

Laboratoire
Central
des Ponts
et Chaussées

**techniques et méthodes
des laboratoires des ponts et chaussées**

Méthode d'essai N°49



**Mesure et interprétation
du profil en travers**

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

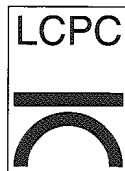
www.ifsttar.fr



Mesure et interprétation du profil en travers

Méthode d'essai n° 49

Septembre 2001



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

Cette méthode a été rédigée par MM. Ph. LEPERT et J.-M. MARTIN, sur la base d'un travail réalisé par un groupe comprenant, outre les auteurs :

MIM. BERTRAND (LRPC Lyon), BOUTREUX (LRPC Angers), GOUX (SETRA), GRISELIN (LRPC Angers), GUILLEMIN (LCPC Nantes), PAILLARD (LRPC Autun), ROBERT (LRPC Saint-Brieuc), SIFFERT (Centre coordonnateur de Trappes).

Ce document est disponible au :

**Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
IST-Diffusion**

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 : 120 F - 18,30 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).

© 2001 - LCPC ISBN 2-7208-3405-8

Sommaire

Introduction7

A Indications générales9

Objet de la méthode9

Domaine d'application - Contextes9

Appareillages9

Appareils utilisables pour la mesure du profil en travers9

Domaines d'emploi des appareils11

Formation des personnels11

Contenu des modes opératoires12

Domaine d'application du mode opératoire12

Paramètres mesurés12

Exécution de la mesure12

Interprétation et présentation des résultats12

Sécurité des équipes12

Références bibliographiques13

B Modes opératoires15

MODE OPÉRATOIRE T115

Domaine d'application	15
Paramètres mesurés	15
Exécution de la mesure	16
<i>Appareillages</i>	16
<i>Conditions de mesure</i>	16
<i>Préparation de la mesure</i>	16
Interprétation et présentation des résultats	16
Sécurité des équipes	18
<i>Signalisation du véhicule</i>	18
<i>Signalisation du personnel</i>	18
<i>Protection de l'ensemble de mesure</i>	18

MODE OPÉRATOIRE T219

Domaine d'application	19
Paramètres mesurés	19
Exécution de la mesure	19
<i>Appareillages</i>	19
<i>Conditions de mesure</i>	20
<i>Préparation de la mesure</i>	20
Interprétation et présentation des résultats	20
Sécurité des équipes	20
<i>Signalisation du véhicule</i>	20
<i>Signalisation du personnel</i>	20
<i>Protection de l'ensemble de mesure</i>	20

MODE OPÉRATOIRE T3	23
Domaine d'application	23
Paramètres mesurés	23
Exécution de la mesure	23
<i>Appareillages</i>	23
<i>Conditions de mesure</i>	23
<i>Préparation de la mesure</i>	24
Interprétation et présentation des résultats	24
Sécurité des équipes	24
<i>Signalisation du véhicule</i>	24
<i>Signalisation du personnel</i>	24
<i>Protection de l'ensemble de mesure</i>	27

C Annexes

ANNEXE I - DÉFINITIONS	29
Termes routiers généraux	29
Paramètres caractérisant le profil en travers	30
<i>Définitions physiques</i>	30
<i>Définitions mathématiques conventionnelles</i>	31
ANNEXE II - ESSAI DE RÉFÉRENCE	35
Appareil de référence	35
Procédure de référence	35
Algorithme de référence	36
Performances de l'essai de référence	39

**ANNEXE III - LES APPAREILLAGES
ET LEUR MISE EN ŒUVRE41**

Les transversoprofilomètres discontinus statiques41
Les transversoprofilomètres continus statiques41
Les transversoprofilomètres continus dynamiques41
Les transversoprofilomètres discontinus dynamiques41

**ANNEXE IV - MÉTHODE DE CALCUL
DE L'ÉCART DE JUSTESSE
ET DE L'ÉCART-TYPE DE RÉPÉTABILITÉ45**

Calcul de l'écart de justesse45
Calcul de l'écart-type de répétabilité45

Introduction

*L*a connaissance des déformations du profil transversal des chaussées est l'un des indicateurs importants pour l'appréciation de la qualité d'usage des chaussées, en terme de sécurité et de confort de conduite, ainsi que de leur état structural. La caractérisation de ce profil est donc faite pratiquement à l'occasion de toutes les opérations d'auscultation, qu'elles soient motivées par des études d'entretien, de sécurité ou pour la réception de travaux. Le relevé de ces déformations figure dans les différents volets d'étude de la méthode d'essai LPC n° 38 « **Relevé des dégradations de surface des chaussées** ».

Pendant longtemps, les déformations du profil transversal ont été évaluées visuellement par des opérateurs se déplaçant à faible vitesse le long du tronçon de route à ausculter. Outre les questions de sécurité que pose ce mode de relevé, les informations obtenues étaient trop approximatives en regard de la précision que l'on recherche maintenant pour l'évaluation de l'état des chaussées et de leur évolution dans le temps.

Le réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées s'est préoccupé depuis longtemps de mettre au point une mesure des déformations transversales capable de se substituer au relevé visuel. Ainsi, une première version du profilomètre à laser (PALAS) a été produite à la fin des années 1980 pour équiper le véhicule multifonctions SIRANO. À partir du milieu des années 1990, la conception du transverso-profilomètre à ultra-sons (TUS), a permis de doter l'ensemble des Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées d'un équipement permettant le relevé à partir d'un véhicule inséré dans le flot de la circulation. À cela s'ajoute la qualification récente de la dernière version du profilomètre à laser Palas, en service au LRPC d'Autun, qui permet d'avoir une description continue du profil en travers sur toute la largeur d'une voie de circulation.

Depuis 1996, le relevé des déformations transversales a été remplacé par la mesure de ces déformations dans les grandes campagnes d'auscultation exécutées par les LPC, telle que l'opération « Image Qualité des Routes Nationales » (IQRN), ou les auscultations de réseaux routiers départementaux.

Alors que les relevés visuels se contentaient d'une évaluation sommaire de l'amplitude maximale de la déformation sur le profil en travers, le mesurage du profil à partir d'appareils tels que TUS ou Palas permet le calcul d'un ensemble d'indices descripteurs de l'allure de la déformation.

En cohérence avec les normes NF P 98-219 (1, 2, 3, 4), dont elle a alimenté la rédaction, la méthode d'essai LPC n° 49 apporte un cadre méthodologique pour la qualification et l'utilisation des appareils de mesure du profil transversal. Elle permet de standardiser les paramètres délivrés par ces appareils et, par là même, de mieux les exploiter dans les méthodes et logiciels d'aide à la gestion des réseaux routiers.

Jean-François Corté

Directeur technique
Chargé du domaine Routes
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

A Indications générales

OBJET DE LA MÉTHODE

La présente méthode définit la façon de mesurer le profil en travers d'une voie de chaussée, et d'interpréter cette mesure pour en extraire les valeurs des paramètres caractérisant ce profil.

DOMAINE D'APPLICATION - CONTEXTES

Les besoins en mesure de profil en travers et en identification des paramètres caractéristiques sont couverts par trois modes opératoires définis (TABLEAU 1), selon l'objectif de l'étude.

TABLEAU I
MODES OPÉRATOIRES [1]

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	MODES OPÉRATOIRES
Évaluation, Surveillance, Programmation d'entretien	T1
Diagnostic, Entretien, Point Zéro, Réception	T2
Suivi de section témoin	T3

APPAREILLAGES

Appareils utilisables pour la mesure du profil en travers

Différents appareils peuvent être utilisés pour mesurer le profil en travers d'une chaussée, qu'on regroupe en quatre grandes familles (*cf.* description en ANNEXE III, page 40) :

- les transversoprofilomètres discontinus statiques [2],
- les transversoprofilomètres continus statiques [3],

TABLEAU II
LIMITES DE JUSTESSE DE CHAQUE CLASSE DE TRANSVERSOPROFILOMÈTRE [1]

CRITÈRE	PARAMÈTRES	CLASSE I	CLASSE II
Écart de justesse par rapport à la référence (profil élémentaire)	Dévers	20 % de la valeur mesurée (mini 0,2 %)	10 % de la valeur mesurée (mini 0,1 %)
	Indices (Ip, Id, Io, Ia)	20 % de la valeur mesurée (mini 1 mm)	10 % de la valeur mesurée (mini 0,5 mm)
	Amplitudes (Dp, Dt, Da, Og, Od, Oc, Heg, Hed, He)	20 % de la valeur mesurée (mini 2 mm)	10 % de la valeur mesurée (mini 1 mm)

TABLEAU III
LIMITES DE RÉPÉTABILITÉ DE CHAQUE CLASSE DE TRANSVERSOPROFILOMÈTRE

CRITÈRES	PARAMÈTRES	CLASSE I	CLASSE II
Écart-type de répétabilité à l'arrêt sur profil individuel	Dévers	0,7 %	0,4 %
	Indices (Ip, Id, Io, Ia)	1 mm	0,5 mm
	Amplitudes (Dp, Dt, Da, Og, Od, Oc, Heg, Hed, He)	2 mm	1 mm
Écart-type de répétabilité en conditions dynamiques (valeurs agrégées sur sections ayant au moins 20 profils)	Valeurs maxi, mini, moyenne, caractéristiques d'indices	0,6 mm au niveau de 10 mm	0,3 mm au niveau de 10 mm
	Valeurs maxi, mini, moyenne, caractéristiques d'amplitudes	1 mm au niveau de 10 mm	0,6 mm au niveau de 10 mm
	Contenu des classes de gravité	10 % au niveau de 50 %	5 % au niveau de 50 %

TABLEAU IV
POPULATION MINIMALE POUR PROCÉDER AUX TESTS DE QUALIFICATION DES TRANSVERSOPROFILOMÈTRES

TYPES DE QUALIFICATION	TAILLES DE LA POPULATION
Vis-à-vis de la justesse en statique (valeurs brutes/profil)	50 profils individuels
Vis-à-vis de la justesse en dynamique (valeurs agrégées/tronçon)	5 tronçons comportant au moins 20 profils individuels
Vis-à-vis de la répétabilité en dynamique (valeurs agrégées/tronçon)	50 tronçons comportant au moins 20 profils individuels chacun, et répartis éventuellement en plusieurs sections (10 répétitions par tronçons)

- les transversoprofilomètres continus dynamiques (échantillonnage transversal inférieur ou égal à 50 mm) [4],
- les transversoprofilomètres discontinus dynamiques (échantillonnage transversal supérieur à 50 mm et inférieur ou égal à 250 mm) [5].

Les spécifications que doivent respecter ces appareils sont fonction de leur classe de précision. On définit deux classes de précision, selon :

- la justesse par rapport à l'essai de référence (cf. ANNEXE II, page 35),
- la répétabilité, tant intrinsèque, qu'en conditions d'essai.

Pour qu'un appareil soit qualifié dans l'une des deux classes, l'écart de justesse sur tous les paramètres qu'il délivre doit être inférieur aux limites indiquées (TABLEAU II). L'écart-type de répétabilité sur ces mêmes paramètres doit être inférieur aux limites précisées (TABLEAU III). Les écarts de justesse et les écart-types de répétabilité sont calculés selon les préconisations données par la norme ISO 5725 [6]. La méthode de calcul de ces écarts est décrite en ANNEXE IV (page 45).

Nota : La qualification d'un transversoprofilomètre doit être réalisée sur une population représentative (TABLEAU IV).

□ Domaines d'emploi des appareils

Les domaines d'emploi de chaque catégorie d'appareils sont résumés ci-après (TABLEAU V).

TABLEAU V
DOMAINES D'EMPLOI DES APPAREILS

FAMILLE D'APPAREILS	MODE OPÉRATOIRE			EXEMPLES D'APPAREILS
	T1	T2	T3	
Transversoprofilomètre continu statique, classe 2	■	□	■ ■	Wauquier
Transversoprofilomètre continu mobile, classe 2		■ ■	■ ■	PALAS [7]
Transversoprofilomètre discontinu mobile, classe 1	■ ■*	■ ■	■ ■	TUS [8]

* Hors études de sécurité d'itinéraire.

- □ Domaine d'application préférentiel de l'appareil.
- Utilisable.
- Utilisable sous réserve que la faisabilité soit démontrée.
- ■ Inapproprié.

FORMATION DES PERSONNELS

Les opérateurs doivent avoir une formation suffisante sur la présente méthode et sur la mise en œuvre des appareils.

CONTENU DES MODES OPÉRATOIRES

Domaine d'application du mode opératoire

Ce paragraphe précise le ou les types d'études pour lesquels le mode opératoire est conçu, et le type de route auquel il s'applique.

Paramètres mesurés

Ce paragraphe donne la liste des paramètres que la mesure doit produire, au terme de son interprétation, en distinguant le cas échéant, selon le type d'étude dans lequel s'inscrit la mesure.

Exécution de la mesure

Appareillages

Ce paragraphe indique les appareils utilisables pour la mesure, dans le cadre du mode opératoire, en précisant leur famille et leur classe de précision.

Conditions de la mesure

Ce paragraphe précise la ou les voies de mesure et le nombre de passages.

Préparation de la mesure

Ce paragraphe décrit la préparation du relevé qui doit comporter : le recueil des informations concernant la chaussée auprès du gestionnaire, le repérage des chaussées à relever, le découpage en sections et le repérage de ces sections.

Interprétation et présentation des résultats

Ce paragraphe précise :

- le pas et le mode d'agrégation des résultats,
- la structure du fichier informatique de présentation des résultats.

Il illustre sur un exemple, le mode de présentation des résultats.

Sécurité des équipes

Ce paragraphe rappelle les règles à respecter pour assurer la sécurité des personnes chargées de la mesure et des utilisateurs de la route et cela conformément au code de la route, à la norme EN 471, et aux prescriptions des documents [9, 10].

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Norme NF P 98 219-1, *Mesure du profil en travers d'une voie routière : définitions et classification.*
- [2] Norme NF P 98 219-5, *Mesure du profil en travers par déplacement d'une règle de 1,50 m.*
- [3] Norme NF P 98 219-4, *Mesure statique continue du profil en travers*
- [4] Norme NF P 98 219-2, *Mesure dynamique continue du profil en travers, par matérialisation de l'intersection d'un plan et de la surface de la chaussée.*
- [5] Norme NF P 98 219-3, *Mesure dynamique discontinue du profil en travers.*
- [6] Norme ISO 5725, *Exactitude des méthodes d'essais.*
- [7] *Mode opératoire du PALAS*, CECP Angers.
- [8] *Mode opératoire du TUS*, LCPC.
- [9] Fumet, *Signalisation temporaire - Manuel du chef de chantier, tomes 1 à 4.*
- [10] DR/DSCR - SETRA, *Exploitation sous chantier, les alternats - Guide technique.*

B Modes opératoires

Mode opératoire T1

DOMAINE D'APPLICATION

Le présent mode opératoire s'applique aux études d'évaluation et de surveillance de tout ou partie d'un réseau routier, ainsi qu'aux études de programmation des travaux d'entretien, vis-à-vis de la conservation de la chaussée ou vis-à-vis de la sécurité de l'utilisateur. À ce titre, il s'applique en particulier à toutes les routes et autoroutes de rase campagne.

PARAMÈTRES MESURÉS

À travers la mesure du profil en travers et son interprétation, ce mode opératoire vise à identifier les paramètres décrits ci-après (TABLEAU VI), dont les définitions physiques et mathématiques sont données en ANNEXE I, page 29.

TABLEAU VI
PARAMÈTRES MESURÉS POUR LE MODE OPÉRATOIRE T1

NATURE DU PARAMÈTRE	ÉVALUATION DE RÉSEAU	SURVEILLANCE DE RÉSEAU	PROGRAMMATION DES TRAVAUX D'ENTRETIEN
Dévers	d*		
Déplanéité	lp	lp	lp
Déformation totale	Dt, ld	ld	Dt
Orniérage	Oc, lo	lo	Oc
Autre déformation	Da, la	la	Da
Hauteur d'eau	He*	He*	He*

* Dans le cas d'études de sécurité d'itinéraire.

EXÉCUTION DE LA MESURE

Appareillages

Pour procéder à l'acquisition des déformations de la chaussée, il faut un transversoprofilomètre mobile (continu ou discontinu) avec un compteur de distance précis au millième. Ce transversoprofilomètre doit être au moins de classe 1 (TABLEAUX II ET III, page 10).

Conditions de mesure

L'acquisition se fait section après section, en un passage par voie, et conformément au mode opératoire du transversoprofilomètre utilisé. Au passage de chaque événement (PR, intersection, etc.), l'opérateur déclenche l'acquisition d'un code sur le support de saisie.

Préparation de la mesure

En phase préparatoire il est pris contact avec le service gestionnaire pour localiser le réseau à mesurer. Le réseau est ensuite découpé en sections identifiées par un point de départ (noté « PR + abscisse » de départ) et un point d'arrivée (noté « PR + abscisse » d'arrivée), et éventuellement, par des points singuliers (PR intermédiaires, intersections, ouvrages d'art, limites d'agglomérations, etc.). Tous ces éléments, repérés sur la chaussée, sont répertoriés par le service gestionnaire sur une carte.

INTERPRÉTATION ET PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Les paramètres identifiés sont agrégés par section de longueur prédéfinie. Cette longueur doit être suffisante pour qu'une section comporte au minimum 20 profils mesurés.

L'agrégation consiste à calculer, pour chaque paramètre, et sur chaque section, les 10 valeurs suivantes :

- valeur caractéristique à 97,5 %,
- moyenne et écart-type,
- valeurs mini, médian, maxi,
- répartition en deux à quatre classes, dont les seuils sont paramétrables.

Ces résultats sont enregistrés sur un fichier informatique dont chaque enregistrement représente une section et comporte 91 valeurs :

- le PR + abscisse du début de la section,
- les valeurs décrivant chacun des 9 paramètres (TABLEAU VI).

Ils peuvent être présentés sur un schéma itinéraire comportant les paramètres intéressants pour l'étude (FIG. 1 ET 2).

SÉCURITÉ DES ÉQUIPES

Le véhicule spécialisé, le véhicule de protection éventuel et le personnel doivent être équipés des dispositifs réglementaires en vigueur et notamment :

Signalisation du véhicule

Le véhicule est doté d'une signalisation par bandes biaises, par rampe lumineuse à cinq feux à éclats et deux gyrophares, ainsi que par un panneau AK5 à trois feux à éclats. Cette signalisation répond aux prescriptions des documents [9, 10].

Signalisation du personnel

Lors de leur séjour à l'extérieur du véhicule de mesure, les agents portent un gilet ou vêtement conforme au moins à la classe 2 de la norme EN 471.

Protection de l'ensemble de mesure

Il peut être demandé, sur des réseaux à forte circulation, de mettre en place soit une signalisation d'approche par le véhicule d'accompagnement soit une signalisation posée sur l'accotement. Le plan de signalisation sera défini, implanté et géré par le demandeur qui doit en outre faire prendre les arrêtés éventuels de restriction de circulation par les gestionnaires du réseau ausculté. La signalisation sera conforme aux fiches appropriées du manuel [9], en l'occurrence :

- ▶ Chaussées à **2 x 2** voies ou **plus** : Fiche n° CM 143 ou CM 144.
- ▶ Chaussées bidirectionnelles : Fiche n° CM 42 ou CM 44 ou CM 45 ou CM 46.

Ces équipements ne retirent en rien la responsabilité du gestionnaire de la route qui doit être informé des dates et itinéraires du relevé.

■ Mode opératoire T2

DOMAINE D'APPLICATION

Le présent mode opératoire s'applique aux études de diagnostic et d'entretien d'itinéraires, ainsi qu'aux études de point zéro et à la réception d'ouvrages routiers, tant vis-à-vis de la conservation de la chaussée que vis-à-vis de la sécurité de l'usager. À ce titre, il s'applique en particulier à toutes les routes et autoroutes de rase campagne.

PARAMÈTRES MESURÉS

À travers la mesure du profil en travers et son interprétation, ce mode opératoire vise à identifier les paramètres suivants (TABLEAU VII), dont les définitions physiques et mathématiques sont données en ANNEXE I (page 29).

TABLEAU VII
PARAMÈTRES MESURÉS POUR LE MODE OPÉRATOIRE T2

NATURE DU PARAMÈTRE	DIAGNOSTIC, ENTRETIEN	POINT ZÉRO	RÉCEPTION
Dévers	d	d	d
Déplanéité	Dp, lp	Dp, lp	Dp, lp
Déformation totale	Dt, ld	Dt, ld	
Orniérage	Og, Od, lo	Og, Od, lo	Oc
Autre déformation	Da, la	Da, la	
Hauteur d'eau	Heg, Hed	Heg, Hed	

EXÉCUTION DE LA MESURE

Appareillages

Pour procéder à l'acquisition des déformations de la chaussées, il faut un transversoprofilomètre mobile (continu ou discontinu) avec un compteur de distance précis au millièbre. Ce transversoprofilomètre doit être au moins de classe 2 (TABLEAUX II ET III, page 10).

Conditions de mesure

L'acquisition se fait section après section, en un passage par voie, et conformément au mode opératoire du transversoprofilomètre utilisé. Au passage de chaque événement (PR, intersection, etc.), l'opérateur déclenche l'acquisition d'un code sur le support de saisie.

Préparation de la mesure

En phase préparatoire il est pris contact avec le service gestionnaire pour localiser l'itinéraire à mesurer. L'itinéraire est ensuite découpé en sections identifiées par un point de départ (noté « PR + abscisse de départ ») et un point d'arrivée (noté « PR + abscisse » d'arrivée), et éventuellement, par des points singuliers (PR intermédiaires, intersections, ouvrages d'art, limites d'agglomérations, etc.). Tous ces éléments, repérés sur la chaussée, sont répertoriés par le service gestionnaire sur une carte.

INTERPRÉTATION ET PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Les paramètres sont enregistrés sur un fichier informatique dont chaque enregistrement représente un profil et comporte 14 valeurs :

- le PR + abscisse du profil,
- les valeurs des 13 paramètres (TABLEAU VII).

Ils peuvent être présentés en valeur brute sur un schéma itinéraire comportant les paramètres intéressants pour l'étude (FIG. 3 ET 4).

SÉCURITÉ DES ÉQUIPES

Le véhicule spécialisé et le véhicule de protection éventuel et le personnel doivent être équipés des dispositifs réglementaires en vigueur et notamment :

Signalisation du véhicule

Le véhicule est doté d'une signalisation par bandes biaises, par rampe lumineuse à cinq feux à éclats et deux gyrophares, ainsi que par un panneau AK5 à trois feux à éclats. Cette signalisation répond aux prescriptions des documents [9, 10].

Signalisation du personnel

Lors de leur séjour à l'extérieur du véhicule de mesure, les agents portent un gilet ou vêtement conforme au moins à la classe 2 de la norme EN 471.

Protection de l'ensemble de mesure

Il peut être demandé, sur des réseaux à forte circulation, de mettre en place soit une signalisation d'approche par le véhicule d'accompagnement soit une signalisation posée sur

FIGURE 3
EXEMPLE DE RESTITUTION EN MODE T2 (PARAMÈTRES BRUTS)

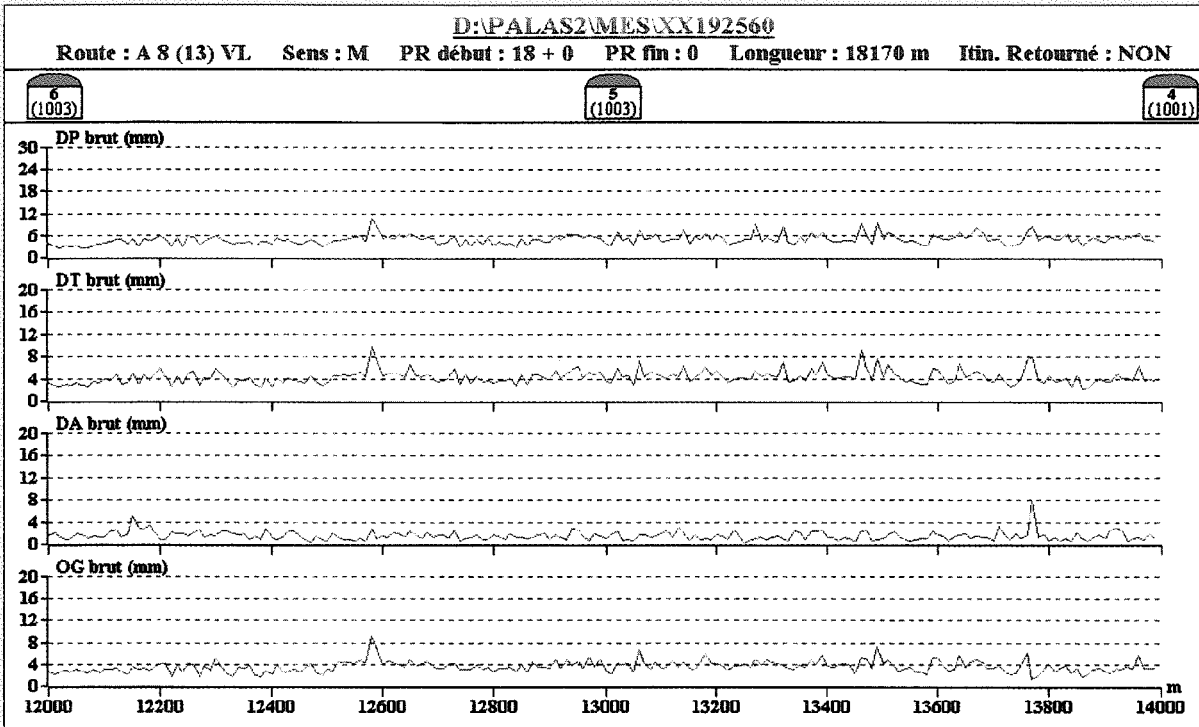
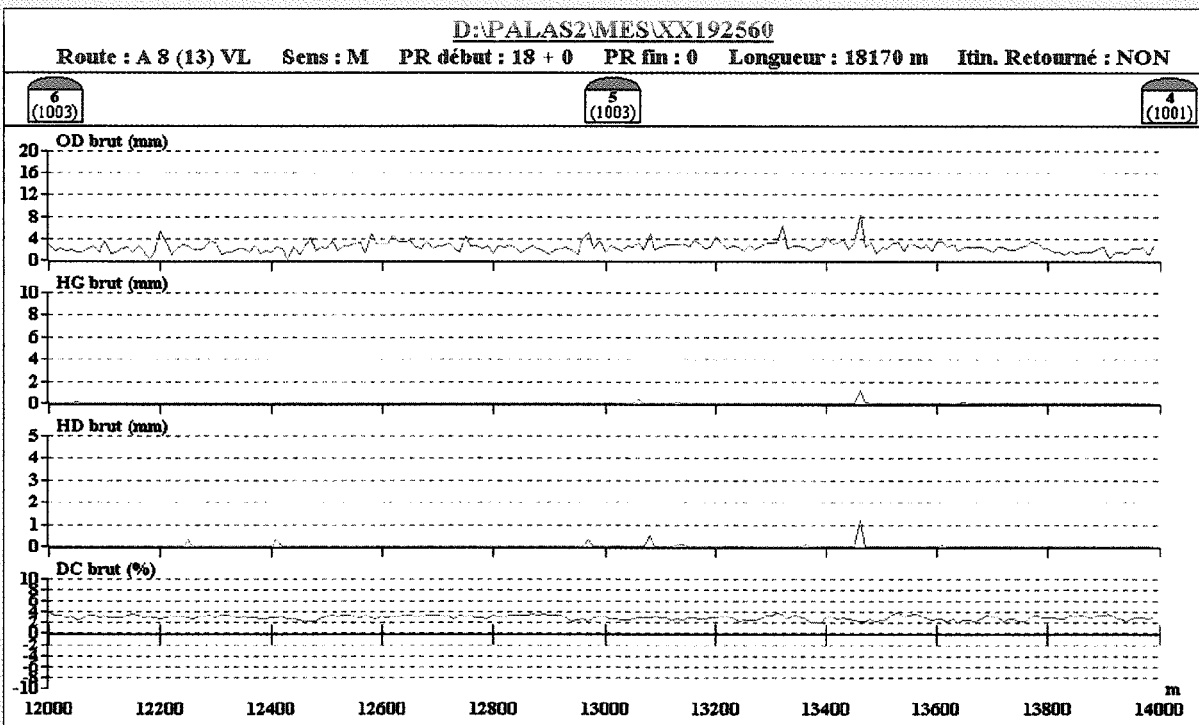


FIGURE 4
EXEMPLE DE RESTITUTION EN MODE T2 (AUTRES PARAMÈTRES BRUTS)



l'accotement. Le plan de signalisation sera défini, implanté et géré par le demandeur qui doit en outre faire prendre les arrêtés éventuels de restriction de circulation par les gestionnaires du réseau ausculté. La signalisation sera conforme aux fiches appropriées du manuel [9], en l'occurrence :

- **Chaussées à 2 x 2 voies ou plus** : Fiche n° CM 143 ou CM 144.
- **Chaussées bidirectionnelles** : Fiche n° CM 42 ou CM 44 ou CM 45 ou CM 46.

Ces équipements ne retirent en rien la responsabilité du gestionnaire de la route qui doit être informé des dates et itinéraires du relevé.

Mode opératoire T3

DOMAINE D'APPLICATION

Le présent mode opératoire s'applique aux études de suivi de l'évolution des caractéristiques de la chaussée d'une section témoin, tant vis-à-vis de la conservation de la chaussée que vis-à-vis de la sécurité de l'utilisateur.

PARAMÈTRES MESURÉS

À travers la mesure du profil en travers et son interprétation, ce mode opératoire vise à identifier les paramètres suivants, selon le type d'étude (TABLEAU VIII). (Les définitions sont données en ANNEXE I, page 29).

TABLEAU VIII
PARAMÈTRES MESURÉS POUR LE MODE OPÉRATOIRE T3

NATURE DU PARAMÈTRE	DIAGNOSTIC, ENTRETIEN
Profil	h_i (cotes tous les 10 mm)
Dévers	d
Déplanéité	D_p, I_p
Déformation totale	D_t, I_d
Orniérage	O_g, O_d, I_o
Autre déformation	D_a, I_a
Hauteur d'eau	H_{eg}, H_{ed}

EXÉCUTION DE LA MESURE

Appareillages

Pour procéder à l'acquisition des déformations de la chaussée, il faut un transversoprofilomètre statique ou mobile continu. Ce transversoprofilomètre doit être au moins de classe 2 (TABLEAUX II ET III, page 10).

Conditions de mesure

L'acquisition se fait en positionnant le transversoprofilomètre au droit de chaque profil marqué sur la section témoin, et conformément au mode opératoire du transversoprofilomètre

utilisé. Le numéro du profil est soigneusement saisi sur le support de saisie. Il est recommandé de saisir également la distance du profil au début de la section.

Préparation de la mesure

En phase préparatoire, il est pris contact avec le service gestionnaire pour :

- localiser la section témoin sur l'itinéraire par un point de départ noté « PR + abscisse » de début, et un point d'arrivée noté « PR + abscisse » de fin ;
- faire l'inventaire des travaux d'entretien réalisés depuis la mesure précédente.

Si c'est la première mesure, il faudra marquer sur la chaussée, avec deux repères fixes (pointes « split » par exemple), les profils en travers à mesurer. Si ce n'est pas la première mesure, il faudra se procurer les résultats des mesures précédentes, et renouveler éventuellement les marques sur la chaussée.

INTERPRÉTATION ET PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Les paramètres sont enregistrés sur un fichier informatique dont chaque enregistrement représente un profil et comporte les valeurs suivantes :

- le numéro du profil dans la section,
- le PR + abscisse du profil,
- les valeurs de tous les paramètres (TABLEAU VIII).

Les résultats sont présentés dans un rapport comportant autant de feuillet que de profils mesurés. Chaque feuillet représente un profil, et comporte la liste des paramètres calculés sur ce profil, conformément au TABLEAU VIII (les profils peuvent aussi être représentés en perspective sous forme de succession des profils). Les paramètres calculés sur chacun des profils peuvent être présentés en valeur brute sur un schéma itinéraire (FIG. 5, 6, 7 ET 8).

SÉCURITÉ DES ÉQUIPES

Le véhicule spécialisé, le véhicule de protection éventuel et le personnel doivent être équipés des dispositifs réglementaires en vigueur et notamment :

Signalisation du véhicule

Le véhicule est doté d'une signalisation par bandes biaises, par rampe lumineuse à cinq feux à éclats et deux gyrophares, ainsi que par un panneau AK5 à trois feux à éclats. Cette signalisation répond aux prescriptions des documents [9, 10].

Signalisation du personnel

Lors de leur séjour à l'extérieur du véhicule de mesure, les agents portent un gilet ou vêtement conforme au moins à la classe 2 de la norme EN 471.

FIGURE 5
EXEMPLE DE RESTITUTION EN MODE T3 (PROFIL INDIVIDUEL)

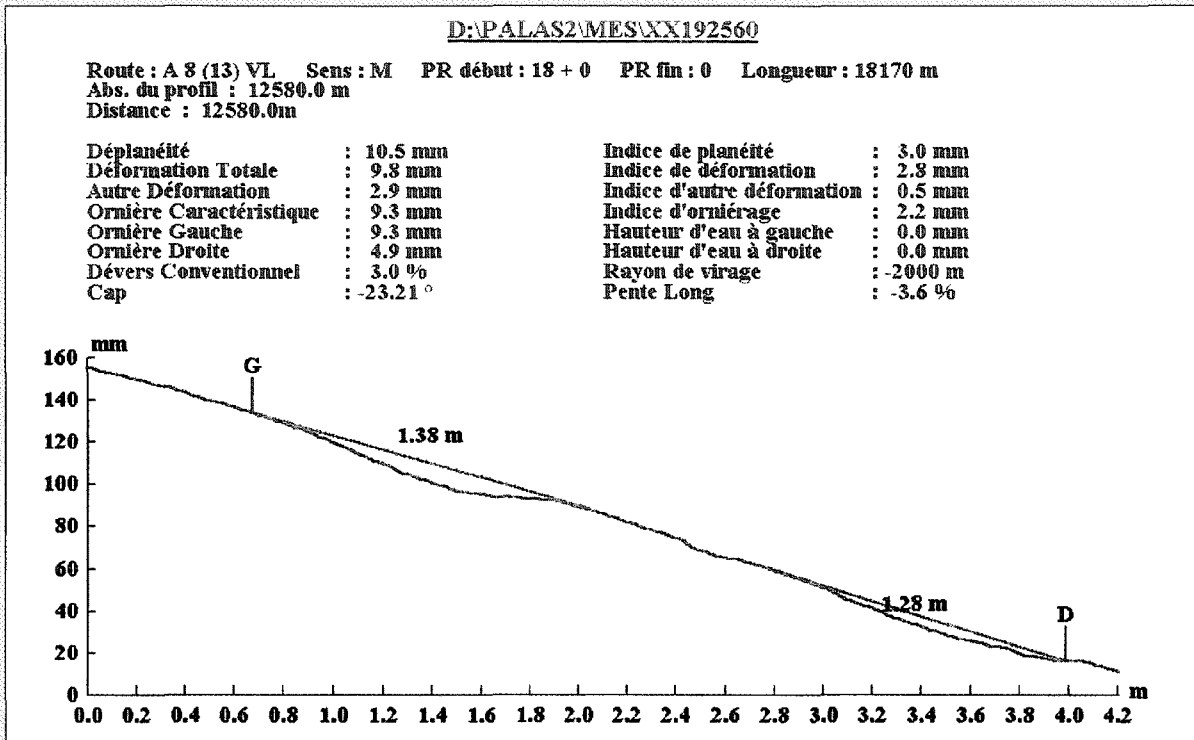
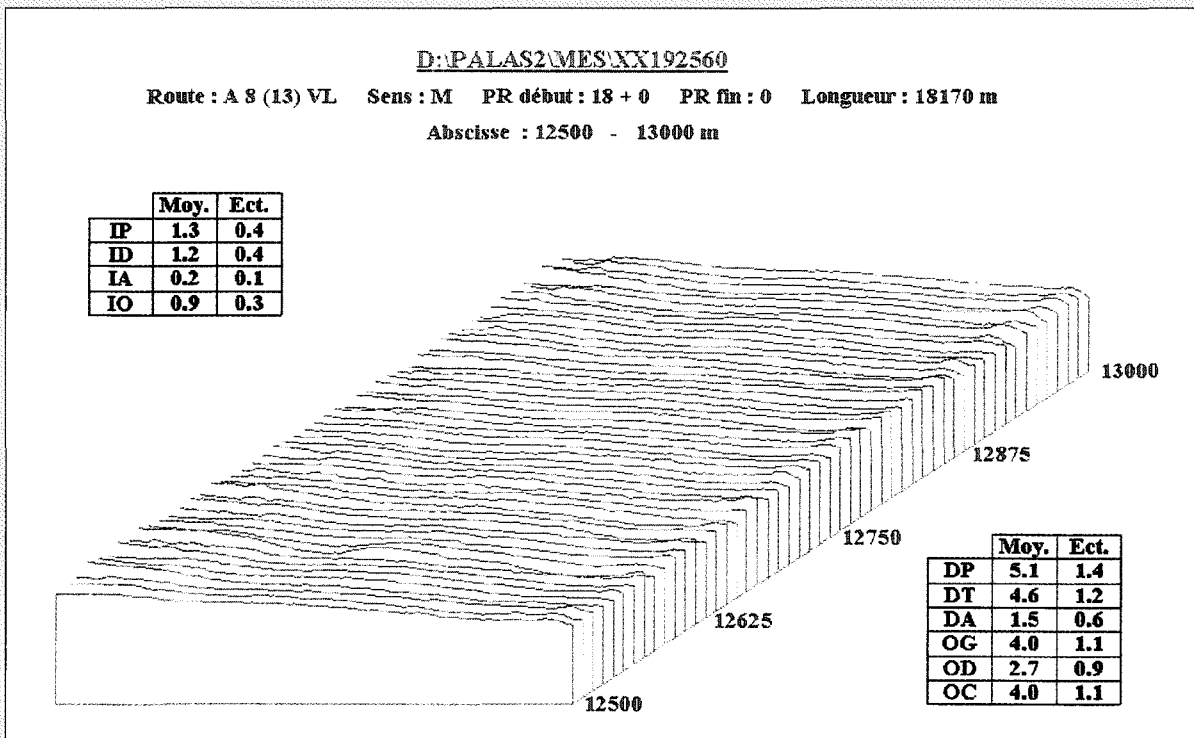


FIGURE 6
EXEMPLE DE RESTITUTION EN MODE T3 (PROFILS EN PERSPECTIVE)



Protection de l'ensemble de mesure

Il peut être demandé, sur des réseaux à forte circulation, de mettre en place soit une signalisation d'approche par le véhicule d'accompagnement soit une signalisation posée sur l'accotement. Le plan de signalisation sera défini, implanté et géré par le demandeur qui doit en outre faire prendre les arrêtés éventuels de restriction de circulation par les gestionnaires du réseau ausculté. La signalisation sera conforme aux fiches appropriées du manuel [9], en l'occurrence :

- ▶ **Chaussées à 2 x 2 voies ou plus** : Fiche n° CM 143 ou CM 144.
- ▶ **Chaussées bidirectionnelles** : Fiche n° CM 42 ou CM 44 ou CM 45 ou CM 46.

Ces équipements ne retirent en rien la responsabilité du gestionnaire de la route qui doit être informé des dates et itinéraires du relevé.

C Annexes

ANNEXE I - Définitions

Les définitions suivantes sont valables pour l'ensemble du présent document.

TERMES ROUTIERS GÉNÉRAUX

Dégradation de surface

Défaut observé à la surface du revêtement.

Route

Voie ayant la même unité administrative (type et numéro).

Réseau routier

Ensemble de routes gérées par un même maître d'ouvrage.

Itinéraire

Route ou ensemble de routes appartenant au même réseau et présentant une unité stratégique, économique ou politique.

Section d'itinéraire

Portion de route de 0,5 à plusieurs kilomètres de longueur, résultant du découpage de l'itinéraire dans le cadre de son étude.

Section témoin

Portion de route de 0,5 à 2 km de longueur, représentative d'un ensemble de chaussées homogènes : en âge, méthode de construction et d'entretien, nature, portance du support et en trafic.

Auscultation

Recherche et acquisition des paramètres définissant l'état d'une chaussée à un instant donné.

Étude de diagnostic

Étude visant à identifier les défauts d'une route ou d'une portion de route et leurs causes ; elle se fonde sur l'interprétation des résultats d'une auscultation détaillée.

Étude d'évaluation

Étude visant à donner une vue d'ensemble de l'état d'un réseau par rapport à certains critères de structure, sécurité et de confort ; elle se fonde sur l'interprétation des résultats d'une auscultation occasionnelle du réseau routier.

Étude de surveillance

Étude portant sur l'évolution de l'état d'un réseau par rapport à certains critères de structure, sécurité et de confort ; elle se fonde sur l'interprétation des résultats d'une auscultation périodique du réseau routier.

Étude de programmation de l'entretien

Étude visant à détecter les sections à inscrire au programme d'études et/ou de travaux d'entretien ; elle se fonde sur l'interprétation des résultats d'une auscultation périodique de tout ou partie d'un réseau.

Étude d'entretien

Étude visant à définir les natures et choisir les quantités de travaux d'entretien pour qu'un itinéraire réponde aux objectifs de structure, sécurité et de confort définis par le maître d'ouvrage ; elle se fonde sur le diagnostic de l'état de la chaussée et, éventuellement, sur l'interprétation des résultats d'une auscultation détaillée de tout ou partie de cet itinéraire.

Étude de renforcement

Étude visant à dimensionner les travaux de renforcement pour adapter un itinéraire à de nouveaux objectifs de structure, sécurité ou de confort définis par le maître d'ouvrage ; elle se fonde sur l'interprétation d'une auscultation de tout ou partie de l'itinéraire et sur le diagnostic de l'état de la chaussée.

Suivi de section témoin

Étude visant à suivre l'évolution des paramètres caractérisant l'état (structure, sécurité, confort) d'une section témoin ; elle se fonde sur l'interprétation des résultats d'une auscultation périodique et très fine.

PARAMÈTRES CARACTÉRISANT LE PROFIL EN TRAVERS

Définitions physiques

Dévers

Pente transversale initiale de la chaussée, par rapport à l'horizontale.

Déplanéité

Écart entre la forme réelle du profil et la droite de régression théorique de ce profil, sur la largeur de la voie ; la déplanéité résulte de la combinaison du bombement et de la déformation totale.

□ Bombement

Courbe concave ou convexe, symétrique par rapport à l'axe de la voie, caractérisant la forme initiale du profil en travers (avant l'apparition de déformations dues à l'usage) ; lorsque cette courbe est constituée de deux droites de pente inégale, on parle de **cassure** du profil en travers.

□ Déformation totale

Ensemble des déformations permanentes du profil résultant d'une évolution de la chaussée depuis sa construction ou depuis les derniers travaux d'entretien ayant rectifié ce profil ; cette déformation résulte de la forme du profil, une fois soustrait la courbe de bombement ; la déformation totale résulte de la combinaison des orniérage gauche et droit et des autres déformations.

□ Orniérage gauche

Déformation permanente du profil qui se crée sous le passage des roues gauches dans le sens du trafic.

O Orniérage droit

Déformation permanente du profil qui se crée sous le passage des roues droites dans le sens du trafic.

□ Autres déformations

Déformations permanentes du profil autre que l'orniérage gauche ou droit ; les autres déformations combinent les affaissements (hors rive, de rive), les soulèvements et les décalage de fissure longitudinale.

□ Affaissement hors rive

Déformation permanente localisée située dans la voie.

□ Affaissement de rive

Déformation située en rive de la voie et caractérisée par une rupture soudaine de la pente du profil en travers.

□ Hauteur d'eau potentielle

Hauteur d'eau pouvant être retenue par une déformation transversale pour une pente longitudinale supposée nulle.

Définitions mathématiques conventionnelles**O Dévers conventionnel**

Le dévers conventionnel est quantifié par la tangente de l'angle que forme la droite passant par les points situés à 90 cm de part et d'autre de l'axe de la voie mesurée avec l'horizontale. Il est exprimé en pourcentage et compté positivement lorsque la pente de cette droite est négative.

□ Dévers moyen corrigé

Le dévers est quantifié par la tangente de l'angle que forme la droite de régression du profil corrigé des ornières avec l'horizontale. Il est exprimé en pourcentage et compté positivement lorsque la pente de cette droite de régression est négative.

□ **Déplanéité**

La déplanéité est quantifiée au travers de deux paramètres :

- ▶ l'amplitude de déplanéité « Dp », qui est égale à la distance maximale entre des droites passant par les points du profil et parallèles à la droite de régression du profil. Dp est exprimée en millimètres ;
- ▶ l'indice de déplanéité « Ip », qui est la moyenne quadratique des écarts entre le profil et sa droite de régression. Ip est exprimé en millimètres.

□ **Bombement et cassure**

Le bombement ou la cassure sont obtenus en ajustant sur le profil corrigé de l'orniérage, par la méthode des moindres carrés, une équation mathématique de la forme :

$$b = b_0 [\alpha - \sqrt{(x - x_0)^2 + \alpha^2}]$$

où

b_0 est l'amplitude du bombement, exprimé en millimètres ;

α est le coefficient de forme (= 0 pour une cassure), exprimé en radians ;

x_0 est l'axe du bombement, exprimé en mètres.

Le bombement peut être quantifié indirectement par l'indice de bombement « Ib », qui est la différence entre l'indice de déplanéité « Ip » et l'indice de déformation totale « Id ».

On appelle cassure, un bombement de coefficient $\alpha = 0$.

□ **Déformation totale**

La déformation totale est quantifiée au travers de deux paramètres :

- ▶ l'amplitude de déformation totale « Dt », qui est égale à la distance maximale entre les droites passant par les points du profil corrigé du bombement et parallèles à la droite de régression ; Dt est exprimé en millimètres ;
- ▶ l'indice de déformation totale « Id », qui est la moyenne quadratique des écarts entre le profil corrigé du bombement et sa droite de régression ; Id est exprimé en millimètres.

□ **Orniérage gauche (resp. droit)**

L'orniérage gauche (resp. droit) est quantifié par sa profondeur « Og » (resp. « Od ») mesurée par la méthode d'analyse suivante : Og (resp. Od) est égal à la distance maximale mesurée entre une règle de 1,5 m glissant sur la partie gauche (resp. droite) du profil (perpendiculairement à l'ornière), et le fond de l'ornière gauche (resp. droite). L'Og et l'Od sont exprimés en millimètres.

□ **Orniérage**

L'orniérage est quantifié au travers de deux paramètres :

- ▶ l'orniérage caractéristique « Oc », égale au maximum des profondeurs des ornières gauches et droites, Oc est exprimé en millimètres ;
- ▶ l'indice d'orniérage « Io », qui est la différence entre l'indice de déformation totale « Id » et l'indice des autres déformations (que l'orniérage) « Ia » ; Io est exprimé en millimètres.

☐ **Autres déformations**

Les autres déformations sont quantifiées au travers de deux paramètres :

- l'amplitude des autres déformations « Da », qui est égale à la distance maximale entre les droites passant par les points du profil corrigé du bombement et de l'orniérage, et parallèles à sa droite de régression ; Da est exprimé en millimètres ;
- l'indice des autres déformations « Ia », qui est la moyenne quadratique des écarts entre le profil corrigé du bombement et de l'orniérage (gauche et droit) et sa droite de régression ; Ia est exprimé en millimètres.

☐ **Hauteur d'eau gauche (resp. droit)**

La hauteur d'eau est quantifiée par l'épaisseur maximale que peut avoir le film d'eau dans l'ornière gauche « Heg » (resp. droite « Hed »), compte tenu de la profondeur de cette ornière et du dévers de la chaussée (la pente longitudinale de la voie étant considérée nulle) ; Heg et Hed sont exprimés en millimètres.

☐ **Hauteur d'eau**

La hauteur d'eau « He » est le maximum des hauteurs d'eau gauche et droite ; He est exprimé en millimètres.

ANNEXE II - Essai de référence

On distingue l'essai de référence statique, exécuté sur un profil donné et permettant d'accéder aux paramètres conventionnellement vrais attachés à ce profil, et l'essai de référence dynamique, exécuté sur une section donnée et permettant d'accéder aux paramètres conventionnellement vrais attachés à cette section. Dans les deux cas, l'essai de référence est constitué :

- d'un appareil de référence,
- d'une procédure de référence, différente pour les essais statiques et dynamiques,
- d'un algorithme de référence, conforme aux éléments de la présente méthode.

APPAREIL DE RÉFÉRENCE

Il s'agit d'un transversoprofilomètre continu de classe 2, rigoureusement contrôlé et étalonné sur banc avant toute utilisation pour un essai de référence. Cet appareil doit donner une description du profil en travers sur une largeur pouvant atteindre 4 mètres avec une résolution transversale inférieure ou égale à 0,025 mètre.

PROCÉDURE DE RÉFÉRENCE

Pour les essais de référence statiques, l'appareil de référence est arrêté de sorte que sa trace de mesure suive le profil-test à +/- 10 cm. Les extrémités du profil sont matérialisées par deux bandes blanches délimitant la voie de circulation, bandes qui sont installées spécialement pour l'essai si elles ne sont pas présentes en temps normal sur le profil. On évitera de réaliser un essai de référence sur un profil comportant d'autres marques de peinture (flèches, etc.) que les bandes délimitant la voie. Ces bandes sont espacées de 3,50 mètres. Le relevé du profil en travers est recommencé cinq fois, en ayant déplacé puis replacé l'appareil de référence au-dessus du profil-test entre chaque mesure. Chaque profil est dépouillé puis interprété par l'algorithme de référence. L'essai de référence fournit ainsi, pour chaque paramètre, une valeur conventionnellement vraie qui est la moyenne des cinq valeurs obtenues.

Les essais de référence dynamiques sont exécutés sur des sections-tests de 200 mètres de longueur. L'appareil de référence parcourt la section-test une seule fois, selon son mode opératoire usuel, éventuellement à vitesse réduite pour suivre une trajectoire optimum par rapport à l'axe de la voie et permettre une acquisition des profils au pas de 1 mètre. Les mesures sont dépouillées puis interprétées par l'algorithme de référence. On calcule ensuite :

- valeur caractéristique à 97,5 % ;
- moyenne et écart-type ;
- valeurs mini, médian, maxi ;
- répartition en quatre classes, dont les seuils inférieurs sont 0, 10, 25, 50 mm.

C'est par rapport à ces valeurs conventionnellement vraies qu'est prononcée la réception d'un transversoprofilomètre en dynamique.

ALGORITHME DE RÉFÉRENCE

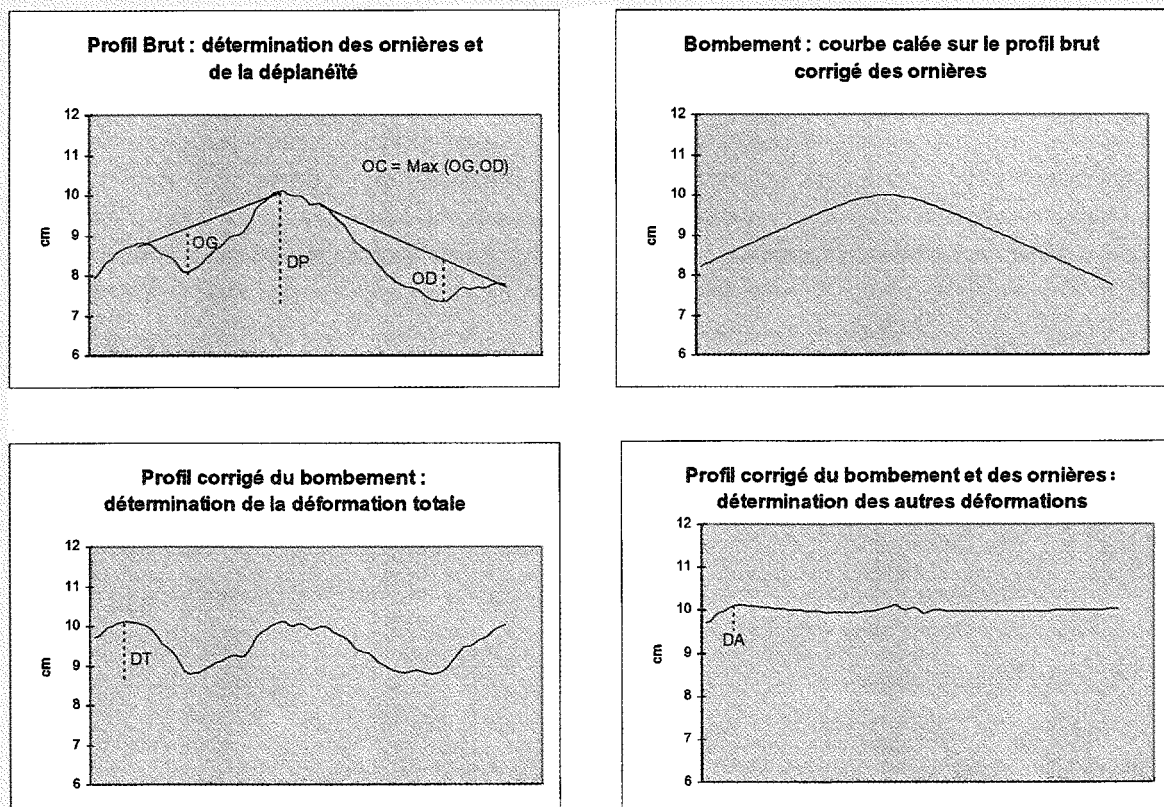
L'algorithme de calcul comporte cinq étapes :

- l'identification des ornières gauches et droites - **calcul de Og, Od, Oc** ;
- la détermination du profil corrigé des ornières et le calcul de la courbe de bombement ainsi que de l'écart de pente entre la règle et le profil corrigé des ornières ;
- la correction du profil mesuré par l'écart de pente et l'identification de la déplanéité - **calcul de Dp et Ip** ;
- la correction du profil mesuré par l'écart de pente et par le bombement puis le calcul de la déformation totale du profil - **calcul de Dt et Id** ;
- la correction du profil mesuré par les ornières, l'écart de pente et par le bombement puis le calcul des autres déformations du profil - **calcul de Da et Ia** (la différence entre Id et Ia donne l'indice d'orniérage **Io**).

La figure 9 illustre ces différentes étapes.

FIGURE 9

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES ÉTAPES DE L'ALGORITHME DE CALCUL DES PARAMÈTRES



Première étape

Identification des ornières et calcul de l'orniérage

La méthode d'analyse simule le relevé d'ornière avec une règle de 1,50 m de longueur glissant sur le profil en travers de la chaussée, dans les limites du profil défini par le repérage de la signalisation horizontale ou la largeur analysée.

Ornière gauche

La règle est appuyée sur le point y_i ($i = 1$ à $n/4$) par son extrémité gauche. On l'incline vers la droite jusqu'à ce qu'elle vienne toucher la chaussée ; le point de mesure au niveau duquel elle vient toucher la chaussée est déterminé par l'approche suivante :

$$p_j = \frac{V_j - V_i}{y_j - y_i}$$

où $j = i + 1$ à $i + n/2$.

On recherche le maximum des p_j . Soit p_k cette valeur. La règle s'appuie donc à droite sur le point de mesure numéroté k . On recherche alors les cotes C donnant les distances de la chaussée à la règle fictive au niveau des capteurs $i + 1, i + 2, \dots, k - 1$:

$$C_j = V_i + p_k * (y_j - y_i) - V_j \quad j = i + 1 \text{ à } k - 1.$$

Supposons que le maximum de C_j soit trouvé pour $j = m$, par exemple. On affecte la cote C_m au point de mesure numéroté m , si elle est supérieure à la cote qui lui était attribuée dans les itérations précédentes.

La profondeur d'ornière gauche est la valeur de C_m lors de la dernière itération.

Ornière droite

Dans un second temps, on recommence en partant de l'extrémité droite du profil. La règle est appuyée sur le point d'abscisse y_i ($i = 3 n/4$ à n) par son extrémité droite cette fois.

$$-p_j = \frac{V_i - V_j}{y_i - y_j}$$

où $j = i - n/2$ à $i - 1$

On recherche le maximum des $(-p_j)$. Soit p_k cette valeur. La règle s'appuie donc à gauche sur le point de mesure numéroté k' . On recherche alors les cotes C donnant les distances de la chaussée à la règle fictive au niveau des capteurs $k' + 1, k' + 2, \dots, i - 1$:

$$-C_j = V_i + p_k * (y_j - y_i) - V_j \quad j = k' + 1 \text{ à } i - 1.$$

Supposons encore que le maximum des C_j soit trouvé pour $j = m'$, par exemple. On affecte la cote $C_{m'}$ au point de mesure m' , si celle-ci est supérieure à la cote qui lui était attribuée dans les itérations précédentes.

La profondeur d'ornière droite est la valeur de $C_{m'}$ lors de la dernière itération.

Ornière caractéristique

L'ornière caractéristique a pour valeur le maximum de l'ornière droite et de l'ornière gauche.

Deuxième étape

Détermination du bombement

On commence par supprimer les ornières droite et gauche, en remplaçant le profil de la chaussée sous la règle de 1,50 m par une droite représentant cette règle, entre les deux points de contact. On cale sur le profil ainsi lissé un profil théorique, constitué d'une cote moyenne, d'une pente moyenne et d'un bombement pur et symétrique, caractérisé par les équations suivantes :

Cote moyenne	$e(y) = 1$
Pente	$f(y) = Y$
Bombement	$z_b(y) = \alpha - \sqrt{(y - y_0)^2 + a^2}$

Le profil théorique est la meilleure combinaison de ces fonctions

$$Y_{th}(y) = a_1 e(y) + a_2 f(y) + a_3 z_b(y).$$

Pour obtenir a_1 , a_2 , a_3 , on cherche à minimiser S tel que :

$$S = \sum_{i=1}^n (V_i - Y_i)^2$$

$$\frac{\delta S}{\delta a_1} = 0 \quad \frac{\delta S}{\delta a_2} = 0 \quad \frac{\delta S}{\delta a_3} = 0$$

ce qui conduit au système :

$$\begin{bmatrix} \sum e^2 & \sum ef & \sum ez_b \\ \sum ef & \sum f^2 & \sum fz_b \\ \sum ez_b & \sum fz_b & \sum fz_b^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum \delta e \\ \sum \delta f \\ \sum \delta z_b \end{bmatrix}$$

Dans la pratique, le centre de la voie auscultée n'étant pas nécessairement sous le milieu de la règle de mesure, cette recherche de minimum est reconduite pour différents positionnements de l'axe de la voie.

Troisième étape

Détermination de la déplanéité - calcul de D_p et I_p

La déplanéité est calculée à partir du profil mesuré corrigé de l'écart de pente obtenu dans la deuxième étape. Cette correction permet de s'affranchir des mouvements de caisse du véhicule.

La déplanéité D_p est l'écart de distance maximal entre deux points de mesure du profil ainsi corrigé. L'indice de déplanéité est la moyenne quadratique des écarts entre le profil ainsi corrigé et sa droite de régression obtenue par la méthode des moindres carrés.

Quatrième étape

Détermination de la déformation totale - calcul de D_t et I_d

La déformation totale est calculée à partir du profil mesuré corrigé du bombement et de l'écart de pente obtenus dans la deuxième étape. Cette correction permet de s'affranchir des mouvements de caisse du véhicule et de distinguer l'aspect déformation de la voie (créée par le trafic) de l'aspect bombement de la voie (défaut initial).

La déformation totale D_t est l'écart de distance maximal entre deux points de mesure du profil ainsi corrigé. L'indice de déformation est la moyenne quadratique des écarts entre le profil ainsi corrigé et sa droite de régression obtenue par la méthode des moindres carrés.

Cinquième étape

Détermination des autres déformations - calcul de D_a et I_a

Les autres déformations sont calculées à partir du profil mesuré corrigé des ornières, du bombement et de l'écart de pente obtenus dans la deuxième étape. Cette correction permet de s'affranchir des mouvements de caisse du véhicule et de distinguer les autres déformations de l'orniéage.

Les autres déformations D_a sont quantifiées par l'écart de distance maximal entre deux points de mesure du profil ainsi corrigé. L'indice des autres déformations est la moyenne quadratique des écarts entre le profil ainsi corrigé et sa droite de régression obtenue par la méthode des moindres carrés.

La différence entre l'indice de déformation I_d et l'indice des autres déformations I_a donne l'indice d'orniéage I_o .

NB : Pour des pas de mesures ne dépassant pas les 10 mètres, les indices I_p , I_d , I_a et I_o peuvent subir une procédure de lissage longitudinal (sur un ou deux points) permettant une représentation graphique plus agréable à lire (atténuation des pics).

PERFORMANCES DE L'ESSAI DE RÉFÉRENCE

L'essai de référence doit permettre d'obtenir les valeurs conventionnellement vraies avec les écarts-types de répétabilité intrinsèque (à l'arrêt) et en conditions d'essai (TABLEAU IX).

TABLEAU IX
VALEURS DES ÉCARTS-TYPES DE RÉPÉTABILITÉ

TYPE D'ESSAIS	TYPE DE PARAMÈTRES	ÉCART-TYPE DE RÉPÉTABILITÉ
Écart-type de répétabilité à l'arrêt sur profil individuel	Dévers	0,4 %
	Indices (I_p , I_d , I_o , I_a)	0,5 mm
	Amplitudes (D_p , D_t , D_a , O_g , O_d , O_c , H_{eg} , H_{ed} , H_e)	1 mm
Écart-type de répétabilité en conditions dynamiques (valeurs agrégées sur sections ayant au moins 20 profils)	Valeurs maxi, mini, moyenne, caractéristiques d'indices	0,3 mm au niveau de 10 mm
	Valeurs maxi, mini, moyenne, caractéristiques d'amplitudes	0,6 mm au niveau de 10 mm
	Contenu des classes de gravité	5 % au niveau de 50 %

ANNEXE III - Les appareillages et leur mise en oeuvre

LES TRANSVERSOPROFILOMÈTRES DISCONTINUS STATIQUES

Cette **dénomination** recouvre toutes les règles de 1,5 à 3,5 m (FIG. 10), permettant de mesurer l'amplitude des déformations d'un profil en travers (ornière, affaissement, etc.). Ce type d'appareil est utilisé pour préciser ou quantifier, en tant que de besoin, les déformations saisies visuellement. Ces observations permettent de renseigner, les rubriques et sous-rubriques des différents modes opératoires, en notant les « PR + abscisse » de début et de fin et la gravité maximale des déformations correspondantes.

LES TRANSVERSOPROFILOMÈTRES CONTINUS STATIQUES

Cette **dénomination** recouvre tous les appareils capables de faire une mesure du profil transversal de la chaussée à poste fixe, avec une résolution transversale inférieure à 50 mm. Un exemple de ce type d'appareil est le transversoprofilomètre Wauquier (FIG. 11).

LES TRANSVERSOPROFILOMÈTRES CONTINUS DYNAMIQUES

Cette **dénomination** recouvre tous les appareils capables de faire une mesure du profil transversal de la chaussée, avec une résolution transversale inférieure ou égale à 50 mm.

Ces appareils saisissent automatiquement une succession de profil en travers. Chaque profil est repéré, sur le support de saisie, par son « PR + abscisse ». La transcription des déformations est réalisée de façon automatique à raison d'au moins un profil tous les 10 m. Chaque déformation présente sur un profil est repérée par le « PR + abscisse » du profil. Il lui est affecté une extension égale au pas inter-profil qui est notée sous la rubrique correspondant à sa nature et dans la sous-rubrique correspondant à sa gravité. Un exemple de ce type d'appareil est le transversoprofilomètre à laser Palas (FIG. 12).

LES TRANSVERSOPROFILOMÈTRES DISCONTINUS DYNAMIQUES

Cette **dénomination** recouvre tous les appareils capables de faire une mesure du profil transversal de la chaussée, avec une résolution transversale comprise entre 50 et 250 mm.



FIGURE 10
MESURE D'UNE PROFONDEUR D'ORNIÈRE SOUS UNE RÈGLE
DE 1,50 MÈTRE.



FIGURE 11
LE TRANSVERSOPROFILOMÈTRE WAUQUIER.



FIGURE 12
LE TRANSVERSOPROFILOMÈTRE PALAS.

Les appareils saisissent automatiquement une succession de profil en travers. Chaque profil est repéré, sur le support de saisie, par son « PR + abscisse ». La transcription des déformations est réalisée de façon automatique à raison d'au moins un profil tous les 10 m. Chaque déformation présente sur un profil est repérée par le « PR + abscisse » du profil. Il lui est affecté une extension égale au pas inter-profil qui est notée sous la rubrique correspondant à sa nature et dans la sous-rubrique correspondant à sa gravité. Un exemple de ce type d'appareil est le transversoprofilomètre à ultrasons TUS (FIG. 13).



FIGURE 13
LE TRANSVERSOPROFILOMÈTRE TUS.

■ ANNEXE IV - Méthode de calcul de l'écart de justesse et de l'écart-type de répétabilité

Cette méthode est tirée de la norme ISO 5725 relative à l'exactitude des méthodes d'essais [6].

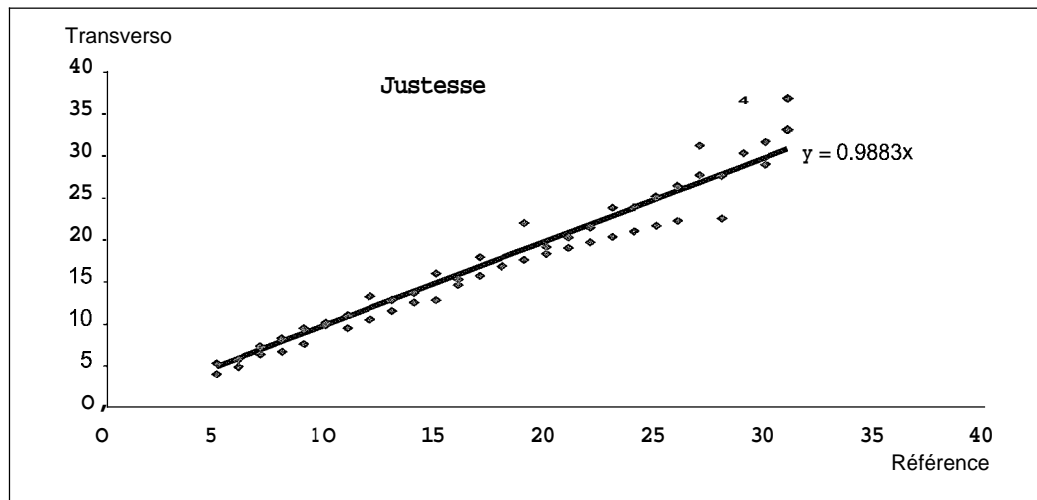
CALCUL DE L'ÉCART DE JUSTESSE

La population nécessaire à ce calcul est de 50 profils minimum. Pour chacun de ces profils, on représente sur un graphique X/Y, la valeur mesurée par le transversoprofilomètre (Y) en fonction de la valeur de référence (X). Ce graphique représente un nuage de points dans lequel on calcule une droite de régression passant par l'origine. Cette droite a pour équation $Y = aX$ et est aussi appelée droite de justesse.

L'appareil est de classe 1 en justesse si a est compris entre 0,8 et 1,2 (moins de 20 % d'écart).

L'appareil est de classe 2 en justesse si a est compris entre 0,9 et 1,1 (moins de 10 % d'écart) (FIG. 14).

FIGURE 14
ÉCART DE JUSTESSE



CALCUL DE L'ÉCART-TYPE DE RÉPÉTABILITÉ

L'écart-type de répétabilité est calculé sur des valeurs agrégées par tronçon d'une longueur donnée (200 m en général).

La population nécessaire à ce calcul est de 50 tronçons comportant au moins 20 profils. Sur chacun des tronçons on agrège les paramètres de déformation (moyenne, écart-type, max, min, V 95 %).

Pour calculer un écart-type de répétabilité, le nombre de répétitions doit être au minimum de 10. A partir de ces répétitions on calcule pour chaque tronçon la moyenne et l'écart-type des valeurs agrégées. On représente alors, sur un graphique X/Y, l'écart-type de répétabilité en fonction de la moyenne et ceci pour chaque tronçon. Ce graphique représente un nuage de points dans lequel on calcule une droite de régression. Cette droite a pour équation $Y = aX + b$ et est aussi appelée droite de répétabilité.

Les écarts-types permettant de délimiter les classes de performance (Tableau III) sont relatifs à un niveau donné (exemple : en classe 1 l'écart-type de l'orniérage moyen doit être inférieur à 1 mm pour un niveau de 10 mm) (FIG. 15).

Lorsque l'agrégation consiste à calculer des classes d'histogramme exprimant un pourcentage, la courbe qui s'ajuste le mieux dans le nuage de points est une parabole passant par 0 et 100 %. Dans le tableau III c'est l'écart-type relatif à une moyenne de 50 % qui est donné (en classe 2, cet écart-type doit être inférieur à 5 %) (FIG. 16).

FIGURE 15
ÉCART-TYPE DE RÉPÉTABILITÉ CALCULÉ SUR DES RÉSULTATS MOYENNÉS PAR 200 M

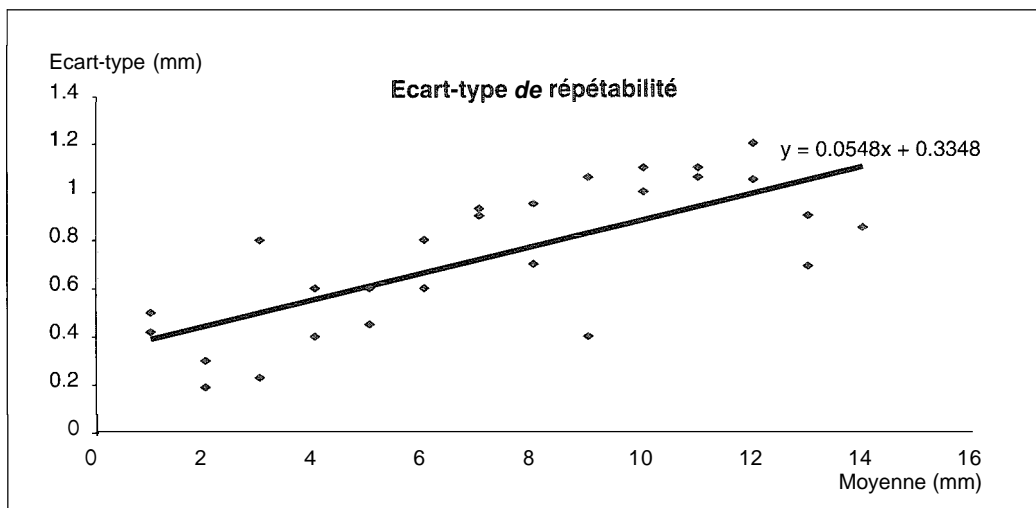
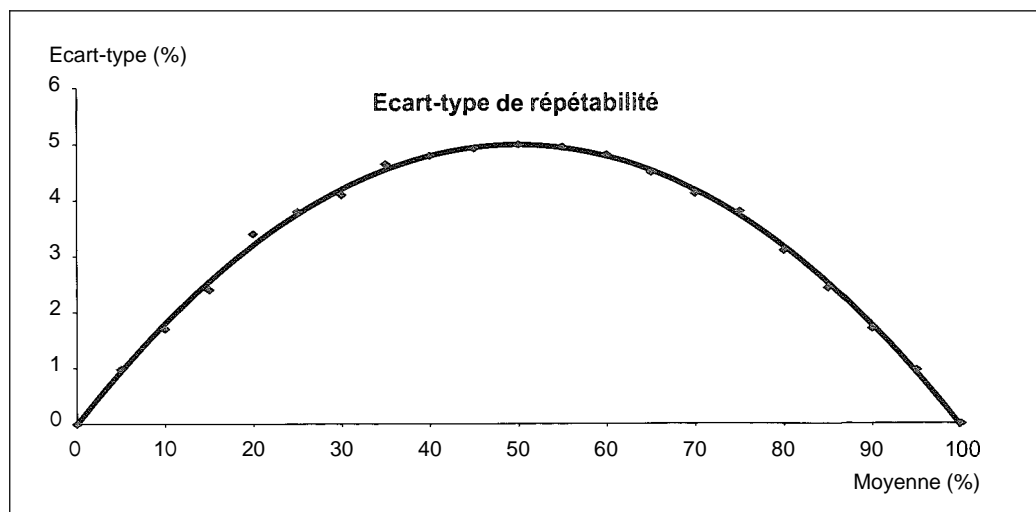


FIGURE 16
ÉCART-TYPE DE RÉPÉTABILITÉ CALCULÉ SUR DES RÉSULTATS RÉPARTIS EN CLASSES D'HISTOGRAMME



Document publié par le LCPC sous le numéro 59023405
Conception et réalisation LCPC-IST, Marie-Christine Pautré
Dessins LCPC-IST, Philippe Caquelard
Flashage - Impression Bialec, Nancy
Dépôt légal 3e trimestre 2001

Prix : 120 F - 18,30 euros HT