




NOTE D'INFORMATION

CHAUSSEES
DEPENDANCES

76

Auteur : Groupe national "Caractéristiques de surface des chaussées"

Editeur : 

L'UNI LONGITUDINAL DES CHAUSSÉES

Juin 1993

La présente note a pour but de :

- *rappeler les principales notions relatives à l'uni,*
- *expliciter les particularités du profil relevé par l'analyseur de profil en long (APL),*
- *rappeler la définition des deux index utilisés en France : le CAPL 25 et les notes par bandes d'ondes (NBO),*
- *présenter les évolutions métrologiques récentes de l'analyseur de profil en long,*
- *expliquer les procédures d'attestation de conformité LCPC,*
- *décrire le mode de traitement des contestations de mesure,*
- *rappeler le texte en vigueur pour le contrôle de l'uni des chaussées.*

UNI ET QUALITE D'USAGE DE LA ROUTE

Une chaussée présente des irrégularités géométriques de surface qui sont des écarts par rapport au profil de référence défini par le projeteur (fig. 1).



Fig. 1

Les irrégularités longitudinales de longueurs d'ondes comprises entre 0,7 et 45 m appartiennent au domaine de l'uni.

Ces irrégularités ont un effet important (cf. annexe) :

► **sur les qualités d'usage :**

• **le confort du conducteur et des passagers :**

- désagrément dû aux oscillations de la caisse créées principalement par les grandes longueurs d'ondes (tableau 1),

- désagrément dû aux vibrations du volant et du plancher créées principalement par les courtes longueurs d'ondes (tableau 1),

• **la sécurité :**

Les défauts d'uni contribuent à favoriser le risque d'accidents lorsque les sollicitations dynamiques appliquées aux véhicules en freinage ou en accélération transversale sont anormalement élevées.

Bien que la correspondance ne soit pas parfaite, on peut exprimer les tendances selon les gammes de longueur d'onde :

- petites ondes : incidences des défauts d'uni sur la sécurité dans certaines configurations (courbes, carrefours, zones de dépassement, de rabattement ou de ralentissement) ;
- moyennes ondes : incidences possibles sur la sécurité dans certains cas et notamment lorsque les vitesses pratiquées sont élevées ;
- grandes ondes : pas d'incidence notable des défauts d'uni sur la sécurité.

Il faut noter qu'une amélioration importante et continue de l'uni longitudinal dans le domaine des gran-

des ondes favorise les vitesses élevées ; cette qualité technique générale n'est donc recherchée que si l'infrastructure dans son ensemble est conçue en tenant compte des conséquences comportementales (vitesse).

• **le coût de fonctionnement des véhicules :**

- augmentation de la consommation due aux ondulations de grandes longueurs d'ondes (dimension supérieure à l'empattement du véhicule),
- augmentation de la consommation pour compenser l'énergie absorbée par la suspension (effet des courtes longueurs d'ondes, cf. annexe),
- incidence sur l'usure des véhicules et la fréquence des réparations.

► **sur les surcharges dynamiques des poids lourds**

Le délestage dynamique des poids lourds provoque des surcharges importantes qui réduisent la durée de vie de la structure de chaussée.

Il résulte de ces effets que l'amplitude des défauts d'uni "acceptable" dépendra de la vitesse, de la gamme de longueur d'onde, du type de véhicule et de la longueur des parcours : c'est pourquoi on est plus exigeant pour une autoroute.

MESURE DE L'UNI ET LES INDEX UTILISES EN FRANCE

En France on classe l'uni dans trois domaines de longueur d'onde (tableau 1) :

Petites ondes (P.O.)	Moyennes ondes (M.O.)	Grandes ondes (G.O.)
0,7 à 2,8 m	2,8 à 11,3 m	11,3 à 45 m

Tableau 1

L'appareil utilisé en France est l'analyseur de profil en long (APL) (fig. 2) en mono ou en bitrace, en mode monofonction ou en mode multifonction (appareil SIRANO).

L'APL relève l'écart altimétrique entre le profil de la chaussée et un profil moyen virtuel défini par une référence, qui est un pendule.



Fig. 2

En monotrace, la mesure est effectuée dans l'axe de la voie de circulation (entre bandes de roulement).

L'APL fournit une "image" (le pseudo-profil) plus ou moins détaillée du profil en long de la route à partir de laquelle on calcule les indices.

Les figures 3 et 4, déterminées à partir d'un modèle mathématique qui simule la réponse "APL" au profil de la chaussée, montrent que :

- la mesure à 20 m/s suit bien les grandes ondulations du profil,

- la mesure à 6 m/s suit les ondulations plus courtes,
- les deux pseudo profils ne sont pas semblables.

L'interprétation des pseudo-profil pour la localisation des défauts demande une certaine expérience.

Deux vitesses d'auscultation sont pratiquées en France (tableau 2), l'une (6 m/s) plus généralement utilisée pour le contrôle de réception des couches de chaussées (mode de travail appelé jusqu'alors APL 25), l'autre (20 m/s) pour le suivi du réseau national (ancien mode APL 72) :

Vitesse d'auscultation	Gammes d'ondes détectées	Index calculé à partir du profil	Algorithme
6 m/s (21,6 km/h) à ± 5 %	0,3 à 15 m	CAPL 25 (Index sur 25 m)	Proportionnel à l'amplitude moyenne
20 m/s (72 km/h) à ± 5 %	0,7 à 50 m	Energies et notes par bandes d'ondes (NBO) petites moyennes grandes	Energie par 200 m et note de qualité calculée à partir de l'énergie

Tableau 2

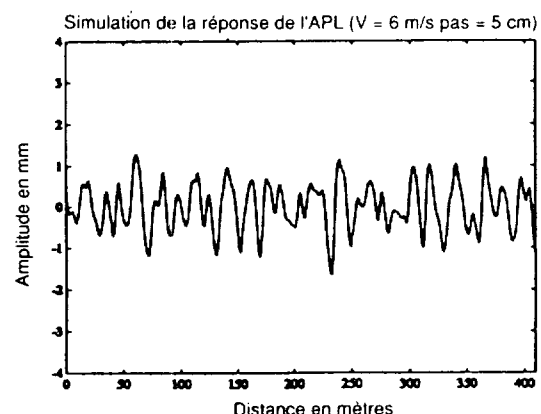
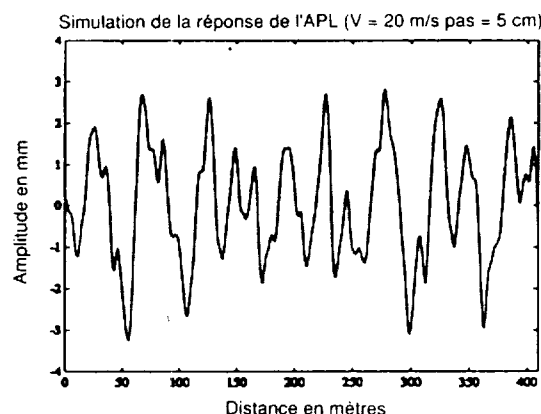
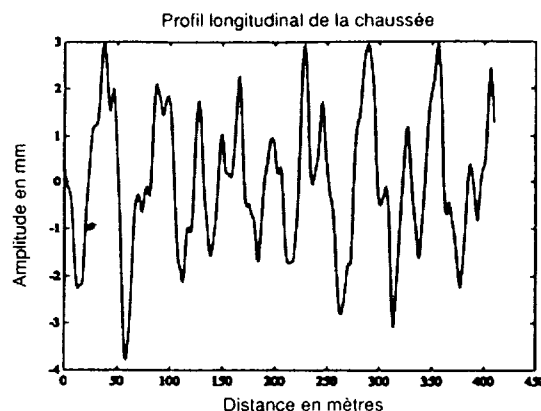


Fig. 3 - Résultats avec simulation mathématique

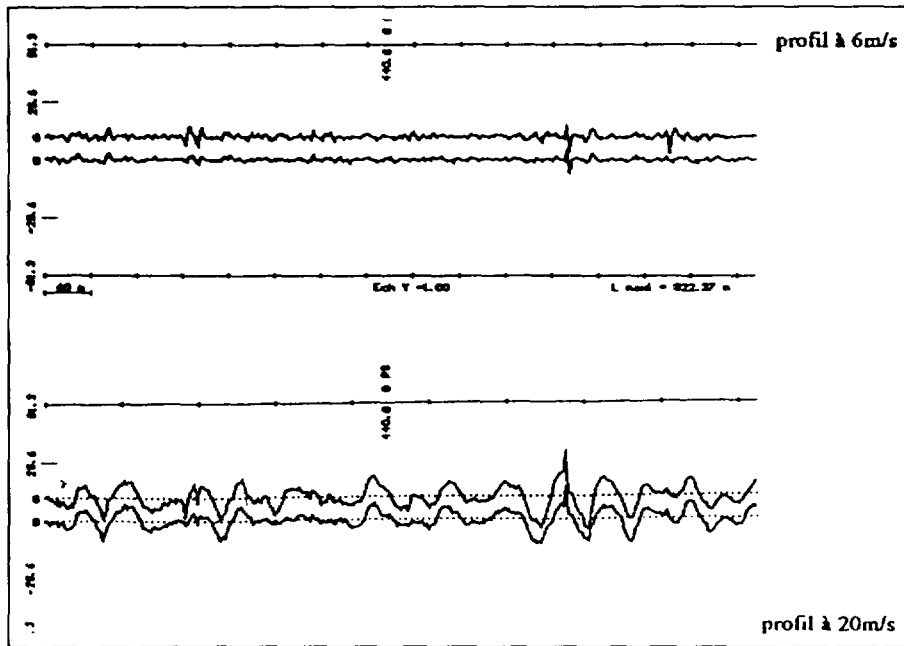
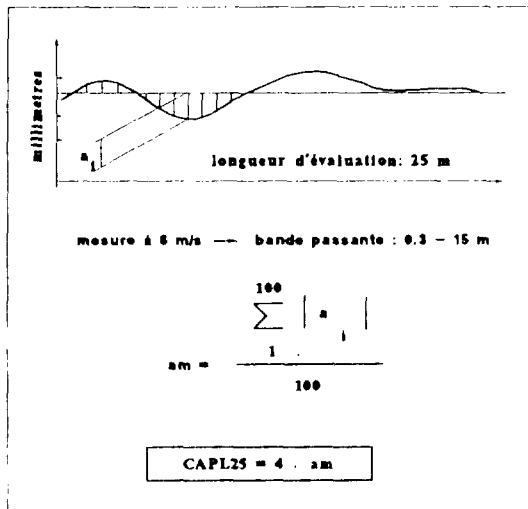


Fig. 4 - Mesures vraies

Les schémas ci-après décrivent la méthode de calcul du CAPL 25 et des notes par bandes d'ondes (NBO) (cf. glossaire).



Rappelons que plus le CAPL 25 est élevé plus la chaussée est déformée :

CAPL 25 = 4 correspond à un bon uni

CAPL 25 = 13 correspond à un mauvais uni.

A l'inverse les notes NBO données sur 200 m sont des notes de qualité (comme à l'école) graduées en valeur entière de 1 mauvais à 10 bon.

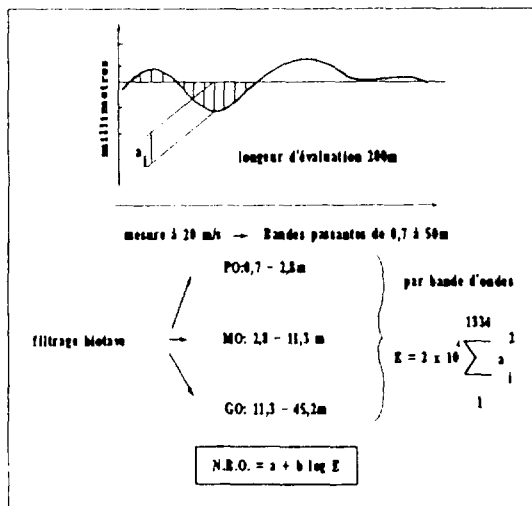
L'EVOLUTION METROLOGIQUE DE L'ANALYSEUR DE PROFIL EN LONG (APL)

Avant 1989, deux versions de l'analyseur de profil en long étaient opérationnelles :

- l'APL 25 (monotrace),
- l'APL 72 (bitrace).

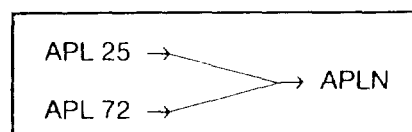
Ces deux appareils utilisaient la même remorque APL mais différaient sur le traitement analogique du profil relevé.

L'APL 25 était utilisé pour le contrôle des chantiers : il est décrit dans le mode opératoire n° 5 associé à la circulaire n° 84-50 de la Direction des Routes de mars 1984. L'APL 72 était utilisé pour l'auscultation à grand rendement des chaussées.



► L'APL numérique (APLN)

← 1989 →



Deux raisons principales ont conduit à cette nouvelle version de l'APL :

- 1 - l'intérêt de l'unicité de l'équipement

2 - la souplesse offerte par le traitement numérique utile pour :

- l'étalonnage et la calibration,
- l'alignement métrologique des APLN,
- le dépannage,
- le calcul des index,
- l'échange de matériel (des remorques).

L'APLN sépare clairement la fonction de saisie du profil APL de la chaussée et le calcul des index à partir de ce profil de chaussée numérisé.

► L'attestation de conformité LCPC

Les problèmes de continuité et la nécessité d'assurer l'alignement des 16 APLN des LRPC ont conduit le LCPC à concevoir une procédure qui aboutit à la remise d'une attestation de conformité LCPC.

Cette procédure est la suivante :

a) tous les deux ans ou 50 000 km parcourus : contrôle métrologique de la remorque APL sur le banc du LCPC et test sur route,

b) chaque année, tous les appareils (y compris SIRANO), participent à des essais croisés sur des sections d'uni variable. Ces essais permettent de vérifier le bon alignement des appareils et de contrôler les incertitudes de répétabilité et de reproductibilité pour les deux prestations (CAPL 25 et NBO).

A la fin des essais croisés, une attestation de conformité LCPC est remise à chaque équipe avec le dossier de résultats des essais croisés.

Pour compléter cette procédure, chaque équipe doit effectuer tous les deux mois au moins, une mesure sur une section test qu'elle a choisie : c'est un contrôle interne.

Ce contrôle interne s'impose aussi lorsque le résultat d'une mesure conduit au refus d'un chantier.

• Précision de la mesure

a) précision pour le CAPL 25 :

Les essais croisés ont permis de définir les incertitudes de mesures suivantes :

- écart type au plus de 2 % en répétabilité (un appareil) sur la distribution des histogrammes cumulés,
- écart type au plus de 3 % en reproductibilité (plusieurs appareils) sur la distribution histogrammes cumulés (fig. 5).

En conséquence, on admet une tolérance de 3 % pour le contrôle des travaux, et ce pour chaque pourcentage passant.

b) Précision pour les notes par bandes d'ondes (NBO) :

Les essais croisés ont permis de définir les incertitudes de mesures suivantes :

- écart au plus égal à ± 1 en répétabilité et reproductibilité.

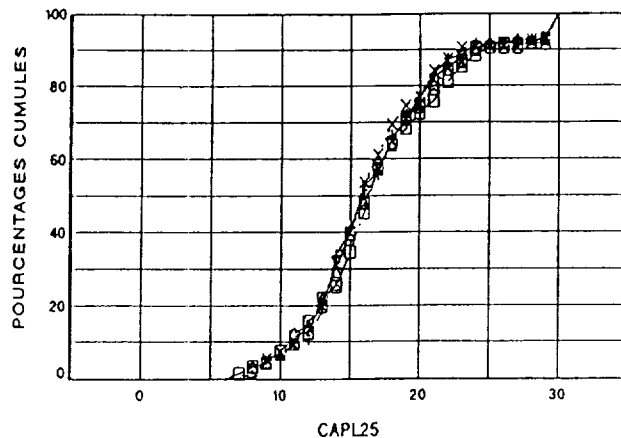


Fig. 5 : Reproductibilité entre APLN

On admet donc une tolérance de ± 1 point sur les résultats de mesure.

• Modifications par rapport aux versions analogiques :

Quelques modifications ont été introduites pour le calcul des deux index utilisés en France.

a) Pour le CAPL 25, l'arrondi en valeur entière défini dans le mode opératoire n° 5 associé à la circulaire de mars 1984, a été modifié :

- avant 4,9 et 4,3 étaient arrondis à 4 et appartenaient à l'intervalle 4 inclus et 5 exclu,
- maintenant 4,9 et 4,3 appartiennent respectivement :
 - à la classe 4,5 inclus et 5,5 exclu
 - et à la classe 3,5 inclus et 4,5 exclu.

Cette procédure a introduit un décalage d'une classe dont l'effet a été réduit par un filtrage numérique avant traitement.

b) Notes par bandes d'ondes (NBO) :

Le filtrage du signal APL en bandes d'ondes se réfère à présent aux normes internationales utilisées en traitement du signal (normes ISO).

Les notes par bandes d'ondes (NBO) remplacent dorénavant les anciennes notes "APL 72" (tableau 3).

	Bornes des bandes d'ondes APL 72	Bornes des bandes d'ondes NBO
Grandes ondes	13 à 40 m	11,3 à 45 m (Octave 16 et 32 m)
Moyennes ondes	3,3 à 13 m	2,8 à 11,3 m (Octave 4 et 8 m)
Petites ondes	1 à 3,3 m	0,7 à 2,8 m (Octave 1 et 2 m)

Tableau 3

La continuité a été assurée en modifiant les lois de conversion énergie → note. Ces lois ont été calées à partir d'une importante campagne de mesure avec l'APL 72 et les APLN.

► **Le traitement des contestations des mesures par rapport aux exigences du marché**

La procédure est définie sur la figure 6

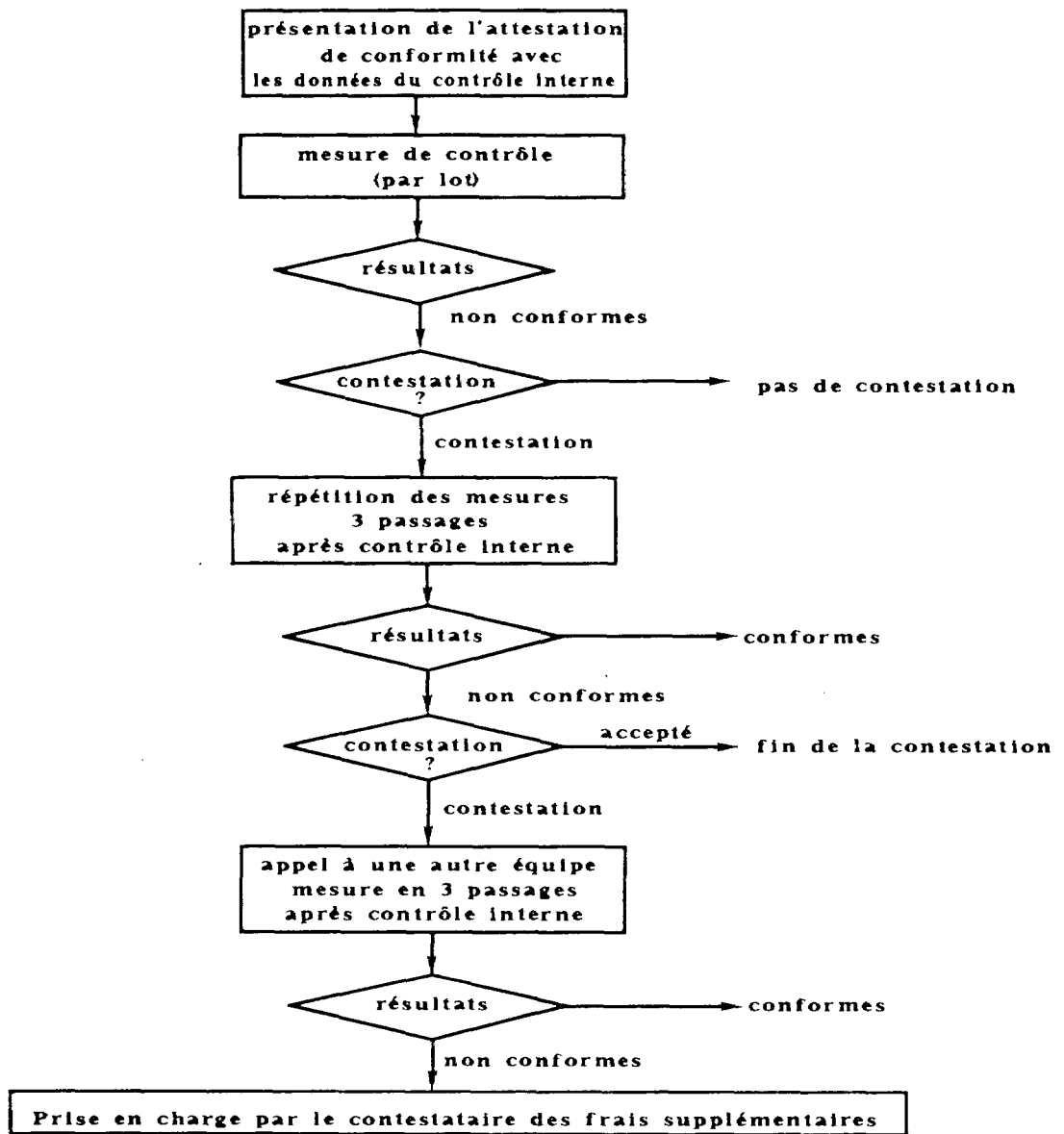


Fig. 6

RAPPEL DU TEXTE EN VIGUEUR

C'est la circulaire n° 84-50 de la Direction des Routes de mars 1984 intitulée "Contrôle de l'uni longitudinal des travaux de chaussées".

Cette circulaire, élaborée dans le cadre d'une concertation Administration-Profession, est essentiellement axée sur l'APL 25 (appareil analogique).

Le critère des spécifications est l'histogramme cumulé des CAPL 25 par tronçon de 1 000 m.

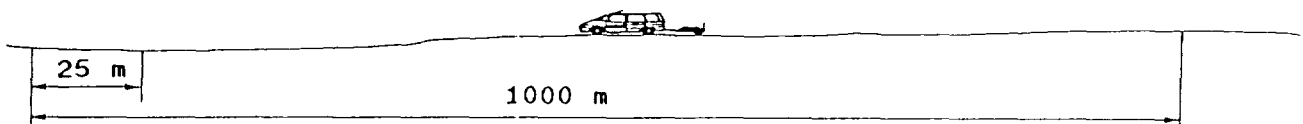


Fig. 7

L'histogramme cumulé est comparé à un histogramme de référence passant par des points définis dans la circulaire. Ces histogrammes sont donnés en figure 8. En figure 9 on a présenté l'histogramme

cumulé d'un tronçon de chaussée accepté selon les critères définis pour le réseau national et refusé en chaussée autoroutière.

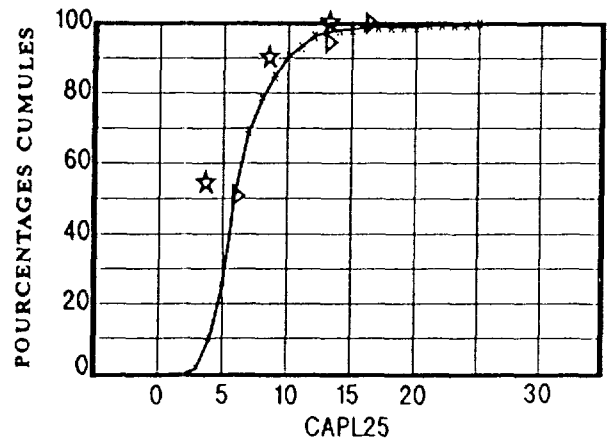
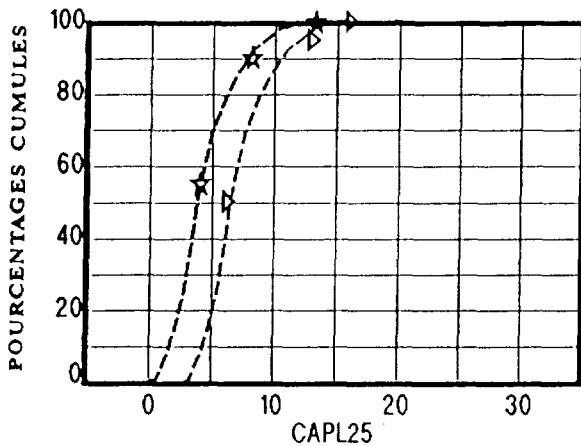


Fig. 8

☆ autoroutes
▷ routes nationales

Fig. 9

Pour les travaux neufs et renforcements en rase campagne (deux couches au moins mises en œuvre : base + roulement), quelle que soit la structure de la chaussée, les pourcentages minimaux de valeurs qu'il convient d'obtenir aux différents seuils CAPL 25, pour les couches de roulement, sont les suivants :

- 95 % des valeurs CAPL 25 \leq 8
- 100 % des valeurs CAPL 25 \leq 13

Pourcentages minimaux des mesures par type de route	Seuils des CAPL				
	≤ 4	≤ 6	≤ 8	≤ 13	≤ 16
Autoroutes	55 %		90 %	100 %	
Routes nationales		50 %		95 %	100 %

Ces valeurs, plus contraignante que celles du contrôle par lots de 1 000 m n'ont de sens que dans le cadre d'un démarche progressive qui commence par le suivi de l'uni dès la couche de forme.

La circulaire rappelle que, si le chantier est inférieur à 1 000 m, on vérifie qu'aucune valeur n'est supérieure à 13 ou 16 selon le type de chaussée.

Pour les travaux neufs autoroutiers ou assimilés, dans le cas où le découpage par lot n'est pas appliqué, on peut utiliser une méthode plus globale d'appréciation de l'uni qui consiste en un contrôle couche par couche sur la totalité du chantier et pour chaque voie de circulation. Les spécifications sur la couche de roulement sont alors les suivantes :

En outre, pour les chaussées d'autoroute, un contrôle complémentaire est souvent effectué en NBO pour pouvoir mieux apprécier les grandes et petites ondes. Les valeurs couramment fixées sont :

- 75 % des valeurs CAPL 25 \leq 4

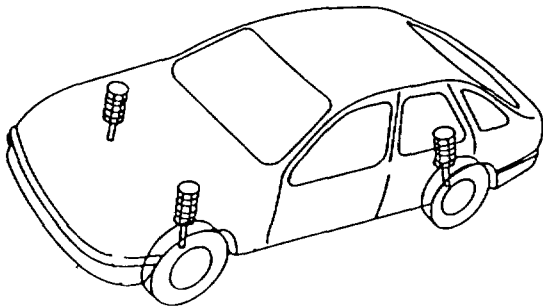
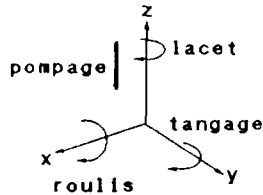
- Note grandes ondes (NGO) = 9
- Note moyennes ondes (NMO) = 8
- Note petites ondes (NPO) = 7

Ces mesures étaient effectuées jusqu'en 1991 avec l'APL 72 du LRPC de Trappes. Cette prestation est effectuée maintenant, exclusivement, avec les APL numériques.

*
**

ANNEXE

Éléments de dynamique du véhicule léger

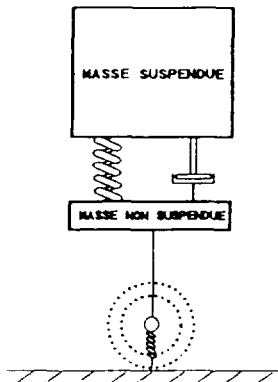


Le mouvement du véhicule se fait selon les trois axes x, y et Z.

Les défauts de planéité de la route dans le domaine de l'uni sont responsables des mouvements de pompage, de tangage et de roulis, affectant la sécurité, le confort et la consommation du véhicule. Pour expliquer les mouvements verticaux, largement dominants, sur les chaussées de bonne qualité, on a recours au modèle dit du quart de véhicule (figure ci-après).

La masse suspendue est la caisse du véhicule et la masse non suspendue est la roue. Les deux masses sont connectées par un ressort correspondant à la suspension du véhicule.

Bien entendu, ce schéma simplifie énormément le système dynamique du véhicule ; il permet de mettre en évidence les deux fréquences de résonance des mesures suspendues et non suspendues, soit :

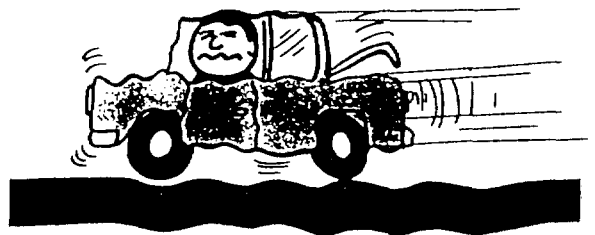


1 à 1.5 Hz pour les mouvements de caisse

10 à 12 Hz pour le mouvement de roues

*
**

Coïncidence spatiale et fréquentielle :



Prenons l'exemple d'un véhicule qui se déplace à 20 m/s sur une route "tôle ondulée" avec des ondulations périodiques de 1 m :

la fréquence d'excitation sera de 20 Hz

$$\text{soit } f = \frac{\text{vitesse}}{\text{longueur d'onde des ondulations}}$$

Avec cette formule on construit le tableau ci-après :

Vitesse	Longueur d'onde en coïncidence avec le mouvement de caisse (confort 1 à 1.5 Hz)	Longueur d'onde en coïncidence avec le mouvement de roue (10 - 12 Hz)
36 m/s (≈ 130 km/h)	24 m → 36 m	3 m → 3,6 m
25 m/s (≈ 90 km/h)	16,5 m → 25 m	2 m → 2,5 m
14 m/s (≈ 50 km/h)	9 m → 14 m	1,2 m → 1,4 m

GLOSSAIRE

CAPL 25

C'est un indice proportionnel à la partie entière de la moyenne des valeurs absolues des écarts entre les amplitudes des dénivellations de la chaussée par rapport à la référence inertielle du pendule (circulaire n° 84-50 méthode d'essai, n° 5, p. 21).

Notes par bandes d'ondes (NBO)

C'est une note comprise entre 1 et 10 déterminée par transformation logarithmique des "énergies NBO" contenues dans les bandes de bioctave (1-2 m), (4-8 m), (16-32 m).

Filtre d'octave

Il s'agit de filtres normalisés :

- l'octave de référence est un filtre dont la longueur d'onde centrale est de 1 m. Les longueurs d'ondes centrales des différents filtres consécutifs sont dans un rapport de 2.

Le tableau ci-après définit les filtres d'octave utilisés pour l'uni longitudinal des chaussées.

Octave	Limite basse	Limite haute
1 m	0,70 m	1,41 m
2 m	1,41 m	2,82 m
4 m	2,82 m	5,6 m
8 m	5,66 m	11,31 m
16 m	11,31 m	22,62 m
32 m	22,62 m	45,25 m

Filtre de bioctave

Désignation	bi octaves	coupure basse	coupure haute
Petites ondes	1 et 2 m	0,70 m	2,82 m
Moyennes ondes	4 et 8 m	2,82 m	11,31 m
Grandes ondes	16 et 32 m	11,31 m	45,24 m

Les filtres de bioctave utilisés dans la notation NBO ont les spécifications suivantes :

Analyseur de profil en long numérique (APLN)

C'est la dernière version de l'analyseur de profil en long (APL), développé depuis plus de vingt ans par le LCPC. Le traitement des informations relevées par les deux capteurs de déplacement (APLN en bitrace) est entièrement numérique (utilisation de microprocesseurs).

REDACTEURS :

Yves DELANNE
Pierre DUPONT
Jean-Paul MICHAUT

LCPC
SETRA
COLAS

et les membres du sous-groupe UNI du Groupe national "Caractéristiques de surface des chaussées" :

M. COUSSIN
M. BAUDUIN
M. CHAUMONT
M. MEUNIER
M. GUIDOUX
M. PARIAT
M. BONTE
M. RIOU
M. CAROFF
Mme GALENNE

SPETRF
SCREG
EJL
BEUGNET
SETRA
LRPC Autun
LRPC Lille
DDE Seine-et-Marne
SCETAUROUTE
LCPC

Cette note a été rédigée par :

Les membres du sous-groupe UNI du Groupe national "Caractéristiques de surface des chaussées" (voir ci-dessus)

S.E.T.R.A., 46, Avenue Aristide-Briand, 92223 BAGNEUX - France
☎ (1) 46 11 31 31 - Télécopie (1) 46 11 31 69 - (1) 46 11 34 00

Renseignements techniques : P. DUPONT - S.E.T.R.A. - C.S.T.R. - ☎ (1) 46 11 34 07

Bureau de vente : ☎ (1) 46 11 31 55 - (1) 46 11 31 53 - Référence du document : **D9309**

Classification thématique au catalogue des publications du SETRA : **D03**

AVERTISSEMENT :

Cette série de documents est destinée à fournir une information rapide. La contrepartie de cette rapidité est le risque d'erreur et la non exhaustivité. Ce document ne peut engager la responsabilité de son auteur ni de l'administration.

Les sociétés citées le cas échéant dans cette série le sont à titre d'exemple d'application jugé nécessaire à la bonne compréhension du texte et à sa mise en pratique.

ISSN 1152-2844