à l'avantage de pouvoir être estimée sans passer par le calcul standard de notes par bandes d'onde, d'autant plus que celui-ci n'est pas toujours possible (configuration de mesure non adaptée).

## 2. Domaine d'application

Ce module est essentiellement applicable sur le réseau secondaire (chaussées non renforcées) sur lequel les opérations de reprofilage s'apparentent à du rebouchage. Sur le réseau structurant, le reprofilage est généralement caractérisé par la mise place d'une même épaisseur de matériaux sur la zone concernée ; la technique du rebouchage est donc moins appropriée, mais peut donner une indication à laquelle il faut rajouter les quantités équivalentes à l'épaisseur ajoutée.



### 3. L'appareil de mesure

L'appareil de mesure doit être un appareil de type « profilomètre » au sens de la norme NFP 98 218-3. L'usage d'un moyen d'essai bi-trace auscultant les deux bandes de roulement est recommandé. En utilisation mono-trace, c'est la bande de roulement droite qui est auscultée.

### 4. Incertitude de mesure

L'appareil de mesure doit être un appareil de type « profilomètre » :

- de classe 1 au sens de la norme NF P 98 218-3,
- au minimum de classe 1L1113 au sens de la norme EN 13036-6.

### 5. Description de la mesure

#### 5.1. Objet de l'essai

Pour une voie de circulation donnée, l'essai consiste à relever en continu et dans le sens de circulation du trafic, deux profils longitudinaux situés dans les bandes de roulement des véhicules et à calculer pour chaque profil relevé, les surfaces de remplissage calculées sous une règle de 13 m (cf. paragraphe 6. *Expression des résultats*). La figure M3-1 schématise le positionnement transversal des traces de mesure sur la voie auscultée.

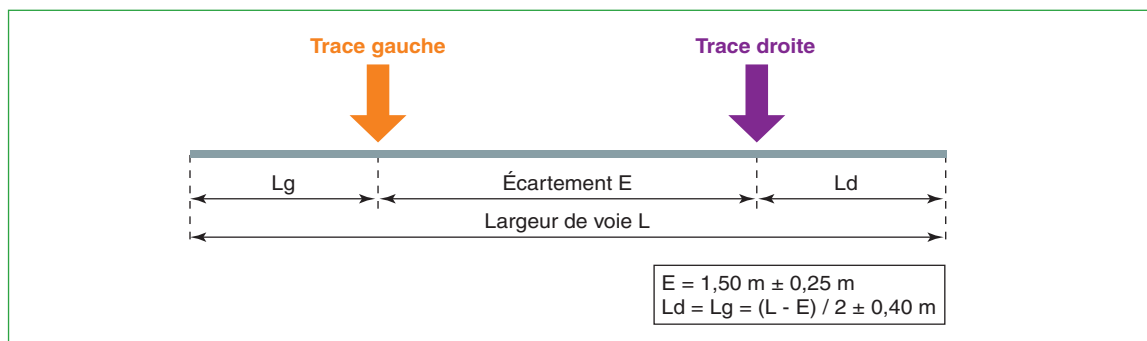


Figure M3-1

*Positionnement transversal des traces de mesure sur une voie de circulation.*

#### 5.2. Préparation de l'essai

Avant d'entreprendre l'essai, il convient d'effectuer une reconnaissance du site à ausculter, pour :

- s'assurer de la faisabilité de l'essai dans les conditions normales d'utilisation de l'appareil :
  - propreté de la chaussée,
  - absence d'entrave à la circulation (existante ou risquant d'apparaître) ;

- situer la zone de mesure par rapport à des points de repère qui peuvent être :
  - une borne ou marque de PR existante,
  - un ouvrage d'art,
  - une intersection de routes en l'absence de tout autre repère,
  - ou un profil de chantier ;
- inventorier les événements qui seront saisis au cours de la mesure (PR, ouvrages d'art, intersections, joints transversaux, etc.)

### 5.3 - Exécution de l'essai

Sauf spécification contraire, l'essai est réalisé dans le sens normal de circulation du trafic, en respectant les instructions de la notice d'utilisation de l'appareil pour obtenir les performances métrologiques requises. Bien que l'indicateur soit insensible à la vitesse de mesure (dans la plage de vitesse optimale de l'appareil de mesure), il est conseillé de ne pas rouler trop vite, notamment sur les routes déformées pour lesquelles la précision de la mesure peut être altérée. Une vitesse de mesure inférieure à 20 m/s (72 km/h) est préconisée.

L'enregistrement des profils relevés est déclenché au moins 200 m avant le repère d'origine de la section à ausculter et arrêté au moins 200 m après le repère de fin (Fig. M3-2).

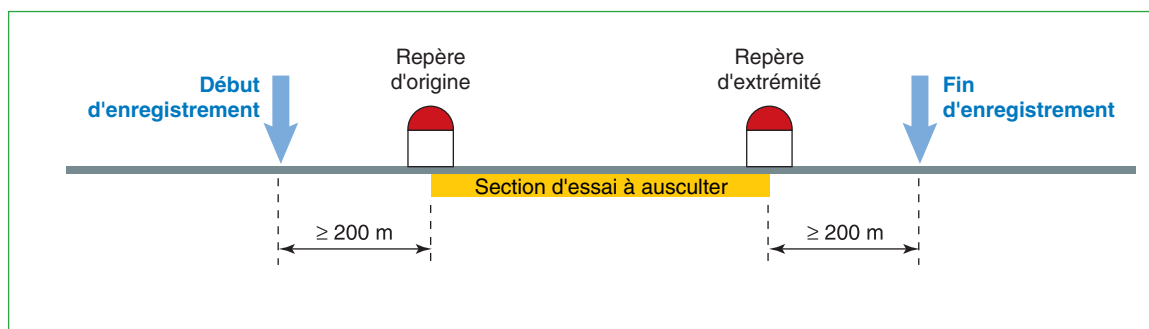


Figure M3-2

*Schéma des zones de transition encadrant une section à ausculter.*

À l'issue des mesures, les fichiers des valeurs d'élévation des profils enregistrés font l'objet d'une vérification. On effectue un contrôle de la forme du profil relevé qui ne doit pas comporter de discontinuité ou d'aberration. On vérifie également l'abscisse curviligne des repères et autres points singuliers relevés.

En cas d'intervention sous circulation, les dispositions sont arrêtées en commun accord avec le service gestionnaire de la route.

## 6. Expression des résultats

L'analyse des résultats est réalisée par tronçon de 200 m sur chacune des traces auscultées. On calcule, pour chaque trace, les surfaces de remplissage sous une règle de 13 m (englobant les défauts de petites et moyennes ondes) que l'on fait glisser sur le profil (Fig. M3-3). Pour chaque tronçon de 200 m, on exprime, pour chaque trace, un indice de reprofilage longitudinal (IRL) exprimé en mètre carré (m<sup>2</sup>) et ramené à une longueur

d'un mètre (surface par mètre linéaire). Pour être du même ordre de grandeur que le CAPL25 (paramètre utilisé auparavant pour l'estimation des quantités de reprofilage), l'indicateur est multiplié par 2400. La note de reprofilage longitudinal (NRL) est calculée à partir de l'IRL maximum des deux traces.

Les algorithmes détaillés des calculs de IRL et NRL figurent à l'Annexe AM3-2.

*NB : Lorsque l'appareil de mesure permet de mesurer des défauts de très faibles longueurs d'onde (inférieures à 0,3 m), un premier traitement consiste à effectuer un lissage par moyenne glissante des profils de chaque trace. La moyenne glissante est réalisée sur une longueur 0,3 m.*

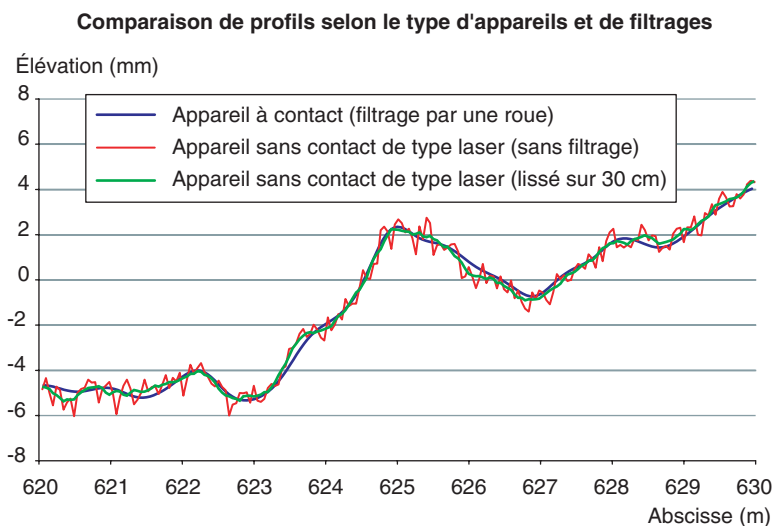


Figure M3-3

*Comparaison de profils selon le type d'appareils et de filtrages.*

## 7. Présentation des résultats

Les résultats sont présentés sur une feuille d'essai (Fig. M3-4) contenant :

- un schéma itinéraire du profil en long de la route,
- un schéma itinéraire (sous le profil en long) des valeurs d'IRL et de NRL par pas de 200 m,
- un cartouche comportant la date des mesures, les informations relatives à l'identification et la localisation de la section mesurée ainsi que les paramètres de mesure (vitesse, pas d'acquisition, etc.),
- les conditions particulières d'exécution des mesures : conditions climatiques, état de la chaussée, incidents, etc.

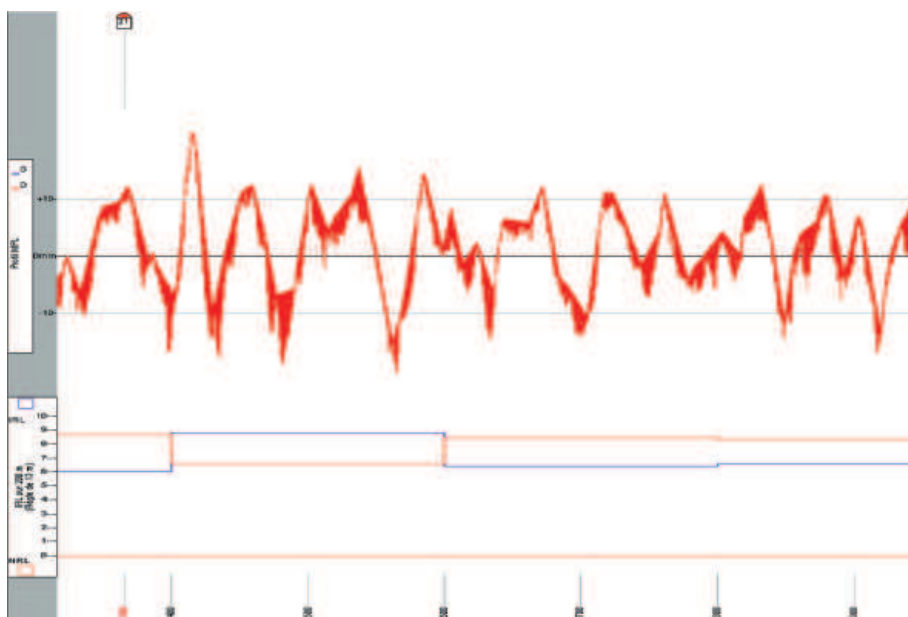


Figure M3-4

*Représentation graphique de l'indice de reprofilage longitudinal.*



# Vérification de la conformité de la couche de roulement des chaussées aéronautiques

## 1. Objet du module

Ce quatrième module a pour objet de caractériser la qualité d'uni des chaussées aéronautiques.

À partir du relevé du pseudo-profil, on calcule un quantificateur des défauts d'uni de la chaussée. Une analyse de la suite des valeurs de ce quantificateur permet de situer le niveau de la qualité de l'uni par rapport à des exigences de qualité minimale requise fixées dans les clauses des marchés de travaux.

## 2. Domaine d'application

La méthode est applicable pour la vérification de la conformité de l'uni longitudinal des couches de roulement des chaussées aéronautiques lors de la réception des travaux de construction d'une chaussée neuve et pour les travaux de renforcement ou d'entretien d'une chaussée en service.

La méthode s'applique à toutes les chaussées aéronautiques quelles que soient les structures de chaussées, qu'elles soient situées sur aéroport civil ou militaire.

Au cours de la construction de la piste, on peut aussi appliquer cette méthode dans le cadre des contrôles internes sur les couches intermédiaires. Dans ce cadre, la méthodologie de mesure peut, dans certains cas, comporter des aménagements spécifiques.

Dans le cas des travaux de renforcement ou d'entretien, les mêmes dispositions sont appliquées pour l'évaluation préalable de l'uni de la couche support.

## 3. L'appareil de mesure

L'appareil de mesure doit être un appareil de type « profilomètre » :

- de classe 1 au sens de la norme NF P 98 218-3,
- au minimum de classe 1L1113 au sens de la norme EN 13036-6.

## 4. Incertitude de mesure

L'incertitude attendue pour une mesure d'uni réalisée dans le cadre des contrôles de travaux doit être compatible avec le tableau M4-1 qui indique la valeur d'EMT (Erreur Maximale Tolérée) à assigner à une valeur élémentaire des indicateurs NPO (Notes Petites Ondes), NMO (Notes Moyennes Ondes) et NGO (Notes Grandes Ondes), avec un intervalle de confiance à 99 %.

TABLEAU M4-1 - Erreurs maximales tolérées des notes PO, MO et GO

Désignation	Bande d'onde	EMT (en note)
Petites ondes	PO	1 point
Moyennes ondes	MO	0,5 point
Grandes ondes	GO	0,5 point

Sur certains types d'ouvrages (chaussées en béton) ou pour d'autres applications (suivi dans le temps, auscultations, etc.), des valeurs d'EMT différentes pourront être spécifiées.

## 5. Description de la mesure

Les essais sur chaussées aéronautiques sont soumis à des règles particulièrement strictes pour des raisons de sécurité liées à la circulation aérienne. Ces règles sont décrites dans l'Annexe AM4-1.

On trouvera, dans cette même annexe, tous les éléments nécessaires à la description physique d'une plate-forme aéroportuaire avec, en particulier, ceux qui pourront être utiles lors de la mesure (par exemple, les points courants de repérage).

Sont différenciées dans ce paragraphe les mesures d'uni effectuées sur une piste et celles effectuées sur une voie de circulation.

### 5.1. Objet de l'essai

#### 5.1.1. Mesure sur une piste

Pour une piste donnée, l'essai consiste à effectuer le relevé de sept ou neuf paires de profils réparties sur la largeur de la chaussée. Chaque paire de profils fera l'objet d'un relevé en continu. On obtient ainsi des enregistrements sur lesquels on calculera, pour chaque profil relevé, l'indicateur d'uni NBO (Notes par bandes d'ondes), tel que défini dans le module général, selon une segmentation variable.

L'espacement entre les profils d'une même paire est de 1,50 m avec une tolérance de  $\pm 0,25$  m.

Sur une piste, on relèvera les paires de profils suivantes : une sur l'axe, trois (ou quatre) à droite et symétriquement trois (ou quatre) à gauche. La figure M4-1 schématise le positionnement de ces paires de profils sur la piste.





### 5.1.2. Mesure sur une voie de circulation

Pour une voie de circulation donnée, l'essai consiste à effectuer le relevé de deux ou trois paires de profils réparties sur la largeur de la chaussée. Chaque paire de profil fera l'objet d'un relevé en continu. On obtient ainsi des enregistrements sur lesquels on calculera pour chaque profil relevé, l'indicateur d'uni NBO, tel que défini dans le module général, selon une segmentation variable.

L'espacement entre les profils d'une même paire est le même que sur une piste (1,50 m avec une tolérance de  $\pm 0,25$  m).

Sur une voie de circulation, on relèvera les paires de profils suivantes : éventuellement une sur l'axe et une de chaque côté de l'axe répartie symétriquement. La figure M4-3 schématise le principe de la mesure sur une piste.

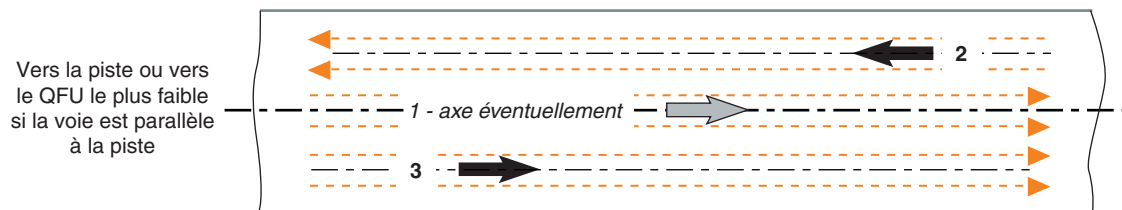


Figure M4-3

Principe des mesures sur une voie de circulation.

La répartition transversale des mesures se fait de manière symétrique sur la chaussée avec les dispositions récapitulées dans le tableau M4-3 et illustrées par la figure M4-4.

TABLEAU M4-3 - Positionnement transversal des mesures sur une voie de circulation

Largeur de voie ( $\ell$ )	Mesure sur axe	Autres mesures
$\ell \leq 15$ m	non	$\pm 5$ m
$\ell > 15$ m	oui	$\pm 5$ m

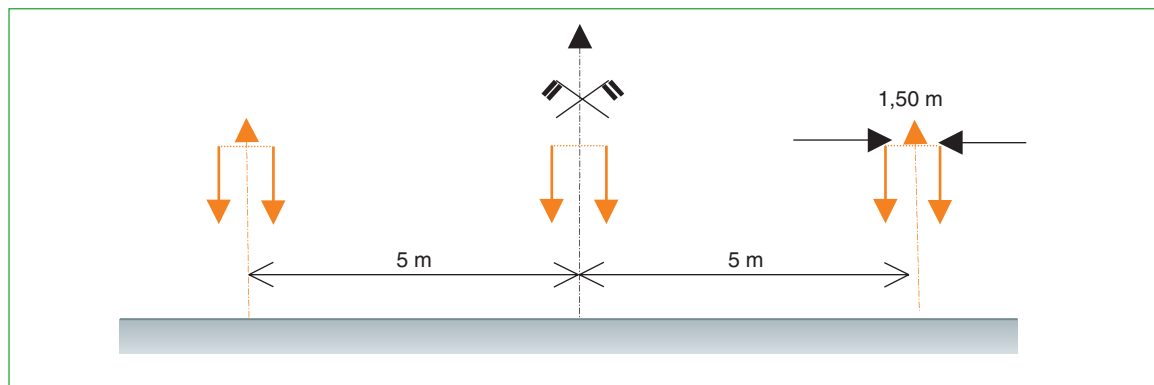


Figure M4-4

Position latérale des profils relevés sur une voie de circulation.

## 5.2. Préparation de l'essai

Avant de réaliser des mesures d'uni sur des chaussées aéronautiques, il convient de prendre les dispositions suivantes, dont certaines peuvent être spécifiques à la plate-forme aéroportuaire considérée.

Ces dispositions consistent à :

- Contacter le service en charge de la plate-forme aéroportuaire, pour l'avertir de la réalisation de ces mesures afin de les intégrer dans leur programme de travail.
- Contacter au préalable (une semaine avant au minimum) le responsable local de la circulation aérienne de la plate-forme et le rencontrer le jour même de la mesure afin de définir les modalités de mesures et leur intégration dans le fonctionnement de la circulation aérienne. Il conviendra, en toute circonstance, de s'interroger sur l'opportunité de passer un NOTAM (Notice To AirMen), c'est-à-dire un bulletin d'information aux pilotes, pour les avertir de la réalisation des mesures.
- L'intégration des phases de mesure dans les contraintes aéroportuaires pourra se traduire, soit par le prêt d'une radio placée sur la fréquence de la tour de contrôle (en charge des mouvements au sol), soit par la mise à disposition d'un véhicule d'accompagnement (type Follow me) pour les manœuvres sur la zone réservée de la plate-forme, soit par toute autre disposition réglementaire de nature à garantir la sécurité des avions comme celle des opérateurs de la mesure.
- Se présenter auprès des autorités en charge des accès sur la plate-forme afin d'obtenir le badge qui permet l'accès aux zones réservées de la plate-forme sur lesquelles auront lieu les mesures.
- Obtenir auprès du maître d'œuvre les renseignements sur :
  - ❶ Le système de repérage des mesures ;
  - ❷ Le plan de la plate-forme (dénomination des voies de circulation, QFU de la (ou des) piste(s)) ;
  - ❸ La nature de la couche auscultée ;
  - ❹ Pour les couches sous-jacentes à la couche finale, les conditions de mise en œuvre (mode de guidage) ;
  - ❺ Et tout autre renseignement utile pour la réalisation de l'essai et son interprétation.
- Effectuer un examen visuel de la piste (mémorisation des points de repères et des éventuelles singularités). Il s'agira notamment de choisir quelques repères à saisir au cours des relevés avec définition de leur position et d'identifier les singularités du site de mesure.
- Définir le système de repérage en distance à adopter sauf s'il est déjà établi par le maître d'œuvre.

Le système de repérage est normalement exprimé en Point Métrique (PM).

Le PM0 (Point Métrique 0), lorsqu'il n'est pas imposé par le maître d'œuvre, est choisi soit :

- à l'origine de la piste ou de la voie de circulation ;
- ou à la première bande blanche transversale (début du peigne) des marques de seuil pour une piste ;

- ou au changement de revêtement Piste/POR (Prolongements Occasionnellement Roulables) pour une piste ;
- ou à l'intersection piste/voie de circulation pour une voie de circulation.

Quel que soit le point utilisé comme PM0, il est important qu'il soit précisément localisé sur un plan (dont le modèle est donné en annexe AM4-2) et facilement repérable sur le terrain.

- Définir les zones à mesurer dans le système de référence précédemment décrit.
- S'assurer de la faisabilité de l'essai dans les conditions normales d'utilisation de l'appareil de mesure :
  - propreté de la chaussée ;
  - absence d'entrave à la circulation (existante ou risquant d'apparaître) ;
  - possibilité du maintien de la vitesse de mesure (si nécessaire) ;
  - prévoir éventuellement la distance nécessaire pour atteindre la vitesse nominale de mesure (si possible en dehors de la section à mesurer, par exemple, sur le POR quand il existe) ;
  - prévoir la distance d'arrêt en fin de section avec une marge de sécurité (si nécessaire).

### 5.3. Exécution de l'essai

On trouvera en annexe AM4-1, les conditions spécifiques de réalisation des mesures d'uni sur chaussées aéronautiques.

#### 5.3.1. Principe général

Sauf spécification contraire définie dans le CCTP de marché de travaux, l'essai est réalisé en respectant les instructions de la notice d'utilisation de l'appareil pour obtenir les performances métrologiques requises (par exemple, celles relatives à la vitesse de mesure).

Pour réduire au maximum la période de neutralisation nécessaire des chaussées aéronautiques et considérant que ces chaussées peuvent être empruntées indifféremment dans les deux sens par les aéronefs au cours de leurs roulages, la mesure sera effectuée par allers-retours successifs sur la chaussée.

La position et le sens des mesures sont précisés dans les figures M4-1 et M4-3.

Suivant ce principe de mesure, l'identifiant de la session de mesure sera le suivant : Code IATA Aéroport\_QFU de départ\_distance à l'axe (en cm) pour une piste et Code IATA Aéroport\_Nom de la voie auscultée\_Aller ou retour\_distance à l'axe (en cm) pour une voie de circulation. Pour ces dernières, le sens de la mesure (aller ou retour) devra impérativement être noté de manière univoque sur un plan annexé.

Pour une mesure sur la piste orientée 05/23 de l'aéroport de Strasbourg, cela pourrait donner les enregistrements suivants : SXB\_05\_axe0 ; SXB\_23\_250 ; SXB\_05\_250 ; SXB\_23\_500, etc.

Le code IATA (International Air Transport Association) est un trigramme qui identifie de manière unique chaque plate-forme. À défaut (c'est-à-dire si l'aéroport ne possède pas de code IATA), les quatre dernières lettres du code OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) pourront être utilisées (exemple : pour Strasbourg LFST).

L'enregistrement des profils relevés est déclenché au moins 200 mètres avant le repère d'origine de la section à mesurer (PM début de section de mesure) et arrêté au moins 200 mètres après le repère d'extrémité (PM de fin de mesure). Cette disposition ne concerne pas le moyen d'essai, mais le traitement différé (filtrage) des profils relevés. Il n'est pas indispensable que les données appartiennent à la zone à mesurer (elles seront d'ailleurs abandonnées après le traitement).

À l'issue de la mesure, les fichiers des valeurs d'élévation des profils enregistrés, font l'objet d'une vérification. On effectue un contrôle de la forme du profil relevé qui ne doit pas comporter de discontinuité ou d'aberration. On vérifie également l'abscisse curviligne des repères et autres points singuliers relevés.

De même, une section de mesure sur une voie peut être scindée en deux ou trois sous-sections, selon l'encombrement de la piste ou l'état d'avancement de la construction des couches.

Cela ne pose pas de problème de repérage puisque dans tous les cas, c'est le système de repérage en PM qui doit être utilisé.

Il convient d'insister sur l'intérêt de compléter ce système de repérage en PM par la saisie de points de références externes (« top ») lors de la mesure, ceux-ci pouvant être l'intersection avec une bretelle, le mât du Glide (Radioalignement de descente), le PAPI (Precision Approach Path Indicator) ou tout élément distinctif particulier permettant un repérage spatial lors de chaque passage.

### ***5.3.2. Remarques particulières sur la position transversale des profils relevés***

La position transversale des profils relevés se fait de manière symétrique sur la chaussée avec les dispositions décrites aux paragraphes 5.1.1. et 5.1.2.

Le plus grand soin devra être apporté par l'opérateur d'essai pour suivre une trajectoire la plus proche possible de la position nominale définie au paragraphe 5.1.

Dans les cas où des joints liés au mode de construction sont visibles, la mesure devra se faire :

- au plus près du centre de la dalle pour les chaussées en béton hydraulique, pour minimiser l'impact des effets du gradient thermique, en essayant de se rapprocher des distances énoncées dans les tableaux M4-2 et M4-3, tout en adaptant la mesure au plan de calepinage de la chaussée ;
- décalée d'environ 50 cm vers l'axe de la piste pour les autres types de chaussées.

Dans tous les cas, la mesure sur l'axe devra être effectuée (même s'il correspond à un joint) et il faudra relever précisément sur la figure AM4-2-1, située en annexe AM4-2 de ce module, le positionnement transversal des différents passages.

## **5.4. Cas des mesures sur les couches intermédiaires**

L'application des dispositions de ce module reste fortement recommandée. Toutefois, des adaptations pourront être apportées pour tenir compte des contraintes induites par l'organisation du chantier.

### ***5.4.1. Exigences sur le repérage***

Dans tous les cas où intervient la notion de comparaison des résultats « avant travaux » et « après travaux », il convient de porter le plus grand soin au repérage de l'origine commune des essais successifs dans le but de pouvoir les superposer correctement.

### 5.4.2. Exigences sur la vitesse de mesure

Sur des couches intermédiaires (couches sous-jacentes à la couche de roulement finale), il ne sera pas toujours possible de pratiquer la vitesse nominale d'essai prévue par le mode opératoire de l'appareil. Dans le cas où la vitesse ne pourrait pas être maintenue (circulation de chantier, présence d'obstacles, instabilité des matériaux de la couche mesurée, etc.), le mode opératoire des appareils, dont les résultats de mesure sont sensibles à la vitesse de mesure, doit préciser les dispositions à prendre pour en déduire les valeurs du quantificateur NBO.

### 5.4.3. Nombre de traces de mesures

La couche support de la couche de roulement finale sera mesurée dans les mêmes conditions que pour cette dernière : mesure des paires de profils suivant les figures M4-1 et M4-3.

Les mesures sur les couches inférieures peuvent n'être réalisées que sur un seul profil (d'une paire). Les opérations de comparaison doivent être appliquées sur les mêmes profils.

### 5.4.4. Erreurs maximales tolérées (EMT)

Sur la couche support de la couche de roulement finale, l'incertitude de mesure doit être inférieure (ou au plus égale) aux valeurs d'EMT définies pour les trois bandes d'ondes dans le tableau M4-1.

Pour les mesures sur les couches inférieures à la couche support de la couche de roulement finale, les valeurs d'EMT sont plus élevées, compte tenu des conditions d'essai.

Le tableau M4-4 fixe les valeurs d'EMT à prendre en compte pour les résultats sur les couches inférieures selon la même définition qu'au paragraphe 4.

**TABLEAU M4-4 - Erreurs maximales tolérées pour l'application de la méthode d'essai sur les couches intermédiaires (hors couche support de la couche de roulement)**

Désignation	Bande d'onde	EMT (en note)
Petites ondes	PO	Sans objet
Moyennes ondes	MO	1 point
Grandes ondes	GO	1 à 1,5 point

**Nota à l'attention des prescripteurs.** Les niveaux des spécifications contractuelles et les critères d'appréciation du respect de ces spécifications doivent tenir compte des valeurs d'EMT assignées aux mesures de contrôle de conformité de l'ouvrage.

## 6. Analyse des résultats

### 6.1. Cas général

L'analyse des résultats est réalisée sur chaque profil relevé, sur la totalité de la longueur mesurée.

Pour chaque profil relevé (droite ou gauche), on effectue un décompte des valeurs de notes qui sera présenté comme indiqué dans le tableau M4-5.

TABLEAU M4-5 - Exemple de tri des notes NBO sur un profil d'une piste de 2000 m

Notes	10	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0	
NPO	80	10	6	4																		
NMO	12	2	6																			
NGO	8	2	2																			

### 6.2. Cas des mesures sur les couches intermédiaires

En l'absence de tout document spécifique explicitant une méthodologie différente d'analyse des résultats, les dispositions générales s'appliquent sur les couches successives. On notera toutefois que sur les couches inférieures (hors couche support de la couche de roulement) les notes PO n'ont pas à être prises en compte, ni même calculées, car elles ne permettent pas de prédire les notes PO sur les couches supérieures.

## 7. Présentation des résultats

Les résultats sont présentés sur une feuille d'essai contenant :

- un graphique des notes pour les trois bandes d'ondes pour chacun des profils relevés ainsi que le positionnement des événements relevés,
- un cartouche comportant la date des mesures, les informations relatives à l'identification et la localisation de la section mesurée ainsi que les paramètres de mesure (vitesse, pas d'acquisition, etc.),
- les conditions particulières d'exécution des mesures : conditions climatiques, état de la chaussée, incidents, etc.,
- le résultat du tri des notes sous forme d'un tableau des effectifs par note (ou graphe des distributions).

En plus des feuilles d'essais précédemment décrites, le procès-verbal d'essai contient une page de garde identifiant clairement l'organisme responsable de l'exécution de l'essai, ses coordonnées, les références du dossier, ainsi que le demandeur des essais. Il mentionne par ailleurs l'équipage et l'appareil de mesure ainsi que la date de vérification de l'appareil par l'organisme contrôleur. On en trouvera un exemplaire (Fig. AM4-2-1) de la présente méthode d'essai.



## ■ MODULE 5

# Expertise, diagnostic et aide à la décision

## 1. Objet du module

Ce cinquième module de la méthode d'essai n° 46 propose des indicateurs et des outils facilitant l'expertise, le diagnostic et la décision des solutions de réhabilitation ou d'entretien à apporter. Ces indicateurs et outils sont des compléments à ceux décrits dans les autres modules de la méthode. Ils permettent d'une part d'expliquer plus finement les défauts déjà constatés lors de l'application d'un autre module, et d'autre part de mettre en évidence des problèmes particuliers qui ne seraient pas nécessairement identifiés en appliquant les autres modules. Il décrit le type de défauts rencontrés essentiellement à la mise à œuvre et les exploitations permettant de les identifier. Il décrit aussi des outils de présentation de résultats visant à faciliter le dialogue avec les maîtres d'œuvre (localisation exacte des défauts, effet des travaux, etc.).

## 2. Domaine d'application

Ce module s'applique prioritairement à des études particulières pour lesquelles des outils de diagnostic et d'expertise précis sont exigés afin de mettre en évidence et expliquer les défauts d'uni. Ce module s'applique sur tout type de chaussée.

## 3. L'appareil de mesure

L'appareil de mesure doit être un appareil de type « profilomètre » au sens de la norme NFP 98 218-3. L'usage d'un moyen d'essai bi-trace auscultant les deux bandes de roulement est recommandé. En utilisation mono-trace, c'est la bande de roulement droite qui est auscultée.

## 4. Incertitude de mesure

L'appareil de mesure doit être un appareil de type « profilomètre » :

- de classe 1 au sens de la norme NF P 98 218-3,
- au minimum de classe 1L1113 au sens de la norme EN 13036-6.



## 5. Description de la mesure

### 5.1. Objet de l'essai

Pour une voie de circulation donnée, l'essai consiste à relever, en continu et dans le sens de circulation du trafic, un ou deux profils suivants des traces de mesures situées dans les bandes de roulement des véhicules. Une exploitation particulière du ou des profils permet de restituer des indicateurs mettant en évidence des défauts particuliers d'uni (cf. paragraphe 6).

La figure M5-1 schématise le positionnement transversal des traces de mesure sur la voie auscultée.

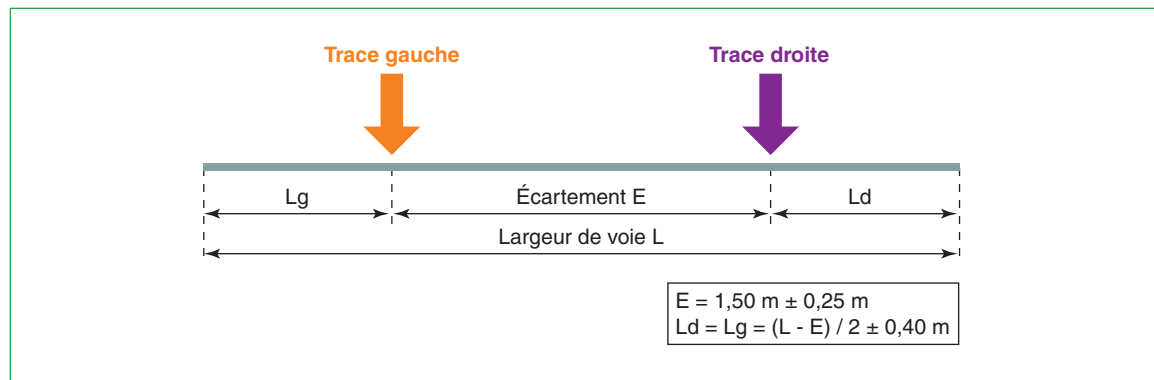


Figure M5-1

*Positionnement transversal des traces de mesure sur une voie de circulation.*

### 5.2. Préparation de l'essai

Avant d'entreprendre l'essai, il convient d'effectuer une reconnaissance du site à ausculter, pour :

- s'assurer de la faisabilité de l'essai dans les conditions normales d'utilisation de l'appareil :
  - propreté de la chaussée ;
  - absence d'entrave à la circulation (existante ou risquant d'apparaître) ;
- situer la zone de mesure par rapport à des points de repère qui peuvent être :
  - une borne ou marque de PR existante ;
  - un ouvrage d'art ;
  - une intersection de routes en l'absence de tout autre repère ;
  - ou un profil de chantier ;
- inventorier les événements qui seront saisis au cours de la mesure (PR, ouvrages d'art, intersections, joints transversaux, etc.)

### 5.3. Exécution de l'essai

Sauf spécification contraire, l'essai est réalisé dans le sens normal de circulation du trafic, en respectant les instructions de la notice d'utilisation de l'appareil pour obtenir les

performances métrologiques requises (par exemple celle relatives à la vitesse de mesure). La trajectoire suivie, sauf indication contraire, doit être telle que la bande de roulement droite soit auscultée. Un dispositif d'assistance à la conduite est conseillé pour maintenir la trajectoire optimale (repères, caméra, etc.).

L'enregistrement des profils relevés est déclenché au moins 200 m avant le repère d'origine de la section à ausculter et arrêté au moins 200 m après le repère de fin (Fig. M5-2).

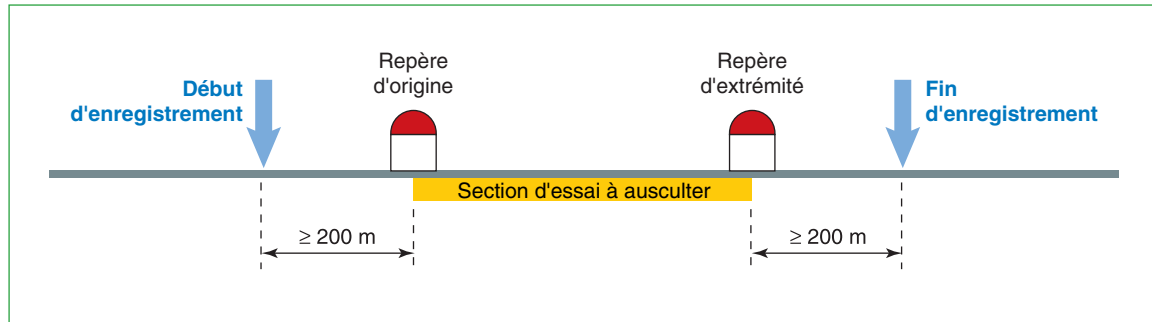


Figure M5-2

*Schéma des zones de transition encadrant une section à ausculter.*

À l'issue des mesures, les fichiers des valeurs d'élévation des profils enregistrés font l'objet d'une vérification. On effectue un contrôle de la forme du profil relevé qui ne doit pas comporter de discontinuité ou d'aberration. On vérifie également l'abscisse curviligne des repères et autres points singuliers relevés.

En cas d'intervention sous circulation, les dispositions sont arrêtées en commun accord avec le service gestionnaire de la route.

## 6. Analyse des résultats

L'analyse des résultats de ce module a deux objectifs, le premier est d'identifier et localiser les défauts de mise en œuvre tels que les problèmes de répandage ou de compactage ; le second est de faciliter le dialogue avec les maîtres d'œuvre en mettant à disposition des outils de présentation permettant de localiser précisément le défaut sur la route ou de vérifier l'effet des travaux sur l'uni.

### 6.1. Problèmes de mise en œuvre

La mise en œuvre des couches de chaussée, et particulièrement la couche de roulement, peut présenter des problèmes qui sont perçus en appliquant les spécifications de la circulaire 2000-36 auquel cas il est aisé de les localiser et de les quantifier. D'autres défauts peuvent ne pas ressortir après application de la circulaire mais peuvent engendrer quand même un inconfort pour l'utilisateur, c'est le cas particulier des défauts périodiques de faibles amplitudes qui ne sont pas détectables par le système de notation par bandes d'ondes. Dans ce dernier cas, il faut des moyens, autres que la circulaire, pour identifier ces problèmes ; des outils doivent donc permettre de localiser et expliquer les problèmes de répandage et de compactage pouvant apparaître lors de la mise en œuvre.

### 6.1.1. Défauts ponctuels lors du répandage

Il est fréquent de rencontrer des défauts dans les petites ondes lorsque on est en présence d'un joint de reprise ou d'un arrêt prolongé du finisseur. Dans ces deux cas les notes PO peuvent ne pas répondre aux spécifications de la circulaire 2000-36.

#### 6.1.1.1. Joint de reprise

Le joint de reprise peut faire apparaître un défaut ponctuel d'amplitude importante sur le profil mesuré. Il apparaît encore plus franchement sur le signal filtré dans le domaine des petites ondes (0,7 - 2,8 m) (Fig. M5-3).

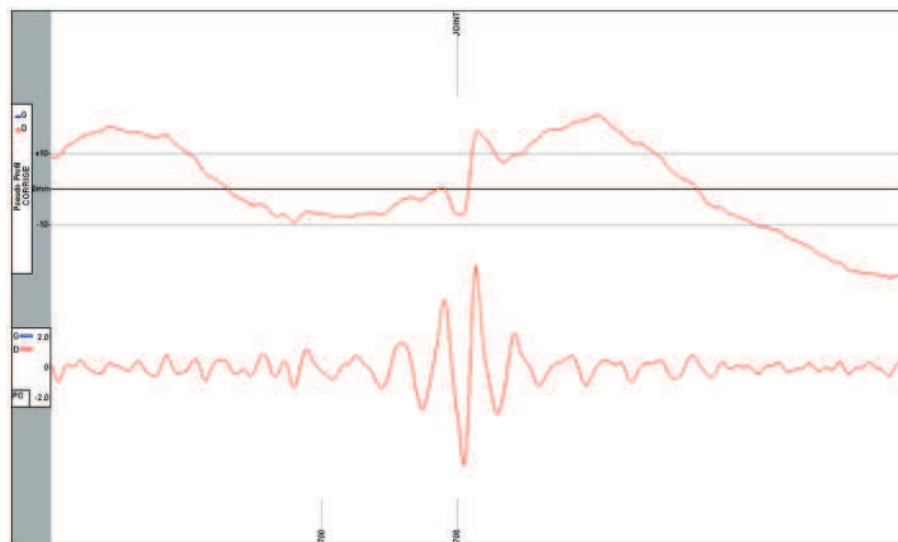


Figure M5-3

Exemple de profil brut et de profil filtré en PO au droit d'un joint de reprise.

#### 6.1.1.2. Arrêt prolongé du finisseur

Les arrêts prolongés du finisseur peuvent générer des défauts ponctuels d'amplitude importante sur le profil mesuré. Ce défaut qui n'est pas nécessairement visible sur la chaussée se caractérise par un défaut d'uni correspondant au stationnement du finisseur puis d'un pic dû au redémarrage. Il apparaît encore plus franchement sur le signal filtré dans le domaine des petites ondes (0,7 - 2,8 m) (Fig. M5-4).

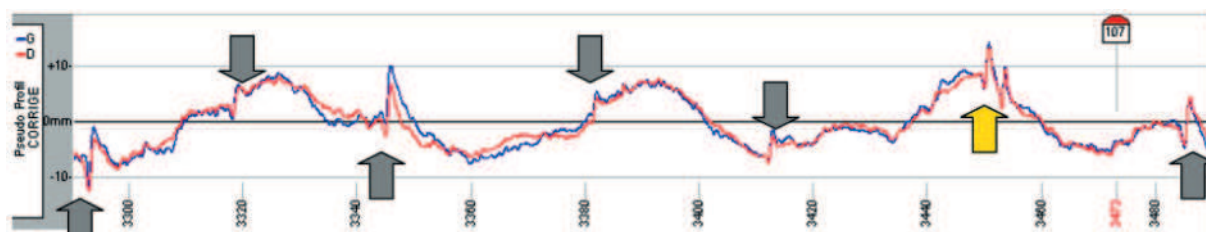


Figure M5-4

Exemple de signaux mettant en évidence une succession de défauts ponctuels dus à un arrêt prolongé du finisseur.

### 6.1.1.3. Guidage par palpage sur la voie rapide

Lors de travaux d'entretien sur chaussée à 2\*2 voies, il arrive que seule la voie lente soit concernée. Il s'agit alors d'un fraisage préalable suivi de l'application d'une couche équivalente avec guidage sur la couche adjacente (voie rapide). Dans ce cas, il y a le risque de copier les défauts de cette voie. La comparaison des signaux de la voie lente avec ceux de la voie rapide font apparaître des similitudes (Fig. M5-5).



Figure M5-5

Opération de fraisage sur voie lente suivie d'un répannage par guidage sur voie rapide.

## 6.1.2. Défauts périodiques

### 6.1.2.1. Défaut de répannage

Lors du répannage, des problèmes de matériel (pompage du vérin de la table du finisseur) ou de guidage (au fil notamment) peuvent générer des défauts périodiques dans le domaine des moyennes longueurs d'onde. Ces défauts, même s'ils ne sont pas mis en évidence par l'application de la circulaire, peuvent générer un inconfort à l'utilisateur du fait de leur caractère périodique. Ces défauts sont facilement identifiables par analyse de la densité spectrale de puissance du signal (DSP) qui met en évidence graphiquement ce type de défaut (pic dans la courbe de DSP). Il faut aussi être capable de détecter le défaut même s'il n'apparaît pas sur tout l'ouvrage. Pour cela, il est conseillé d'adopter un calcul de DSP par fenêtres glissantes s'effectuant sur des longueurs d'au minimum 200 m et se décalant de 10 m chaque fois. Les résultats de calcul peuvent être représentés en 2 D ou en 3D, et faire apparaître en fonction de la longueur d'onde et de l'abscisse, l'amplitude de la DSP (Fig. M5-6, Fig. M5-7 et Fig. M5-8).

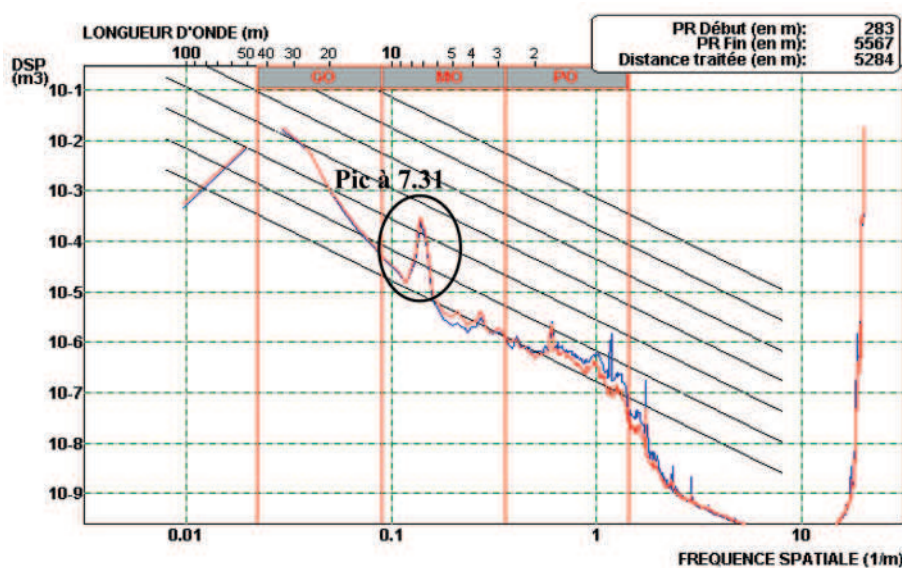


Figure M5-6

Représentation de la DSP globale (sans localisation spatiale du défaut).

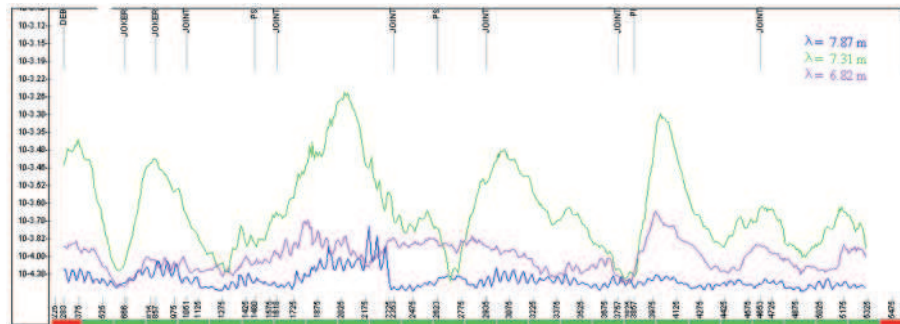


Figure M5-7

Représentation 2 D : localisation des défauts de longueurs d'ondes particulières.

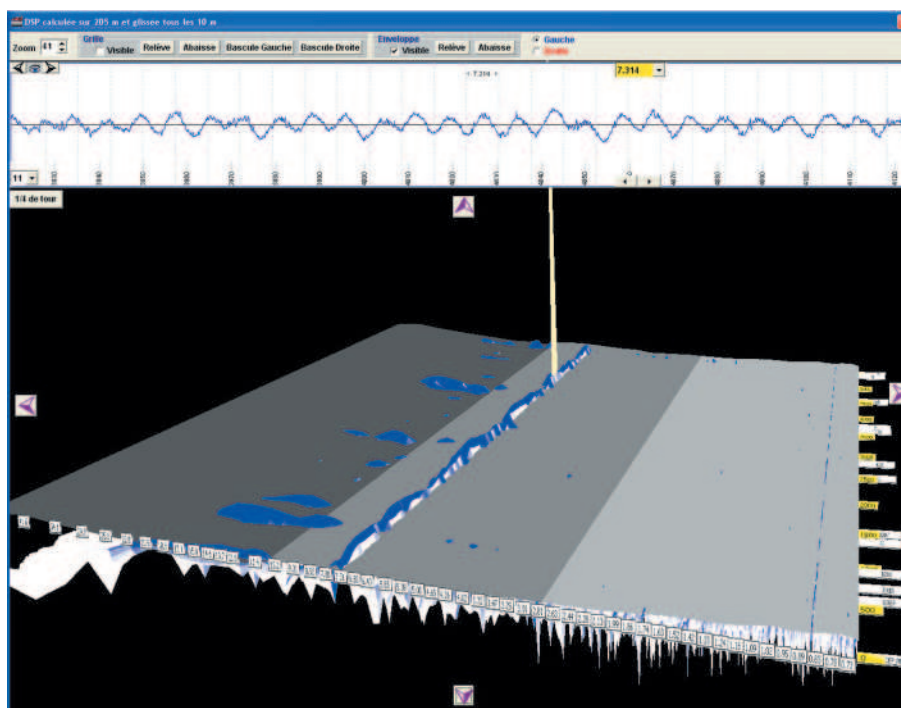


Figure M5-8

Représentation 3 D : localisation des défauts de toute la gamme de longueurs d'ondes.

### 6.1.2.2. Défaut dû à l'effet du compactage

Les défauts dus à l'effet du compactage (table du finisseur ou atelier de compactage) se traduisent très souvent par des défauts de type périodique mais répartis dans tout le domaine des petites longueurs d'ondes. L'analyse de la densité spectrale de puissance (DSP) du signal met en évidence une ondulation dans les petites longueurs d'ondes très caractéristique du problème de compactage. Il faut aussi être capable de détecter le défaut même s'il n'apparaît pas sur tout l'ouvrage.

Le principe est de calculer, par lots de 1000 m, la DSP du signal correspondant et de détecter sur les courbes des successions de périodicité. Cette caractéristique peut être

identifiée automatiquement en calculant la dispersion de la courbe de DSP dans les petites ondes. L'analyse des signaux brut et filtré, qui font aussi apparaître ce défaut de mise en œuvre, permet de le localiser précisément (Fig. M5-9 et Fig. M5-10).

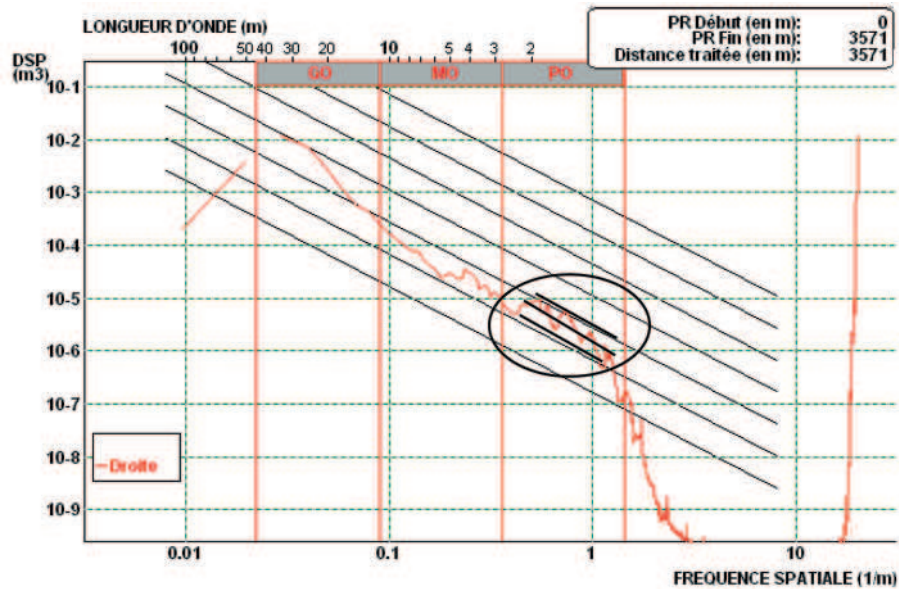


Figure M5-9

*Courbe de DSP mettant en évidence des ondulations dans les PO.*

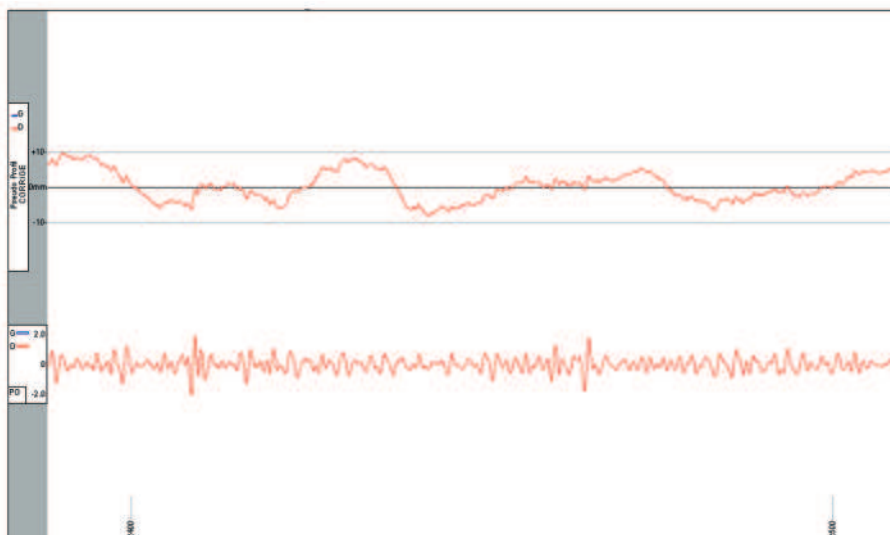


Figure M5-10

*Signal brut et filtré dans le domaine des PO.*

### 6.1.3. Défauts de mise en œuvre générant du roulis

Des problèmes de mises en œuvre non traitées par l'application de la circulaire 2000-36 peuvent générer une sensation de roulis désagréable pour l'utilisateur. C'est le cas par exemple lorsque la mise en œuvre d'une voie est réalisée par deux finisseurs en parallèle avec jonction au milieu de la voie (Fig. M5-11).

Ce phénomène peut être détecté en analysant le décalage entre les deux traces de mesures, et notamment la non superposition des deux profils (cf. signaux ci-après). Afin de localiser exactement le roulis sur l'ouvrage, un outil paramétrable de détection peut être mis en œuvre. Cet outil consiste à rechercher les zones pour lesquelles :

- les courbes se croisent,
- les différences d'amplitude sont significatives (valeur paramétrable),
- la distance de déphasage des courbes est aussi significative (valeur paramétrable).

L'application de cet outil peut se traduire visuellement par une identification (couleur, hachurage, etc.) sur le schéma itinéraire proposant les deux traces superposées. Elle peut parallèlement générer un fichier comportant la localisation précise des zones (en abscisse cumulée par rapport au début de session) (Fig. M5-12).



Figure M5-11

Mise en œuvre de la voie lente par deux finisseurs en parallèle.

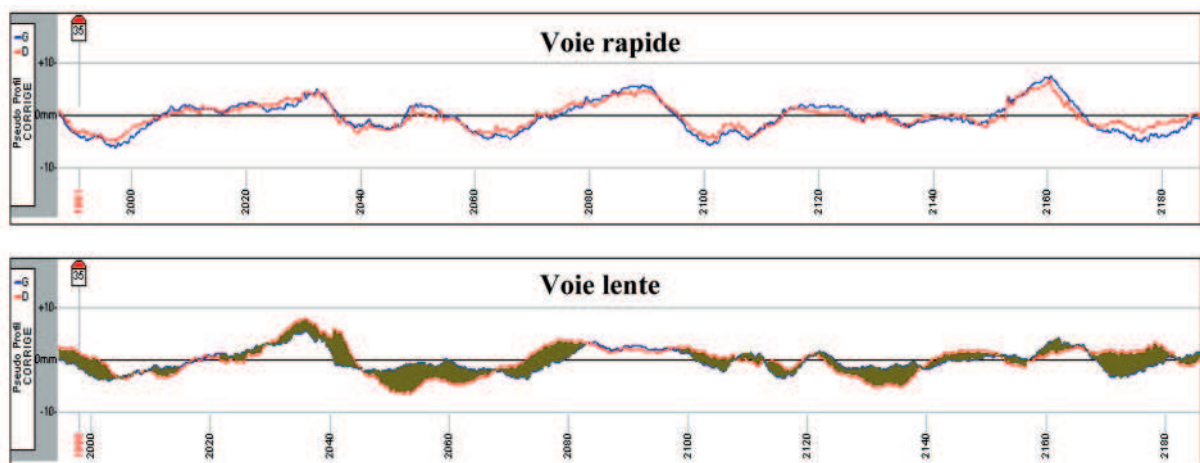


Figure M5-12

Illustration du roulis sur la voie lente.

## 6.2. Outils d'aides

Ce module d'expertise, outre l'identification de défauts particuliers cités dans le paragraphe précédent, décrit des outils permettant, afin de favoriser le dialogue avec le maître d'œuvre, de localiser précisément les défauts sur la route (en dynamique) et de rendre compte de façon synthétique de l'effet des travaux sur l'uni.

### 6.2.1. Localisation dynamique des défauts

Le principe de cet outil est de re-parcourir en véhicule l'ouvrage ausculté antérieurement en faisant défiler, sous forme de schéma itinéraire dynamique, les profils au fur et à mesure que le véhicule avance (Fig. M5-13). Cet outil permet donc de faire ressentir les défauts (et les localiser) aux passagers du véhicule. Un défaut d'uni longitudinal n'est pas toujours visible en statique, mais peut se ressentir seulement en dynamique, ce qui peut être le cas de défauts de moyennes longueurs d'ondes (quelques mètres).

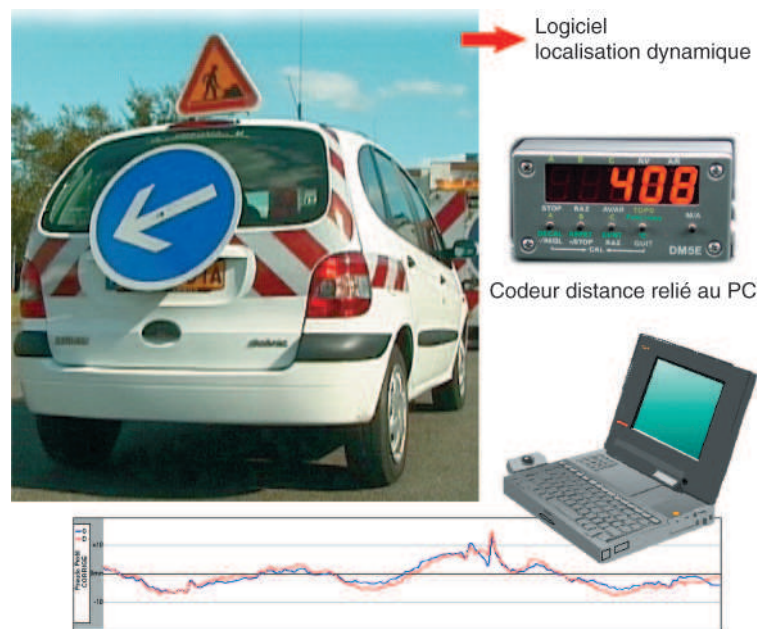


Figure M5-13

*Parcours en commun entre maître d'œuvre, entreprise et expert Uni, d'un ouvrage ausculté antérieurement.*

### 6.2.2. Valorisation de la mesure avant travaux

La réalisation de travaux (réhabilitation, entretien), nécessite dans la plupart des cas des mesures d'uni avant et après les travaux afin de juger de l'effet des travaux sur l'uni, la circulaire précisant les spécifications dans les différents cas de figure. La mesure avant travaux, préconisée en configuration bi-trace standard (une trace dans chaque bande de roulement), peut être valorisée en adoptant une configuration bi-trace « décalée » (une trace dans la bande de rive et une trace en milieu de voie) proposée dans le module 2 de la présente méthode (Fig. M5-14). Cette configuration a l'avantage de mettre en évidence, éventuellement, des problèmes particuliers d'origine structurelle qui pourraient faire l'objet d'un traitement adapté avant de réaliser la totalité des travaux. Un appareil de mesure tri-trace (deux bandes de roulement et axe de voie) est l'idéal pour répondre à ce besoin.



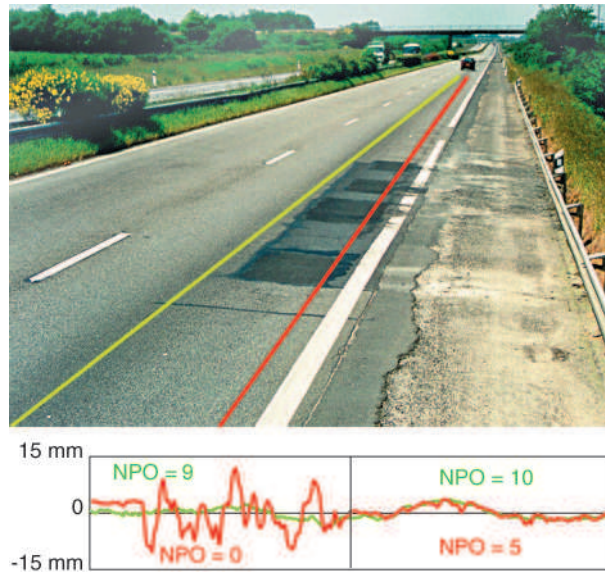


Figure M5-14

Évaluation structurelle par configuration bi-trace « décalée ».

### 6.2.3. Quantification de l'effet des travaux

Lors de travaux réalisés dans le but d'une réhabilitation, il est intéressant de mettre en évidence de façon globale, ou localisée, l'effet des travaux sur l'amélioration de l'uni longitudinal. Une comparaison des densités spectrales de puissance (DSP) des signaux avant et après travaux permet de se rendre compte du gain apporté par les travaux. Les courbes de DSP ci-après illustrent le gain d'uni apporté par les travaux de façon globale (Fig. M5-15).

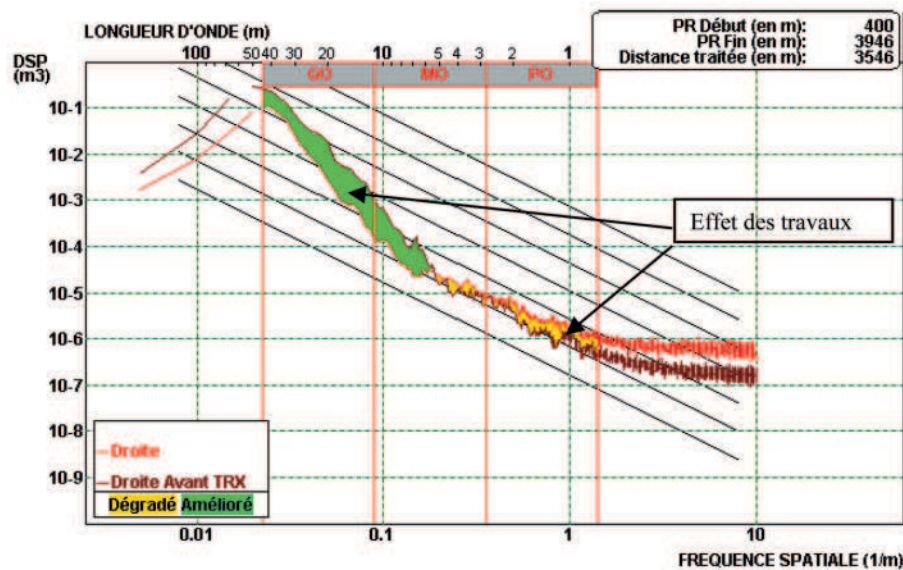


Figure M5-15

Mise en évidence de l'effet des travaux sur une représentation en DSP.

Comme le montrent les courbes ci-après (Fig. M5-16), la superposition des signaux bruts permet, de façon localisée, d'illustrer le gain d'uni apporté par les travaux.

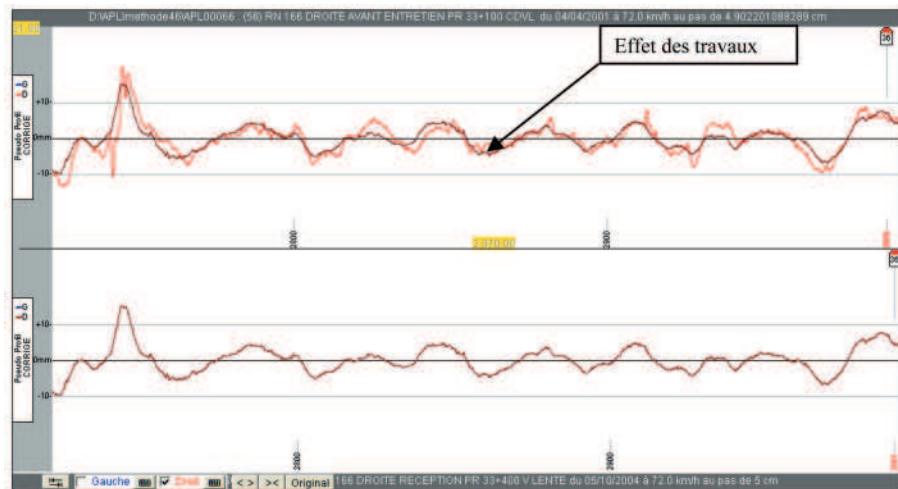


Figure M5-16

*Mise en évidence de l'effet des travaux sur une représentation en profil.*

## 7. Présentation des résultats

Les résultats sont présentés sur une feuille d'essai contenant :

- un cartouche comportant la date des mesures, les informations relatives à l'identification et la localisation de la section mesurée ainsi que les paramètres de mesure (vitesse, pas d'acquisition, etc.),
- les conditions particulières d'exécution des mesures : conditions climatiques, état de la chaussée, incidents, etc.,
- en fonction de l'expertise réalisée les paramètres suivants (Tableau M5-1).

Tableau M5-1 : Tableau de synthèse des différents défauts et outils d'aide

Type de défaut ou outils d'aide	Nature du défaut ou de l'outil d'aide	Paramètre présenté	Observations
Ponctuel	Joint de reprise	- Profil sur tout l'ouvrage - Zoom du profil sur la zone concernée	
	Arrêt prolongé du finisseur	- Profil sur tout l'ouvrage - Zoom du profil sur la zone concernée	
	Guidage par palpation sur voie rapide	- Profils de la voie rapide et de la voie lente représentés en superposition sur tout l'ouvrage - Zoom sur la zone concernée	
Répétitif	Défaut de répannage	- DSP et mise en évidence de pics dans les MO - DSP glissée et représentation en 3D incluant toute les longueurs d'onde - DSP glissée et représentation en 2D présentant l'énergie pour certaines longueurs d'onde - Zoom du profil sur les zones concernées	
	Défaut de compactage	- DSP et mise en évidence des ondulations dans les PO - Zoom du profil sur les zones concernées	
Roulis	Deux finisseurs sur une même voie	- Deux profils sur tout l'ouvrage - Indicateur de roulis corrélé au déphasage des deux profils - Zoom des profils sur les zones concernées	Mise en évidence du roulis par des hachures
Localisation dynamique	Visualisation du profil en dynamique pilotée par l'avancement du véhicule	- Profils avec curseur se déplaçant en fonction de l'avancement du véhicule	
Effet des travaux	Visualisation globale de l'effet des travaux	- DSP avant et après travaux - Superposition des profils avant et après travaux	Mise en évidence par l'écart des courbes avant et après travaux

## ■ ANNEXES AUX MODULES DE LA MÉTHODE D'ESSAI





## ■ ANNEXE AM GENERAL - 1

### APL : ANALYSEUR DE PROFIL EN LONG

#### 1. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de l'APL (Fig. AM Général-1-1) est effectuer une mesure de l'angle  $\beta$  entre l'axe du bras porte-roue et l'axe du fléau du pendule inertiel. Ceci permet de déterminer l'amplitude  $A$  du défaut d'uni par rapport au profil moyen. Le découplage entre les comportements de la remorque et du véhicule tracteur est assuré par un attelage à cardan et un réglage spécifique du pendule inertiel.



Figure AM Général-1-1  
APL bi-trace.

Le châssis lesté, s'appuyant sur le bras porte-roue par l'intermédiaire d'un ressort et d'un amortisseur, permet d'assurer un contact permanent de la roue de mesure sur la chaussée. Les caractéristiques de masse, rigidité et amortissement permettent au système de supporter des accélérations verticales transitoires de l'ordre de  $100 \text{ m/s}^2$  sans perte de contact (Fig. AM Général-1-2).

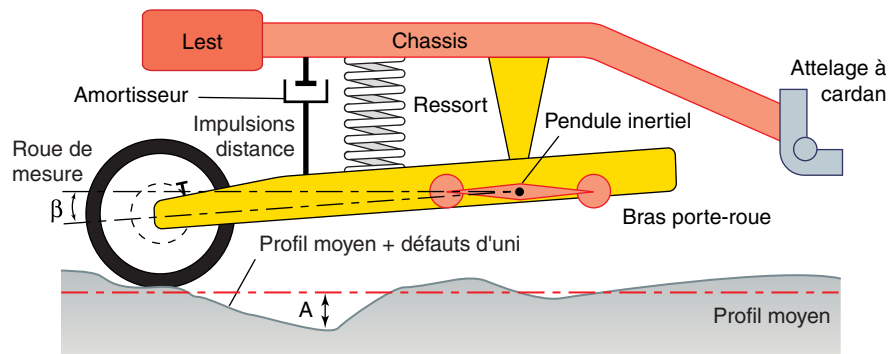


Figure AM Général-1-2  
Principe de la remorque APL.

Le système d'acquisition de l'APL existe en version indépendante depuis 2001 sous le nom de « APL2 ». Il existe aussi en version multifonction depuis 2005 sous le nom de « APL sous APO », APO désignant l'Architecture Porte Outils qui est un nouveau concept de développement multifonction.

Ces systèmes d'acquisition délivrent des fichiers de mesure dans lesquels on trouve :

- l'identification de la section de mesure,
- la liste des événements saisis en cours de mesures (repérés en abscisse),
- les élévations des profils mesurés.

L'exploitation des mesures est assurée par le logiciel APL 2000 [2].

## 2. Fonction de transfert « harmonique » de l'APL

Après réglage par le constructeur, la fonction de transfert en amplitude de la remorque APL, en excitation harmonique (sinus) est quasiment unitaire dans le domaine de fréquence [0,4 Hz – 30 Hz].

Au domaine de fréquence  $F$  (en Hz) correspond une gamme de longueur d'onde  $l$  (en m) telle que  $l = V/F$  où  $V$  est la vitesse de mesure en m/s (Fig. AM Général-1-3).

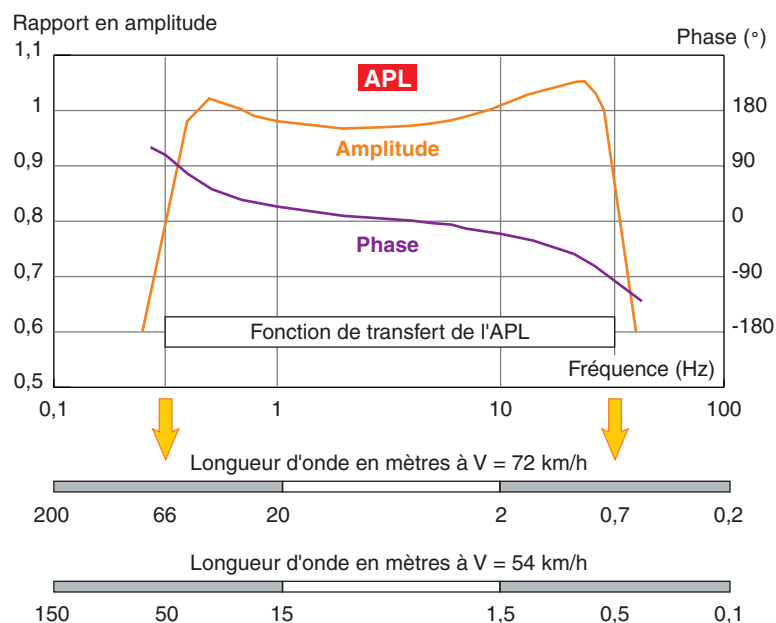


Figure AM Général-1-3

Fonction de transfert de l'APL.

## 3. Préconisations sur la vitesse de mesure

Les résultats délivrés par l'APL, notamment les notes par bandes d'onde, sont sensibles à la vitesse de mesure. Les trois gammes de longueur d'onde, dont les limites sont 0,7 et 45 m, ne peuvent être mesurées correctement que si la vitesse de mesure est constante autour à 72 km/h soit 20 m/s. Une tolérance de +/-5 km/h est acceptée.

Toutefois certains itinéraires ou parties d'itinéraires sont limités en vitesse pour des raisons techniques ou administratives. Dans ces cas les essais sont réalisés à  $54 \text{ km/h} \pm 5 \text{ km/h}$  et analysés séparément comme prévu dans les textes réglementaires. Les spécifications propres à ces cas ne concernent que le domaine des petites longueurs d'ondes.

En règle générale, le prescripteur privilégiera les découpages d'itinéraire à contrôler de telle sorte que les mesures puissent être réalisées à vitesse constante. Lorsqu'une partie d'itinéraire nécessite une adaptation de vitesse, celle-ci doit s'effectuer sans aucun à-coup d'accélération ou de décélération perceptible dans le véhicule d'essai.

Le ralentissement au voisinage amont de la zone à vitesse réduite et l'accélération au voisinage aval de cette zone doivent être exécutés avec la plus grande souplesse de conduite. Il convient par ailleurs d'en « toper » le début et la fin.

Dans les conditions de vitesse réduite décrites, les performances instrumentales et les incertitudes de mesure avec l'APL sont conservées pour les domaines des petites et moyennes longueurs d'ondes.

Ne serait-ce que vis-à-vis de l'intégrité des matériels, la vitesse de mesure de  $72 \text{ km/h}$  n'est pas toujours compatible avec la nature du revêtement sur lequel se déplace le véhicule d'essai. Dans les conditions usuelles, il faut aussi respecter la vitesse réglementaire fixée sur le chantier qui peut être comprise entre  $40$  et  $50 \text{ km/h}$ .

Dans ce cas, la méthode d'analyse du signal APL en énergies et notes par bande d'onde prévoit une disposition (correction) permettant d'assurer l'équivalence des résultats obtenus à partir de mesures à  $54$  ou  $36 \text{ km/h}$ , avec ceux de mesures à  $72 \text{ km/h}$ .

Cette disposition permet de corriger, compte tenu de la fonction de transfert de l'APL, l'atténuation dans le domaine des plus grandes longueurs d'ondes (cf. Fig. AM Général-1-2). Elle est disponible dans les logiciels de traitement livrés avec l'APL, sous la terminologie de « transposition de vitesse ». Les résultats de traitement ainsi obtenus sont conformes, en terme d'incertitude, aux EMT du tableau M1-2 du Module 1.

## 4. Incidents de fonctionnement

Les incidents les plus fréquents susceptibles de survenir sont identifiés dans le manuel Notice d'utilisation des matériels [1]. On y traite également de la conduite à tenir et des services compétents devant intervenir.

Les principaux incidents ou dysfonctionnements et les consignes qui s'y rapportent sont les suivants :

### 4.1. Crevaison du pneumatique

Le changement du pneumatique sur la roue de mesure, compte tenu des spécifications qui s'y rapportent, nécessite l'intervention d'un personnel compétent et de moyens d'équilibrage appropriés. Le laboratoire doit tenir en stock au moins une roue de secours, dont les caractéristiques sont connues.

Il est rappelé qu'il est préconisé d'utiliser, hors mesures, une roue dite « de transfert » afin de ménager les roues qualifiées pour les mesures qui sont montées juste avant les essais.



## 4.2. Rupture de la liaison du ressort de rappel du fléau du pendule

L'opération de remplacement doit être mentionnée par l'utilisateur au responsable de l'organisme dont il dépend. On se référera au PV. de vérification au banc pour le respect des cotes définissant la longueur de la crinelle de rappel ainsi que la cote de fixation de la crinelle d'ancrage.

## 4.3. Rupture d'un pivot à lames croisées

Pas toujours visible à l'œil nu, cet incident peut être détecté par l'apparition de signaux parasites, un mauvais retour à zéro, et/ou une réponse à l'échelon perturbée.

## 4.4. Défaut de mobilité du pendule

Il peut être le signe de la présence d'eau, de poussière ou d'autres éléments sur le drapeau du fléau du pendule ou entre les aimants permanents de l'amortisseur magnétique. Seul le nettoyage sans démontage est permis à l'utilisateur.

## 4.5 Incident sur la carte électronique

L'utilisateur peut procéder au remplacement d'une carte dont il a mis en évidence le mauvais fonctionnement.

## 4.6 Mauvais amortissement du pendule

Cet incident peut être mis en évidence au cours d'une opération de contrôle « quotidien » par l'utilisateur.

Toute intervention de l'utilisateur pour traiter un incident, doit être suivie d'une vérification sur les sites locaux de référence. Dans tous les cas, si après intervention de l'utilisateur de mesure, les résultats d'autocontrôle sont mauvais, il faut prévenir le service assurant le service après-vente.

# 5. Procédure de contrôle de l'APL

On distingue trois types de contrôles :

- les vérifications métrologiques de l'ensemble de l'appareillage par le centre agréé,
- les vérifications périodiques de bon fonctionnement par l'utilisateur sur site test,
- les vérifications systématiques avant mesure par l'utilisateur.

## 5.1. Les vérifications métrologiques de l'ensemble de l'appareillage

Ces vérifications sont réalisées par le centre agréé et consiste à faire des contrôles sur banc de vibration et sur route en appliquant la procédure de contrôles du centre agréé. Cette procédure décrit la liste des contrôles d'étalonnage et du comportement dynamique de l'APL. Des procès verbaux font état des résultats obtenus.

La périodicité de ces contrôles est de deux ans pour les essais sur banc (ou 30 000 km parcourus), et de un an pour les essais sur route.

## 5.2 Les vérifications périodiques de bon fonctionnement

Ces vérifications sont réalisées par l'utilisateur et consiste à s'assurer que les indicateurs (NBO) obtenus sur des sections tests sont semblables aux indicateurs obtenus lors du contrôle précédent. Ces comparaisons sont réalisées sur au moins deux sites de référence de 1000 m au moins, l'un présentant un uni très bon (note PO de 9 ou 10), et l'autre présentant un uni moyen (note PO, MO et GO variant entre 7 et 8). La périodicité de ces essais est d'un mois ou après changement d'une pièce d'usure (Fig. AM Général-1-4).

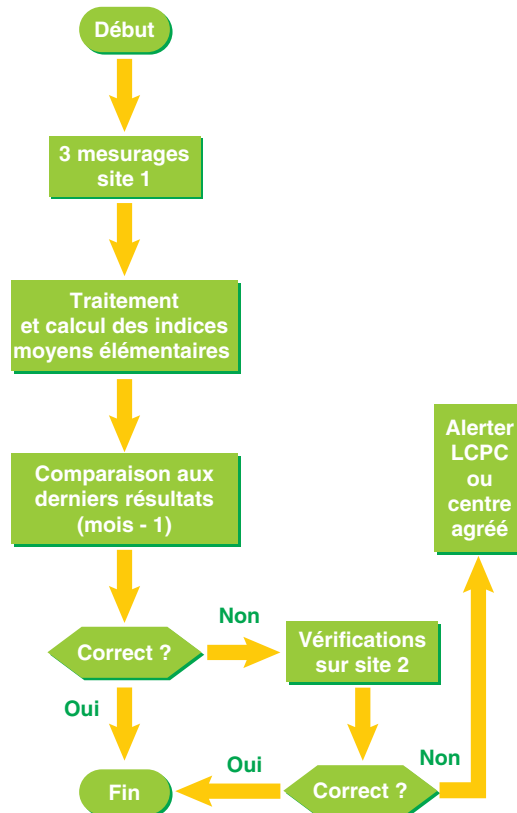


Figure AM Général-1-4

Diagramme définissant les vérifications périodiques.

## 5.3 Les vérifications systématiques avant les mesures

Ces vérifications sont réalisées par l'utilisateur et consiste à contrôler la réponse du pendule (en statique) et à calibrer l'information distance sur une distance connue. Elles sont effectuées quotidiennement conformément au manuel Notice d'utilisation des matériels [1]. Pour la distance un contrôle tous les 2000 km suffit.

## 6. Références bibliographiques

[1] Notices d'utilisation de l'APL, CECP Rouen, août 2003 (APL2), avril 2005 (APL sous APO).

[2] Notice d'utilisation du logiciel d'exploitation APL 2000, LR St Brieuc, février 2008.



## ■ ANNEXE AM GENERAL - 2

### MLPL : MuLTIPROFILOMÈTRE LONGITUDINAL

#### 1. Principe de fonctionnement

Le MLPL (Fig. AM Général-2-1 et Fig. AM Général-2-2) est une poutre solidaire de la caisse comportant deux ou trois capteurs laser, un accéléromètre et un gyroscope.



Figure AM Général-2-1

MLPL à l'avant du véhicule porteur.

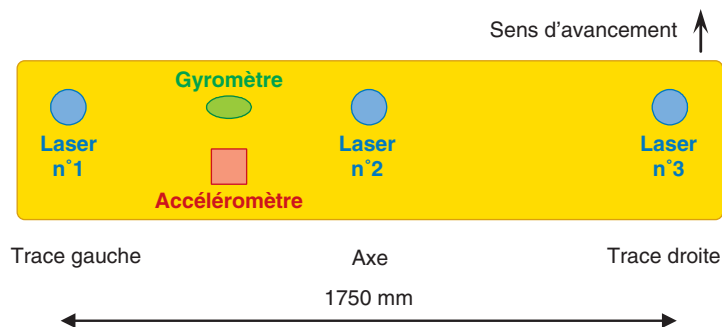


Figure AM Général-2-2

Principe du MLPL tri-trace.

En fonction de l'abscisse curviligne  $x$  définie par le capteur de distance lié à une roue, on mesure la distance  $D_x$  entre un point de la poutre et la chaussée, l'accélération verticale  $A_x$  et l'inclinaison  $P_x$ . La théorie conduit au profil absolu  $Z_x$  en fonction de l'abscisse curviligne  $x$  par la relation :

$$Z_x = D_x + \iint_x A_x^2 dx \text{ corrigé de } P_x \quad (1)$$

Si en théorie, le profil reconstruit  $Z_x$  est « vrai » sur tout le spectre, en réalité, certains facteurs sont susceptibles de biaiser et de fausser les résultats (précision des capteurs en fonction de la fréquence et de l'amplitude des mouvements de caisse, filtres numériques sur les mesures de distance déduites de la mesure d'accélération, vitesse de mesure, etc.).

Faute de référence connue sur route, la sensibilité du MLPL aux différents facteurs biaisant la reconstitution d'un profil vrai est mesurée en statique sur un banc de vibration.

L'exploitation des mesures est assurée par le logiciel APL 2000 [2].

## 2. Préconisations de mesure

Le MLPL permet une mesure à vitesse variable, la seule condition étant d'être supérieure à 30 km/h pour pouvoir mesurer des défauts de grandes longueurs d'ondes (50 m).

La mesure est valide sur tous types de revêtements routiers, mais peut être altérée sur chaussée mouillée (présence de flaques, de projections).

## 3. Incidents de fonctionnement

Le principaux incidents de fonctionnement pouvant être rencontrés sont :

- déconnexion de la poutre de mesure au PC,
- le non réponse d'un ou plusieurs capteurs,
- l'envoi de valeurs aberrantes par les capteurs sans raison apparente.

Ces incidents, très rares, sont détectables :

- lors du contrôle logiciel avant mesure (interrogation de tous les capteurs et visualisation de leurs valeurs),
- pendant la mesure (affichage des profils et message d'alerte).

## 4. Procédure de contrôle du MLPL

On distingue trois types de contrôles :

- les vérifications métrologiques de l'ensemble de l'appareillage par le centre agréé,
- les vérifications périodiques de bon fonctionnement par l'utilisateur sur site test,
- les vérifications systématiques avant mesure par l'utilisateur.

### 4.1. Les vérifications métrologiques de l'ensemble de l'appareillage

Ces vérifications sont réalisées par le centre agréé et consiste à faire des contrôles sur banc de vibration et sur route en appliquant la procédure de contrôles du centre agréé. Cette procédure décrit la liste des contrôles d'étalonnage et du comportement dynamique du MLPL. Des procès verbaux font état des résultats obtenus.

La périodicité de ces contrôles est de deux ans pour les essais sur banc (ou 30 000 km parcourus), et de un an pour les essais sur route.

## 4.2. Les vérifications périodiques de bon fonctionnement

Ces vérifications sont réalisées par l'utilisateur et consiste à s'assurer que les indicateurs (NBO) obtenus sur des sections tests sont semblables aux indicateurs obtenus lors du contrôle précédent. Ces comparaisons sont réalisées sur au moins deux sites de référence de 1000 m au moins, l'un présentant un uni très bon (note PO de 9 ou 10), et l'autre présentant un uni moyen (note PO, MO et GO variant entre 7 et 8). La périodicité de ces essais est d'un mois ou après changement d'une pièce d'usure (Fig. AM General-2-3).

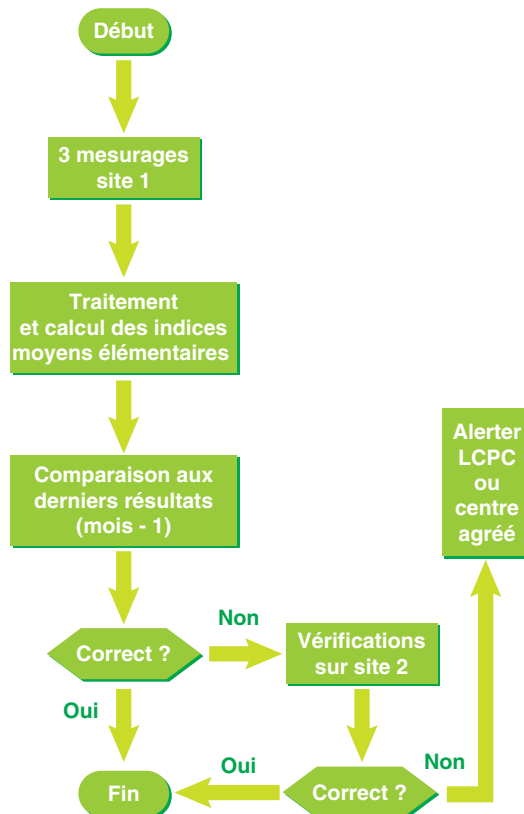


Figure AM Général-2-3

Diagramme définissant les vérifications périodiques.

## 4.3. Les vérifications systématiques avant les mesures

Ces vérifications sont réalisées par l'utilisateur et consiste à lancer la procédure logicielle de contrôle des capteurs et à calibrer l'information distance sur une distance connue. L'affichage des valeurs renvoyées suffit à juger du bon fonctionnement du MLPL. Elles sont effectuées quotidiennement conformément au manuel Notice d'utilisation des matériels [2]. Pour la distance un contrôle tous les 2000 km suffit.

## 5. Références bibliographiques

[1] Notices d'utilisation du MLPL, CECF Rouen, Avril 2007.

[2] Notice d'utilisation du logiciel d'exploitation APL 2000, LR St Brieuc, février 2008.



## ■ ANNEXE AM3-1

### MÉTHODE D'ESTIMATION DES QUANTITÉS DE REPROFILAGE

La méthode, issue d'un plan d'expérience mené en 1997, consiste à préciser les besoins en fonction de l'amélioration souhaitée des conditions d'uni longitudinal et transversal, traduites par deux indicateurs pertinents : le CAPL 25 et l'IPTUS. Les abaques ci-après permettent de lire les quantités à mettre en œuvre (Fig. AM3-1-1).

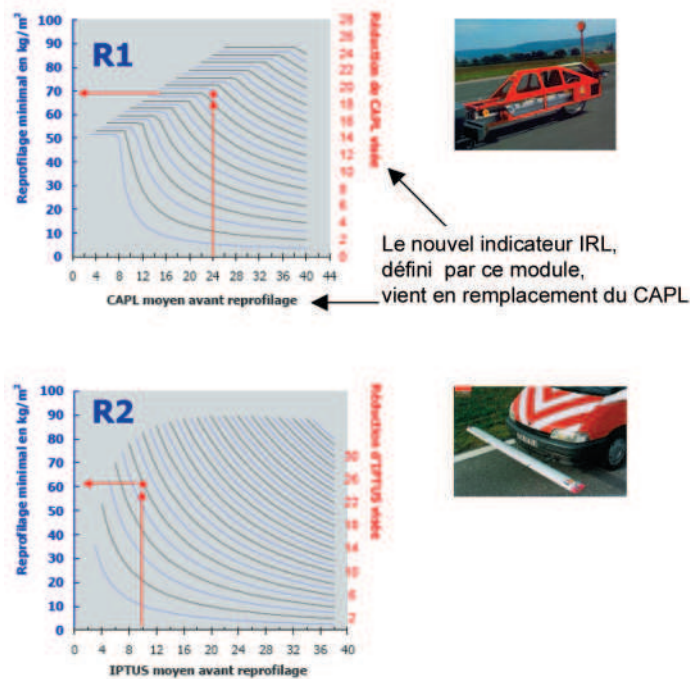


Figure AM3-1-1

*Abaques d'estimation des quantités de reprofilage (à partir du CAPL 25).*

$$\text{REPRO} = A \cdot \max(\text{R1} ; \text{R2})$$

où  $A = 1.1$  si mise en œuvre par niveleuse

$A = 1.4$  si mise en œuvre par finisseur





## ■ ANNEXE AM3-2

### ALGORITHME DE CALCUL DE L'IRL

Soit :

N, le nombre total de points de mesure ;

N<sub>p</sub>, le nombre de points de mesure contenu dans une longueur de 13 mètres ;

V[i], i = 0 à N-1, le vecteur contenant le profil mesuré, éventuellement lissé sur 0.3 m ;

W[i], i = 0 à N-1, le vecteur contenant le profil corrigé (reprofilé).

#### *Initialisation*

On recherche la position du maximum de V[i] pour i de 0 à N<sub>p</sub>-1, soit j cette position.

On affecte ce maximum de 0 à cette position, soit : W[i]=V[j] pour i de 0 à j.

#### *Parcours de la mesure*

On pose i = j

Tant que i < N-1

Soit n1 = i + 1 et n2 = min(i + N<sub>p</sub>,N)

On recherche la position k, k allant de n1 à n2, pour laquelle la pente entre V[k] et V[i] est maximum. Soit P cette pente. On affecte une droite allant de V[i] à V[k], soit : W[j] = V[i] + P\*(j-i)

Fin Tant que

#### *Calcul de IRL*

Pour chaque zone de 200 mètres, on calcule la surface entre le profil mesuré et le profil corrigé.

Le résultat final est divisé par 200 pour être ramené à une longueur de 1 mètre.

Il est ensuite multiplié par 2400.

### Algorithme de calcul de NRL

La meilleure corrélation existant entre l'IRL et les notes par bandes d'ondes (notamment NPO et NMO) est celle qui consiste à comparer l'IRL à la note équivalente à  $0.333 * NPO + 0.666 * NMO$ .

La figure AM3-2-1 illustre cette corrélation et permet de déterminer la meilleure relation entre IRL et NRL.

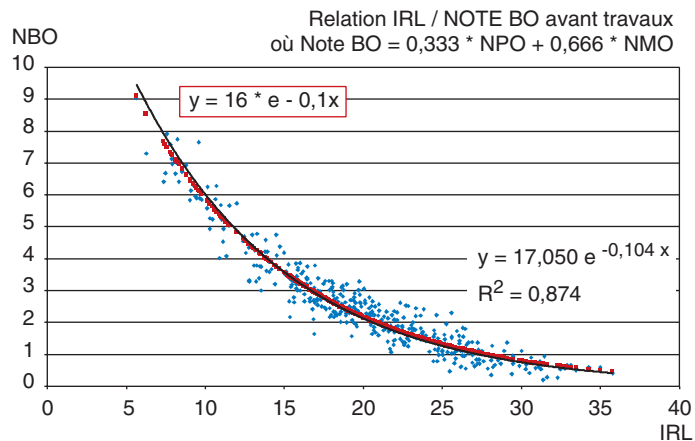


Figure AM3-2-1

*Corrélation entre IRL et NRL.*

On retient comme relation :  $NRL = 16 * e^{-0.1 * IRL}$ .

La table de correspondance entre l'IRL et la note NRL est la suivante :

IRL	NRL
0	10.0
4	10.0
6	8.8
8	7.2
10	5.9
12	4.8
14	3.9
16	3.2
18	2.6
20	2.2
24	1.5
28	1.0
32	0.7
36	0.4
40	0.3
44	0.2

Les nouveaux abaques avec les légendes modifiées sont les suivants (Fig. AM3-2-2) :

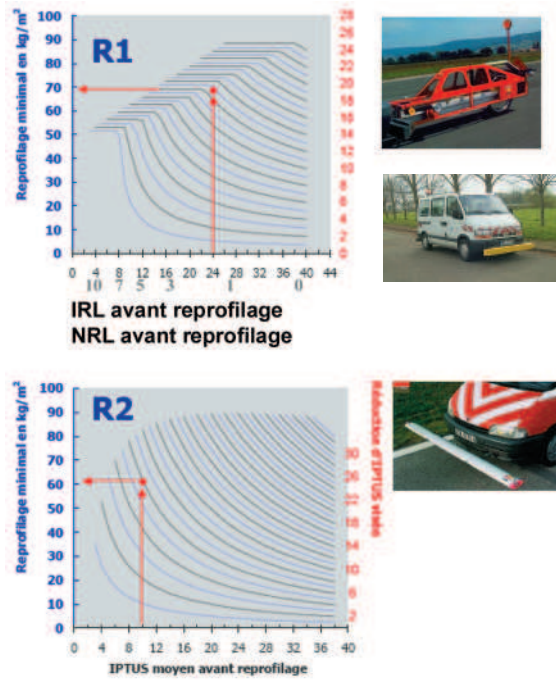


Figure AM3-2-2

*Abaques d'estimation des quantités de reprofilage  
(à partir de l'IRL ou NRL).*



## ■ ANNEXE AM4-1

# SPÉCIFICITÉ DES MESURES SUR CHAUSSÉES AÉRONAUTIQUES

## 1. Glossaire - Description du lieu de mesure

Le plan ci-dessous (Fig. AM4-1-1) est un schéma descriptif d'une plate-forme aéroportuaire avec certains éléments utiles pour la localisation de la mesure de l'uni suivant la méthode d'essai n° 46 module 4. Tous ces éléments ne figurent pas sur toutes les plates-formes aéroportuaires. *A contrario*, certains peuvent apparaître plusieurs fois (plusieurs pistes par exemple).

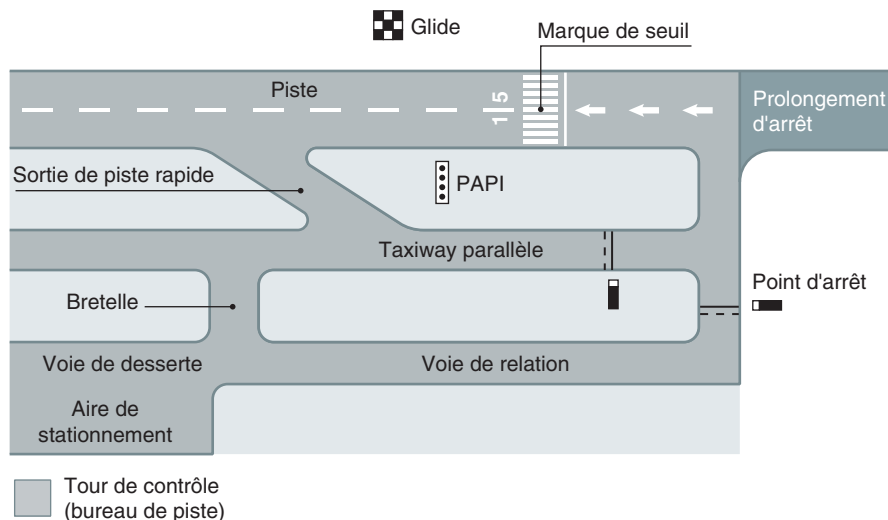


Figure AM4-1-1

*Schéma descriptif d'une plate-forme aéroportuaire.*

### 1.1. Généralités

Une *plate-forme* aéroportuaire se décompose en plusieurs aires, parmi lesquelles l'aire de mouvement qui nous intéresse plus particulièrement.

L'*aire de mouvement* est l'ensemble des infrastructures de l'aéroport aménagées en vue des opérations d'atterrissage et de décollage des aéronefs ainsi que leurs opérations au sol.

On y distingue :

- l'*aire de manœuvre* qui comprend la (ou les) piste(s) et les voies de relation (dont assez fréquemment un taxiway parallèle),
- l'*aire de trafic* qui comprend les aires de stationnement et les voies de desserte.

## 1.2. La piste

La *piste* (première composante de l'aire de manœuvre) est une aire aménagée afin de servir au décollage et à l'atterrissage des aéronefs.

Elle peut présenter des *prolongements d'arrêt* (appelés quelquefois POR pour Prolongements Occasionnellement Roulables) à ses extrémités. Ces aires permettent à un aéronef roulant au sol et venant à dépasser occasionnellement l'extrémité de piste (manœuvre d'urgence, par exemple) de le faire sans subir de dommages.

## 1.3. Seuil de piste

L'extrémité de piste peut ne pas coïncider avec le *seuil de piste*, limite en deçà de laquelle le roulage à l'atterrissage est interdit. On parle alors de *seuil décalé*. La portion de piste comprise entre un seuil décalé et l'extrémité de la piste est appelée *tiroir* (roulage possible au décollage). La présence d'un seuil décalé se traduit par un balisage diurne sous forme de flèches au niveau du tiroir.

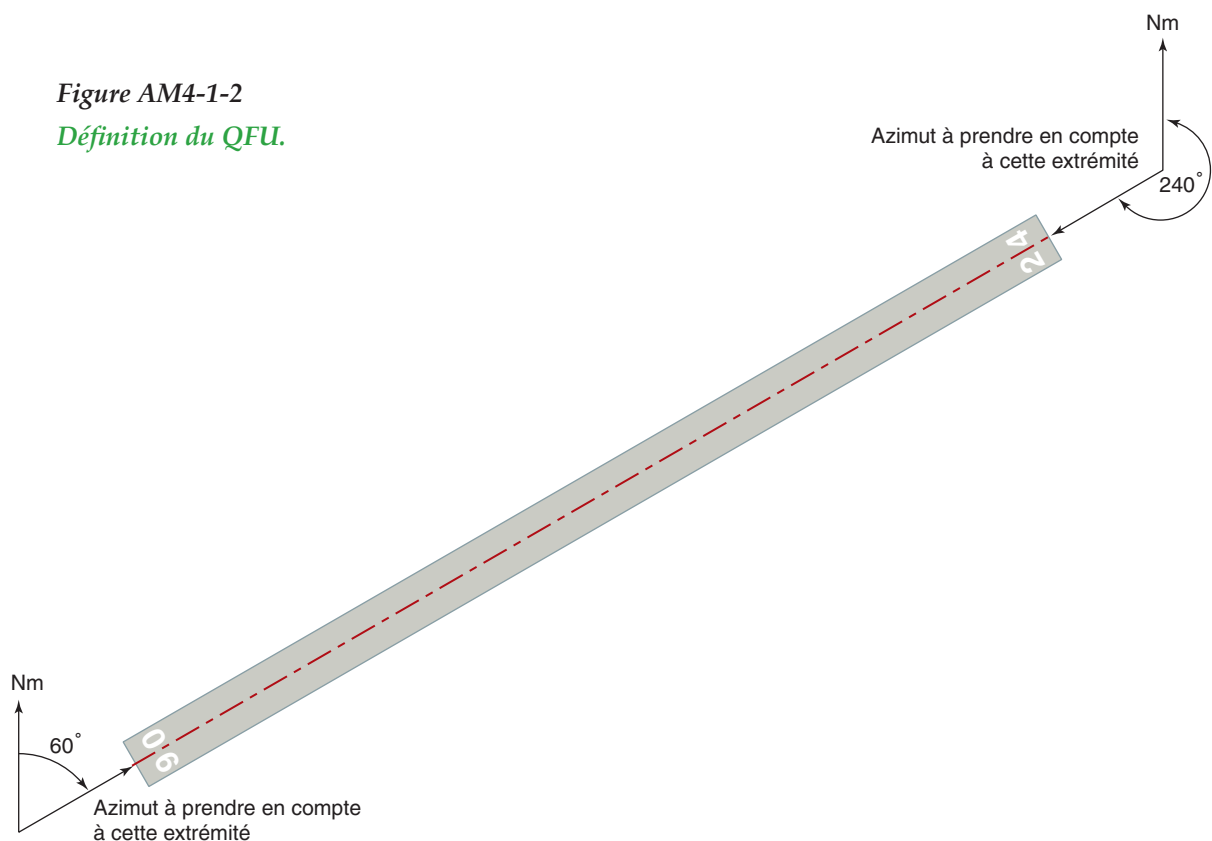
Les marques de seuil (dites aussi « peigne ») sont constituées de bandes de 30 m de longueur parallèles à l'axe de la piste.

## 1.4. Marques d'identification de piste

Un nombre de deux chiffres compris entre 01 et 36 sert à identifier une piste (ce nombre est très communément dénommé QFU). Il s'agit du nombre entier le plus proche du dixième de l'azimut magnétique de l'axe de piste pris dans le sens de l'atterrissage sur ce seuil et mesuré en degrés à partir du nord magnétique dans le sens des aiguilles d'une montre (Fig. AM4-1-2).

Figure AM4-1-2

Définition du QFU.



## 1.5. Voies de circulation

Les voies de circulation sont jusqu'à l'ensemble des voies qui permettent le roulage de l'aéronef depuis son poste de stationnement à la piste. C'est un terme générique qui regroupe voies de dessertes, voies de relation, bretelles, entrées-sorties et taxiway parallèle.

Les voies de circulation qui sont sécantes avec la piste sont communément appelées *bretelles*. Les intersections entre la piste et l'axe de ces bretelles pourront servir de points de repérage intermédiaires lors de la mesure.

## 1.6. Points d'arrêt

Les voies de circulation peuvent présenter des *points d'arrêt* qui se manifestent par la présence d'une double ligne (continue et pointillée) de couleur jaune qui barre la chaussée. Ce point d'arrêt est un point qu'aucun aéronef et *a fortiori* aucun véhicule ne doit franchir sauf à en avoir reçu l'autorisation explicite de l'organisme de contrôle aérien ou, en l'absence de cet organisme, à avoir assuré lui-même sa sécurité. Dans le cas d'aéroports présentant des aides radio-électriques d'approche, le positionnement de ces points d'arrêt est directement lié à la nécessité d'éviter la présence d'objet pouvant générer des perturbations du signal radioélectrique dans les aires critiques des instruments d'approche.

## 1.7. Instruments d'aide (visuelle ou radioélectrique) d'approche

Ces éléments sont indiqués ici car ils pourront aisément servir de points de repère intermédiaires lors de la mesure.

*PAPI (Precision Approach Path Indicator)* : aide visuelle d'approche constituée de quatre feux alignés perpendiculairement à l'axe de la piste.

*Glide (Radioalignement de descente)* : élément de l'aide radioélectrique d'alignement de piste (ILS (Instrument Landing System)) qui se présente sous la forme d'une antenne et d'un abri de protection de l'électronique en bord de piste.

# 2. Exécution de l'essai

## 2.1. Veille radio

Il est rappelé qu'il est essentiel qu'une veille attentive de la fréquence sol de la tour de contrôle soit opérée pendant l'essai afin de répondre immédiatement à un ordre d'évacuation de la piste faisant l'objet des mesures. Cette évacuation devra se faire en empruntant la bretelle la plus proche et en se plaçant impérativement au-delà des points d'arrêts.

## 2.2. Mesure sur l'axe

La mesure au niveau de l'axe de la piste est importante car cet axe représente la position (au moins théorique) de l'atterrisseur de nez de l'avion au roulage. Cet atterrisseur de nez



se trouvant, la plupart du temps, juste en dessous du poste de pilotage, les sollicitations verticales auquel ce train va être soumis vont se répercuter directement au niveau du poste.

Cependant, cette mesure est, la plupart du temps, compliquée par la présence du balisage lumineux de cet axe. Il se matérialise par la distribution régulière (fonction de la catégorie de la plate-forme) de « plots » de 1 à 2,5 cm ancrés dans la chaussée. Il est important de pratiquer, autant que faire se peut, la mesure sur l'axe en évitant de faire passer les dispositifs de mesure sur ce balisage lumineux. Cela pourra se faire la plupart du temps en plaçant les dispositifs bi-trace de part et d'autre de ces balises ou en se plaçant à une distance (la plus faible possible) de cet axe. Pour les appareils monotrace, il conviendra de décaler légèrement la trace de mesure de l'axe de la chaussée.

## ■ ANNEXE AM4-2

### LOCALISATION DES RELEVÉS DE PROFILS

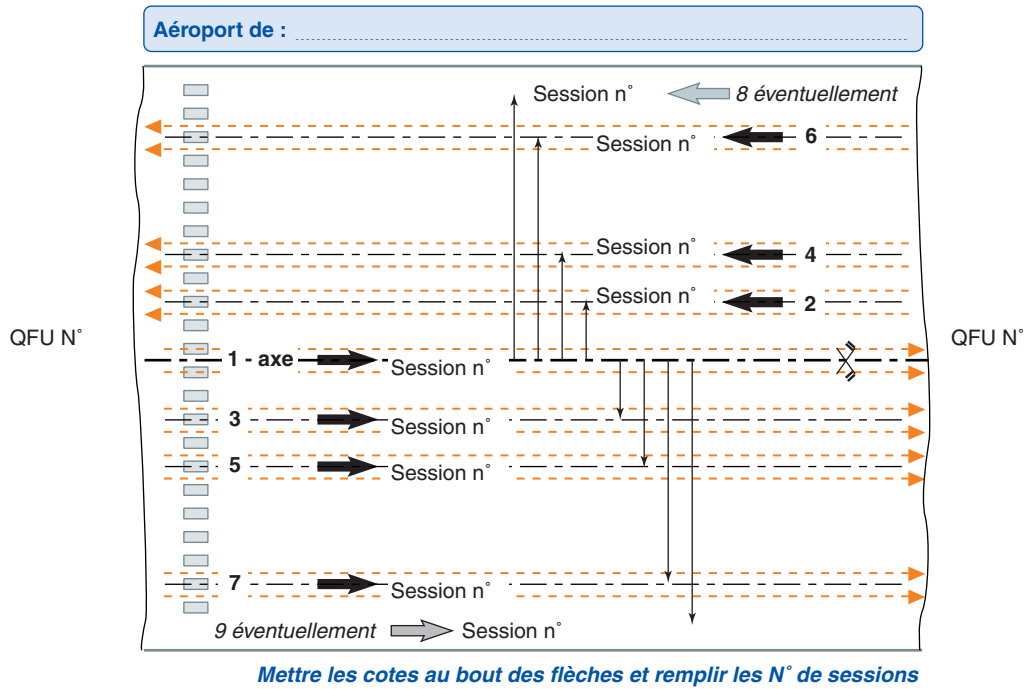


Figure AM4-2-1

Modèle de schéma de positionnement transversal des profils relevés  
(à renseigner et à joindre au procès-verbal d'essai).

Document publié par le LCPC sous le numéro C1502543  
Conception et réalisation LCPC-DISTC, Marie-Christine Pautré  
Infographie LCPC-DISTC, Philippe Caquelard  
Impression Jouve N°  
Dépôt légal 3e trimestre 2009



La méthode n°46 version 2 met à jour la version existante et offre trois nouveaux modules. Elle comprend un module général et cinq modules spécifiques répondant à différents domaines d'applications :

- Module général : Mesure de l'uni longitudinal des chaussées routières et aéronautiques
- Module 1 : Vérification de la conformité de la couche de roulement des chaussées routières
- Module 2 : Contribution à l'évaluation de l'état des chaussées à fort trafic
- Module 3 : Contribution à l'évaluation des besoins en reprofilage
- Module 4 : Vérification de la conformité de la couche de roulement des chaussées aéronautiques
- Module 5 : Expertise, diagnostic, aide à la décision

The method #46 version 2 updates the existing version and offers 3 new volumes. It includes a general and five specific volumes facing various areas of application:

- General volume : Measure of longitudinal unevenness of the roadways and the airfield pavements
- Volume 1: Checking of the conformity of the wearing course of the roadways
- Volume 2: Contribution to the evaluation of the state of the roadways under heavy traffic
- Volume 3: Contribution to the requirement assessment in reshaping
- Volume 4: Checking of the conformity of the wearing course of the airfield pavements
- Volume 5: Assessment, diagnosis, decision-making aid