

AUSCULTATION DES CHAUSSEES

par M^r DAHBI Abdelaziz

1—Capacité portante des chaussées et mesure de déflexion

1—Introduction :

Au cours de ces 20 dernières années, plusieurs progrès ont été enregistrés dans les méthodes et appareils de mesure de la déflexion verticale d'une chaussée sous l'action d'une charge.

Au Maroc, les mesures de déflexion par un déflectographe Lacroix ont commencé en 1977. Actuellement le C.N.E.R. est équipé de 2 Déflectrographes Lacroix et attend la livraison d'un troisième au cours de l'année prochaine.

Dans ce qui suit nous nous efforcerons de décrire sommairement les différents appareils de mesure et le support théorique qu'on peut accorder à la déflexion. Nous donnerons ensuite un résumé de l'expérience marocaine dans ce domaine en insistant sur le besoin d'étude et recherche et en indiquant les voies dans lesquelles elles pourraient être effectuées.

Les résultats de ces études permettront de mieux prévoir le comportement futur du réseau et par suite une gestion rationnelle de celui-ci.

2—Capacité portante des chaussées :

La capacité portante d'une structure correspond à une contrainte limite ; lorsqu'on la dépasse la chaussée présente une faiblesse et devient incapable de supporter la charge du trafic. Cette contrainte limite peut être un début de déformation plastique ou une fissuration sur la face interne de la couche concernée.

Cependant la contrainte limite des différents matériaux de la chaussée est difficile à déterminer car cela nécessite un équipement de Laboratoire assez sophistiqué et l'interprétation des résultats reste discutable. A partir des essais en vraie grandeur AASHO, les plus importants jamais réalisés, a été défini un indice

représentant l'état global de la structure. Cet indice variant de 1 à 5 intitulé « indice de service final pt » englobe l'état de surface de la chaussée, les fissures et déformations de cette structure. La valeur finale de la viabilité est prise au niveau d'un indice de 2,5.

La durée de vie d'une structure de chaussée est caractérisée par le nombre de répétition de charge. Donc, les lois de fatigue peuvent être appliquées pour l'étude des matériaux constituant le corps de chaussée.

Les matériaux souples « enrobés » sont actuellement étudiés au laboratoire en fonction de leurs résistance à la fatigue, les matériaux semi-rigide (stabilisation) en fonction de leurs résistance à la compression et à la traction, les matériaux non liés en fonction de leur résistance au cisaillement (déformation permanente). Le comportement de surface de la structure est lié à l'ensemble de ces caractéristiques.

Pour chaque matériau les procédés d'essais sont différents et la réalisation des essais avec des contraintes réelles au niveau du laboratoire est impossible. Le passage des véhicules produit au sein des structures des efforts de compression, traction flexion et cisaillement. Ces efforts, selon le type de structure ont des effets différents : déformation élastique (réversible), déformation plastique (irréversible), écrasement, mise en place de la structure.

L'ensemble de contrainte auquel sont soumis les différents matériaux de la structure se traduit à la surface de la chaussée par des déformations et / ou fissures. Alors, si on peut mesurer en surface les déformations provoquées par le passage d'une charge réglementaire, on peut en déduire le comportement global de la structure et dans un deuxième stade la capacité portante de cette structure. Cette constatation facilite l'étude du problème et met en évidence l'importance de la mesure des déflexions.

La déflexion est donc un paramètre de portance qui donne une indication sur toute la structure y compris le sol support. Elle constitue ainsi une excellente indication de mauvaise qualité ou d'un état de fatigue de la structure de chaussée.

3—La déformée de la chaussée sous un jumelage :

On sait qu'avec l'augmentation du module élastique de la structure la déformation admissible diminue. Pour les chaussées rigides la valeur de la déflexion est plus petite que pour les chaussées semi-rigides ou souples.



Fig. 1 : La déformée pour une structure rigide (a) et une structure souple (b).

Pour la contrainte à la fatigue, c'est le rayon de courbure de la déflexion plutôt que sa valeur absolue qui est intéressante à connaître. Par exemple si nous avons une couche de base de mauvaise qualité la valeur de déflexion peut être admissible alors que la couche de roulement se faïence rapidement ; ceci est tout à fait évident si le rayon de courbure est petit alors que la déflexion de l'ensemble de la structure est admissible (fig 2).

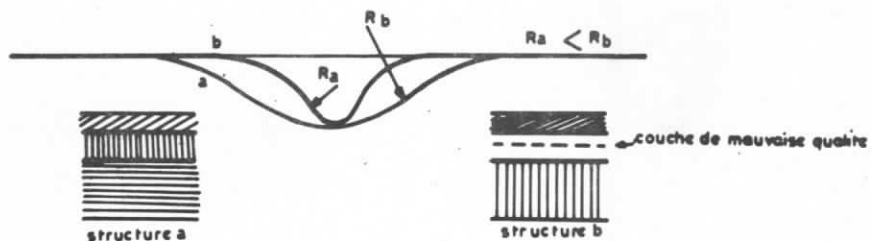


Fig. 2 : La déformée d'une structure avec une couche de base de mauvaise qualité (b) et avec une couche de base à résistance satisfaisante (a).

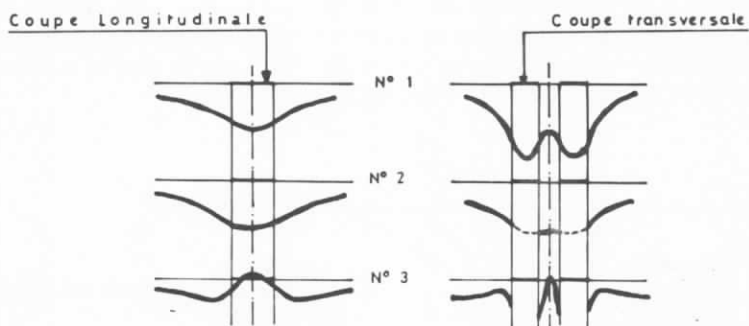
La déformée de la chaussée peut être soit enregistrée par des appareils de mesure appropriés ou calculée par des systèmes multicouches dans l'hypothèse d'un comportement élastique. Une idée générale de la forme des déformées susceptibles d'être rencontrées peut être donnée par calcul en considérant les trois cas suivants :

- 1—Massif homogène semi-infini
- 2—Dalle rigide par rapport à la fondation
- 3—Couche de surface de module inférieur à celui de la fondation.

La figure 3 illustre la forme de la déformée en coupe longitudinale et transversale pour les 3 cas. Il est à remarquer que le troisième cas nous informe sur certains phénomènes qui peuvent être observés sur des massifs hydrocarbonés épais avec une température élevée au niveau de la couche de surface. On peut aussi remarquer que la déflexion maximale dépend de la position de la

ligne de mesure à l'intérieur du jumelage. Ce phénomène est sensible pour des massifs sensiblement homogènes et encore plus pour des couches de surface de faible résistance à cause de leur température élevée due au rayonnement solaire.

FORME GENERALE DES DEFORMEES



N°1 : massif homogène (semi-infini)

N°2 : dalle rigide par rapport à la fondation

N°3 : couche de surface de module inférieur
à celui de la fondation

4—Les paramètres de portance :

En général c'est la déformée suivant l'axe longitudinal du jumelage arrière du camion qui nous intéresse. A partir de cette déformée on définit :

- La déflexion maximale
- La pente en chaque point
- La courbure en chaque point

L'allure générale de ces paramètres est schématisée par la figure 4.

Si on assimile cette courbe de déformée à des courbes ayant une expression mathématique connue on peut avec un ajustement de leurs paramètres étudier la courbe expérimentale. L'expression utilisée peut avoir la forme suivante :

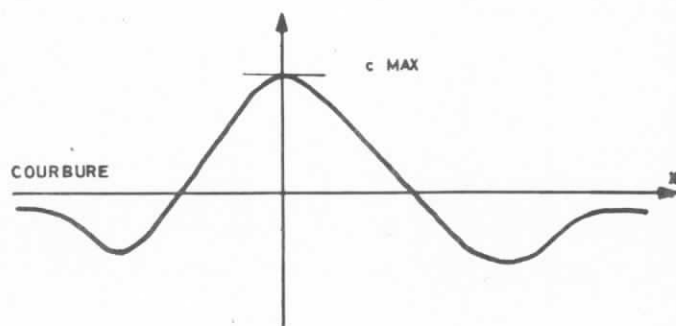
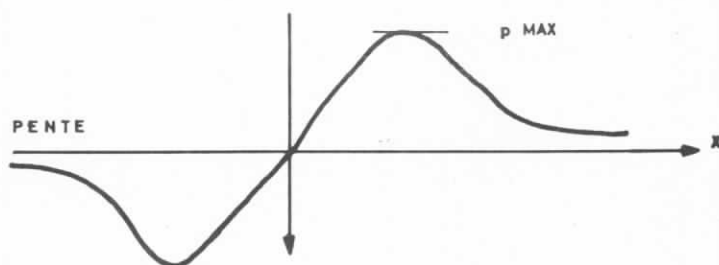
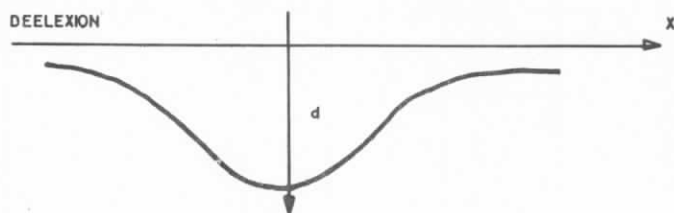
$$W(x) = d \times F\left(\frac{x}{\lambda}\right)$$

La fonction $F\left(\frac{x}{\lambda}\right)$ présente un maximum = 1 pour $x = 0$. On peut écrire donc : $W(0) = d$. Dans ce cas le paramètre λ nous permet de dilater horizontalement la courbe $W(x)$.

Ainsi la pente, schématisée à la figure 4 peut s'écrire sous la forme suivante :

$$p(x) = \frac{\delta W}{\delta x} = \frac{d}{\lambda} \cdot F'\left(\frac{x}{\lambda}\right)$$

FORME DES PARAMETRES DE PORTANCE



La courbure dans ce cas est la deuxième dérivée de la fonction $W(x)$;

$$C(x) = \frac{\delta^2 W}{\delta x^2} = \frac{d}{\lambda^2} F''\left(\frac{x}{\lambda}\right)$$

Dans le cas général on suppose que la courbure maximale est obtenue pour une valeur de $x = 0$, alors :

$$C_{\max} = \frac{d}{\lambda^2} F''(0) \mapsto \frac{d}{C_{\max}} = \lambda^2 F''(0) = R_d$$

Cette égalité montre que le produit R_d de la fonction choisie est donc proportionnel à λ^2 . La fonction la plus utilisée et la plus connue est la fonction.

$$F(z) = \frac{1}{1 + z^2}$$

$$W(x) = \frac{d}{1 + \left(\frac{x}{\lambda}\right)^2}$$

On trouve alors

$$R_d = \frac{\lambda^2}{2}$$

C'est cette formule qui est utilisée pour définir la courbure maximale d'une courbe de déflexion.

5— Les appareils de mesures :

Les appareils de mesure de déflexion sont divisés en trois grandes catégories (fig. 5).

- Les appareils fixes
- Les appareils à fonctionnement discontinu
- Les appareils à fonctionnement continu.

5.1. Les appareils fixes :

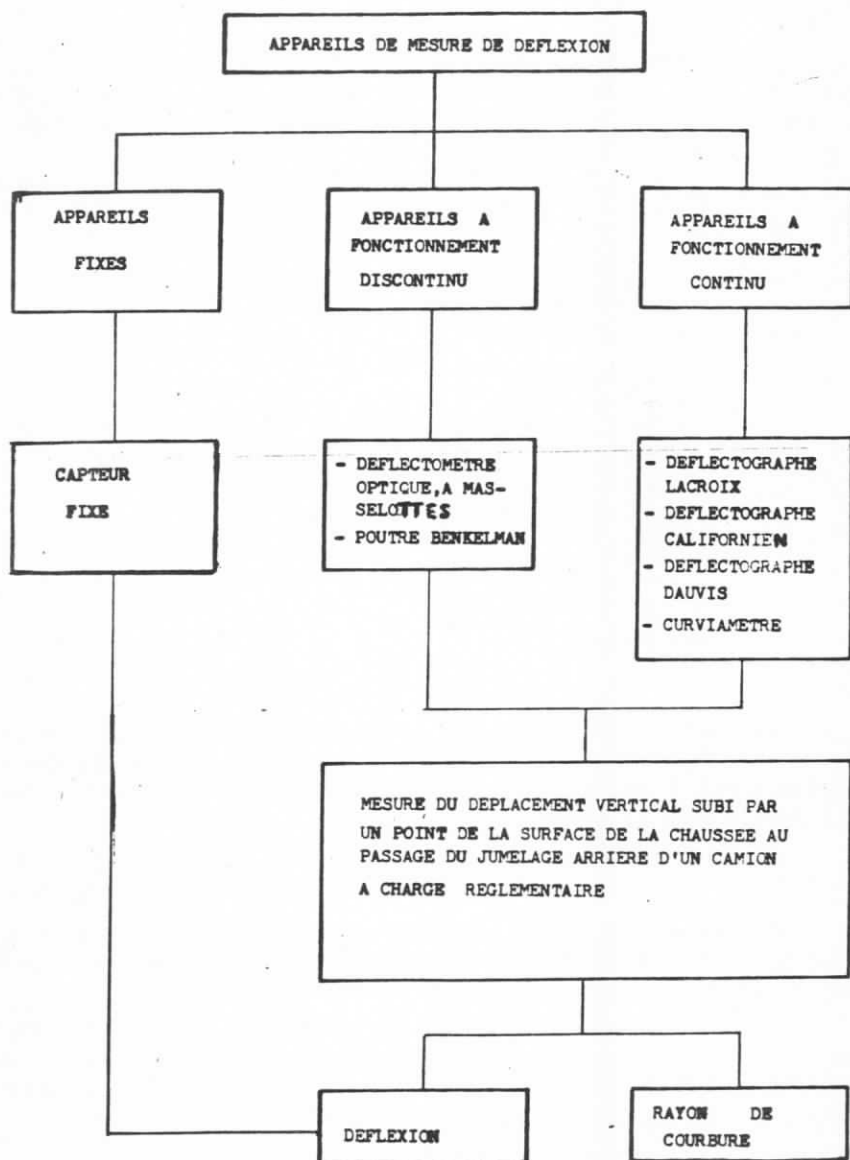
Il s'agit d'un capteur de déplacement encastré dans la chaussée

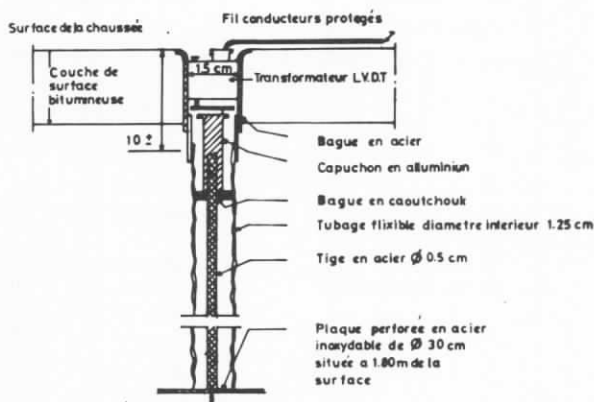
à l'aide d'une tige portée par une plaque métallique située à une grande profondeur dans le sol (*fig. 6*). Cet appareil est essentiellement utilisé pour étudier la variation de la valeur de déflexion en un point donné en fonction de plusieurs paramètres (température, charge, vitesse de passage, etc...). Ce capteur ne permet pas par ailleurs de déterminer le rayon de courbure.

5.2. Les appareils à fonctionnement discontinu :

Dans cette catégorie on connaît trois appareils :

- Déflectomètre optique
- Déflectomètre à masselottes (Dynatest)
- Poutre de Benkelman.





L'appareil le plus connu et le plus courant est la poutre de Benkelman. La poutre est portée par un trepied muni d'un comparateur et palpe à son extrémité la déformation verticale causée par le passage d'un jumelage.

La poutre permet aussi après quelques transformations de mesurer le rayon de courbure de la chaussée et de l'enregistrer.

Le déflectomètre J.Y.C. est une tentative d'amélioration de la poutre Benkelman en essayant de remplacer les bras métalliques par un rayon lumineux. Cet appareil a été utilisé en France.

Le déflectomètre à masselottes ou Dynaflect est un appareil américain d'un principe tout à fait différent. La déflexion n'est plus engendrée par un véhicule mais par un vibreur mécanique à basse fréquence. Le capteur utilisé est un géophone.

5.3. Les appareils à fonctionnement continu :

Il existe à notre connaissance 4 appareils :

- Déflectographe californien.
- Déflectographe Danois
- Déflectographe Lacroix
- Curiamètre.

Le défléctographe californien est entré en service vers les années 1960. Cet appareil comprend un camion équipé de poutres Benkelman jumelées placées en avant des roues arrières. Le mode opératoire de l'engin permet de reproduire exactement les mesures à la poutre Benkelman.

Le Laboratoire National des Routes du Danemark a également construit un appareil de même type. La figure 7 illustre le mode de fonctionnement de ce type d'appareil et met en évidence les difficultés qu'on peut avoir pour effectuer des mesures hors alignements droits.

X Le défléctographe Lacroix est l'appareil le plus utilisé actuellement pour effectuer de mesures de portance type Benkelman avec un rendement élevé. Cet appareil a été mis au point en France et est entré en service en 1964. L'appareil est composé d'un camion muni d'un chariot de mesure (poutre + 2 palpeurs mobiles) fixé sous son châssis. L'ensemble est rétractable ; il repose sur la chaussée pendant l'exécution des mesures seulement. Lorsque les palpeurs ont atteint le point de déformation maximale le chariot est ramené en avant par un système de câble et le cycle recommence. Le schéma de l'appareil est donné à la figure 8.

En 1973 un nouvel appareil de mesure des déflexions à grand rendement a été mis au point en France. L'appareil intitulé curvi-mètre C.E.B.T.P. mesure la déflexion tous les 12,50 m dans l'axe du jumelage arrière droit d'un camion roulant à une vitesse de 18km/h. Le principe de mesure est différent : l'appareil enregistre à l'aide d'un géophone l'accélération verticale du sol apparaissant au moment du passage de la charge.

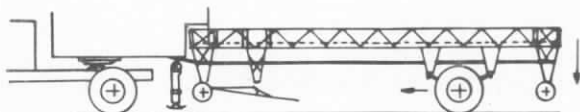


Fig. A - Le déflectographe se déplace à 1,5 Km/h
le chassis est placé sur la surface de la route



Fig. B - On remet à zéro les capteurs

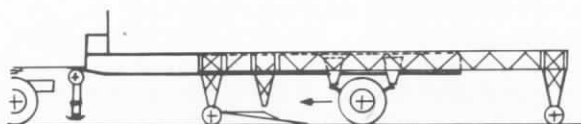


Fig. C - Les roues s'approchent du point de mesure

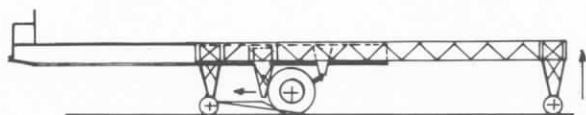
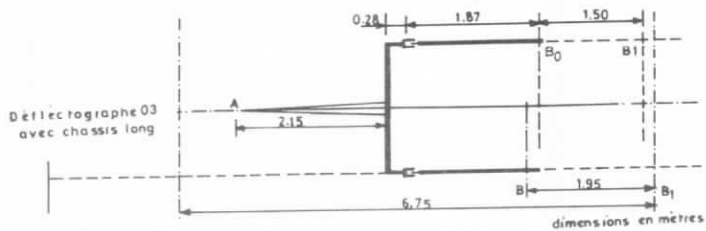
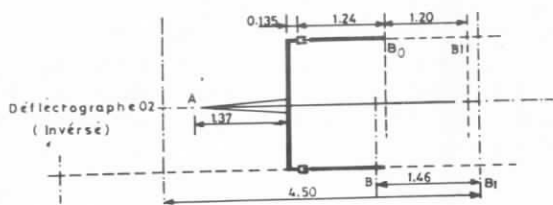
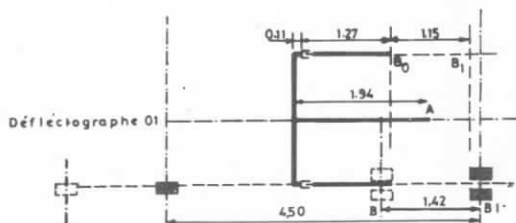


Fig. D - Les roues dépassent le point de mesure - le chassis est relevé



Fig. E - Le chassis se déplace vers l'avant pour reprendre sa position de départ
le déflectographe est prêt pour le prochain cycle de mesure

DETAILS DES DEFLECTOGRAPHES
LA CROIX TYPE 01.02.03



B/B - Déplacement des roues

B₀B₁ - Longueur d'enregistrement de la déflexion

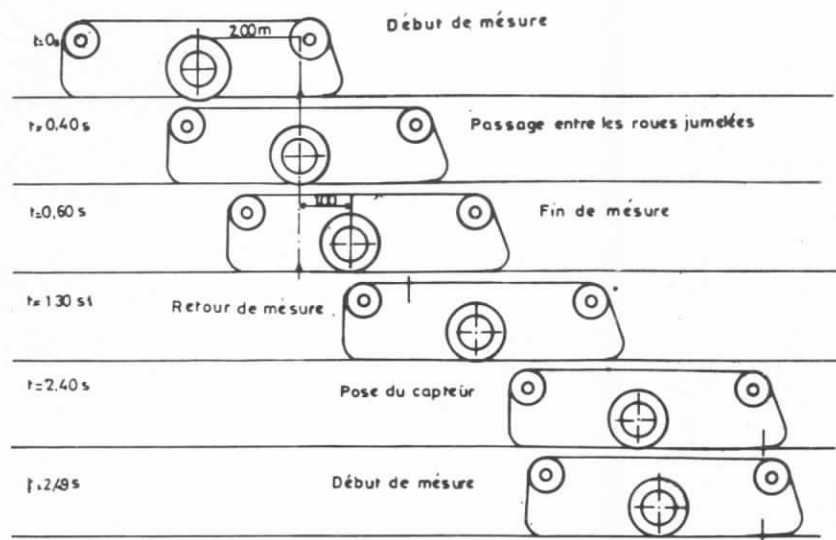
Pour la réalisation pratique de la mesure le capteur géophone est placé sur une chenille souple constituant une boucle fermée d'une longueur totale de 12,45 m. Avec le roulement de l'engin le capteur est déposé périodiquement sur le sol à 2,50 m en avant du jumelage et dans l'axe de celui-ci. Ce capteur enregistre les signaux correspondants au mouvement de la structure lors du passage du jumelage du camion. Le schéma 9 illustre le cycle de mesure du curviamètre.

6—Comparaison des systèmes de mesure de déflexion :

On se limite ici à comparer les systèmes les plus connus pour mesurer la valeur de la déflexion. Le schéma de la figure 10 illustre 3 systèmes de mesure de déflexion. Le premier est celui de la mesure de déflexion au rebond « rebond déflexion » qui est utilisé par plusieurs pays. Le deuxième est le système anglais qui consiste à mesurer la déflexion totale et irréversible en plaçant la poutre entre le jumelage arrière du camion et en reculant lentement jusqu'à dépasser l'extrémité de la poutre. Le troisième système est celui utilisé par les défléctographes. Ainsi, les 3 systèmes de mesure donnent des résultats différents pour les mêmes conditions de mesure. L'erreur de mesure est la plus grande si le trepied Benkelman ou le patin de la poutre du défléctographe se trouvent dans la déformée de la chaussée. La solution dans un cas pareil est de changer la géométrie du matériel d'auscultation. Quand ceci n'est pas possible il faut déterminer pour chaque structure un coefficient de correction.

Figure : 9

CYCLE DE MESURE DE CURVIAMETRE CEBTP.



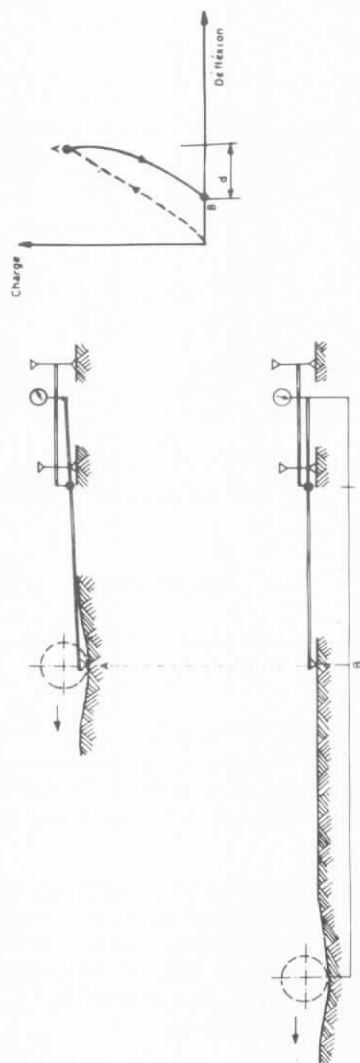
Ce point sera détaillé plus loin pour le cas du déflectographe. La différence entre les valeurs de mesure est due aussi à l'influence de la vitesse de passage du camion. Un autre phénomène qui est toujours présent pour les structures souples est celui de la viscoélasticité.

Ce phénomène de viscoélasticité nous montre clairement qu'il y a une grande différence entre mesure à charge statique (rebound déflexion) et mesure à charge quasi-statique (Déflectographe). Dans le premier cas la déflexion est la plus grande et la valeur de la partie plastique dépend entre autres du temps de stationnement du véhicule sur le point de mesure.

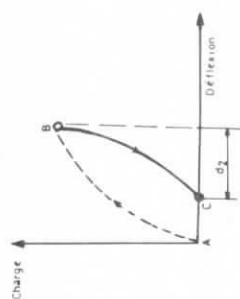
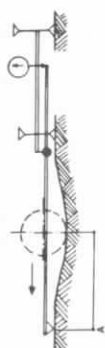
Il faut mentionner aussi que certains pays utilisent un autre système de mesure qui est similaire au 2^e cas décrit plus haut avec une amélioration concernant le stationnement du véhicule. Le mode opératoire prévoit de placer la poutre Benkelman derrière le jumelage

COMPARAISON DE SYSTEMES DE MESURE DE DEFLEXION

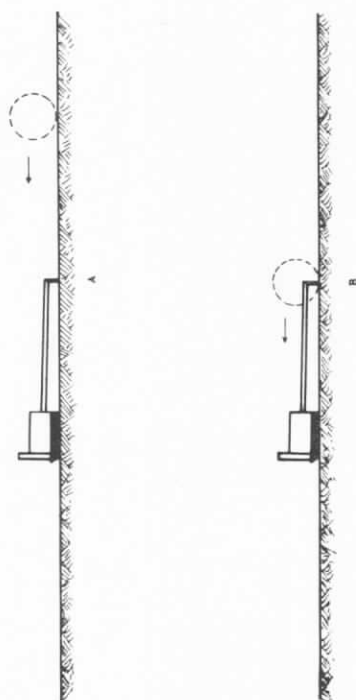
Figure : 10 (a)



COMPARAISON DE SYSTEMES DE MESURE DE DEFLEXION



COMPARAISON DE SYSTEMES DE MESURE DE DEFLEXION



$$d_1 > d_2 > d_3$$



Figure : 10 (-)

arrière du camion de façon que le système de référence de la poutre ne soit pas influencé par la déformée de la chaussée, puis de reculer lentement jusqu'à atteindre la position (a) de la figure 10 b et ensuite d'avancer jusqu'à dépasser le palpeur. Dans ce cas on observe que la déflexion maximale au retour est supérieure à la déflexion à l'aller. Ensuite il faut opérer très prudemment d'une part pour ne pas détériorer le matériel et d'autre part pour garder un cycle de chargement plus au moins exact et en particulier le temps d'arrêt. L'utilisation des cales pour remédier au premier problème provoque des transferts de charge et le freinage provoque des irrégularités de chargement. Malgré tout, la poutre Benkelman reste un appareil de référence indiscutable, à condition d'opérer en tenant compte de son comportement.

L'utilisation du défléctographe normal pour l'enregistrement de la ligne d'influence était et reste encore un sujet de discussion. Sur des chaussées souples la zone d'influence d'un essieu chargé à 13 tonnes est comprise entre 1 m et 1,20 m. De ce fait, pendant la mesure, les essieux avant et arrière créent une surface d'influence dont l'action se fait sentir au niveau des 3 appuis de la poutre de mesure. La ligne d'influence se trouve donc déformée. Les spécialistes du L.C.P.C. Français ont déduit d'une manière approximative d'après des travaux d'expérimentation sur le défléctographe normal l'erreur due au modèle normal par la formule suivante :

$$d_t - d_D = b_0 + 0,7(c - c_0) + 0,3(a - a_0)$$

où :

d_t : Déflexion totale que l'on souhaite mesurer.

d_D : Mesure obtenue au défléctographe normal

a, b, c : Déflexions de trois points d'appui en fin de mesure

a_0, b_0, c_0 : Déflexions des trois points d'appui au démarrage.

Cette formule ne tient pas compte d'autres erreurs imputables à l'ensemble du système de mesure.

Pour annuler le terme $d_t - d_D$, c'est à dire avoir une déflexion aussi proche de la réalité, on doit modifier la géométrie du système de mesure. Dans ce cas inverser la queue du défléctographe devrait permettre non pas d'améliorer la mesure de déflexion mais d'appréhender le rayon de courbure de la déformée de la chaussée. Ainsi naquit le défléctographe Lacroix modèle inversé 02 (figure 8).

Toujours d'après les travaux du L.C.P.C., après cette transformation l'erreur devient :

$$d_i - d_d = b_0 + 1,8(a - a_0) - 0,8(c - c_0)$$

Nous constatons qu'avec l'inversion de la queue du chariot du défléctographe les valeurs b_0 et a_0 deviennent pratiquement identiques.

Dans la première formule le terme $(c - c_0)$ est une fonction croissante sur la moitié de la mesure, puis décroissante et peut s'annuler en fin de mesure. Ce terme a donc comme conséquence, la modification de la courbe d'influence du rayon de courbure, mais pratiquement pas la déflexion finale, alors que dans la deuxième formule sa variation est monotone et faible surtout en fin de mesure. D'où il ne modifie que très peu le rayon de courbure de la déformée, mais entraîne une modification de la déflexion finale.

On conclut donc que l'inversion de la queue du défléctographe normal n'a pas apporté d'amélioration surtout pour la mesure de faibles déflexions. Ceci a conduit à augmenter la distance palpeur essieu arrière pour réduire l'effet de b_0 et augmenter la longueur du bras de mesure pour diminuer la valeur a_0 , d'où la nécessité d'augmenter la longueur du camion. Ainsi le défléctographe Lacroix type chassis long a vu le jour.

7—Support théorique de la déflexion :

L'ensemble théorique le plus riche dont on puisse disposer est celui des massifs stratifiés élastiques, isotropes, infinis horizontalement et soumis à une charge statique de révolution dans le sens vertical descendant. Les résultats de Boussines, Jeuffroy Bachelez ainsi que de Burmister sont bien connus. Ils donnent en général sous forme de tableaux ou d'abaques, les contraintes verticales de compression et les contraintes horizontales dans l'axe de la charge aux différents interfaces. Ces résultats actuellement sont calculés directement sur ordinateur à l'aide des programmes informatiques disponibles (ALIZE III, CIRCLY, BISAR).

En ce qui concerne la déflexion, il semblerait que son utilisation soit théoriquement justifiée par les considérations suivantes :

La fatigue d'un sol de fondation ne s'exprime qu'en partie de la déflexion. Il a été vérifié que pour un nombre de chargement donné la contrainte verticale du sol est :

$$G_z = \frac{0,006 \cdot E d_i}{1 + 0,7 \cdot \log N}$$

Ceci montre que la contrainte est linéairement proportionnelle au module dynamique du sol et inversement proportionnelle au logarithme du nombre de répétition de charge. La portance dans ce cas est caractérisée par le nombre limite de chargement et la valeur absolue de la déflexion joue un rôle d'information. Par exemple pour une structure donnée on enregistre une déflexion de 100/100 mm sous un jumelage chargé à 65 km. Cette déflexion est excellente pour une route à faible trafic et faible pour une route à trafic fort.

D'autres auteurs expriment la fatigue du sol par sa déformation élastique verticale ϵ_z et donnent la durée de vie d'une chaussée en fonction de ϵ_z . Les résultats de calcul sur des systèmes bicouches montrent que le rapport de la déflexion, au sommet du massif à la déformation ϵ_z à l'interface reste pratiquement indépendant des modules élastiques des deux matériaux pourvu que l'épaisseur de la couche supérieure ne varie pas (fig. 2). Ceci indique que la déflexion est un bon critère de longévité pour les chaussées qui périssent essentiellement par insuffisance de portance du sol support. On peut montrer aussi que la déformation horizontale à la base d'un revêtement est une fonction presque linéaire de la déflexion pour les mêmes bicouches avec des épaisseurs de la couche de roulement de 0,5 à 1,5 fois le rayon de charge et pour des rapports de module allant de 2 à 30 (cas des dalles en béton posées) directement sur le sol support) (fig. 2).

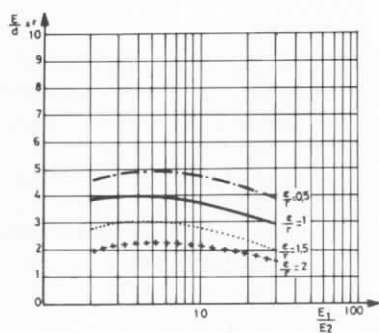


Figure : 11

Rapport de la déformation verticale à l'interface dans le milieu intérieur (E_2) à la déflexion à la surface (d) dans un bicouche.
 e = épaisseur de la couche supérieure
 r = rayon de charge
 d = déflexion à la surface
 E_2 = déformation verticale à l'interface

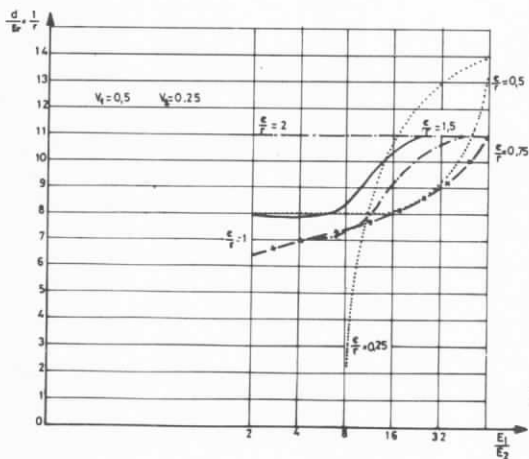


Figure : 12

Rapport de la déformation horizontale à l'interface dans le milieu intérieur (E_2) à la déflexion à la surface (d) dans un bicouche.
 e = épaisseur de la couche supérieure
 r = rayon de charge
 d = déflexion à la surface
 E_2 = déformation horizontale à l'interface

On peut aller plus loin en examinant les écarts entre l'hypothèse d'élasticité linéaire et ce qui en résulte en pratique en analysant différents paramètres :

- Le caractère visco-élastique des matériaux.
- L'effet des conditions climatiques sur les couches intermédiaires et le sol de fondation.
- Les caractéristiques du chargement.
- L'épaisseur de la chaussée etc...

Ainsi on peut conclure que tous les matériaux constituant le corps de chaussée ont un comportement souvent bien éloigné des hypothèses de l'élasticité linéaire. Mais, il est à remarquer aussi que pendant une grande partie de leur durée de vie les chaussées souples ont un comportement réversible.

A l'exception du début de fonctionnement de la chaussée pendant la période d'adaptation et à la fin de la vie lorsque les couches de chaussées se trouvent de plus en plus surchargées.

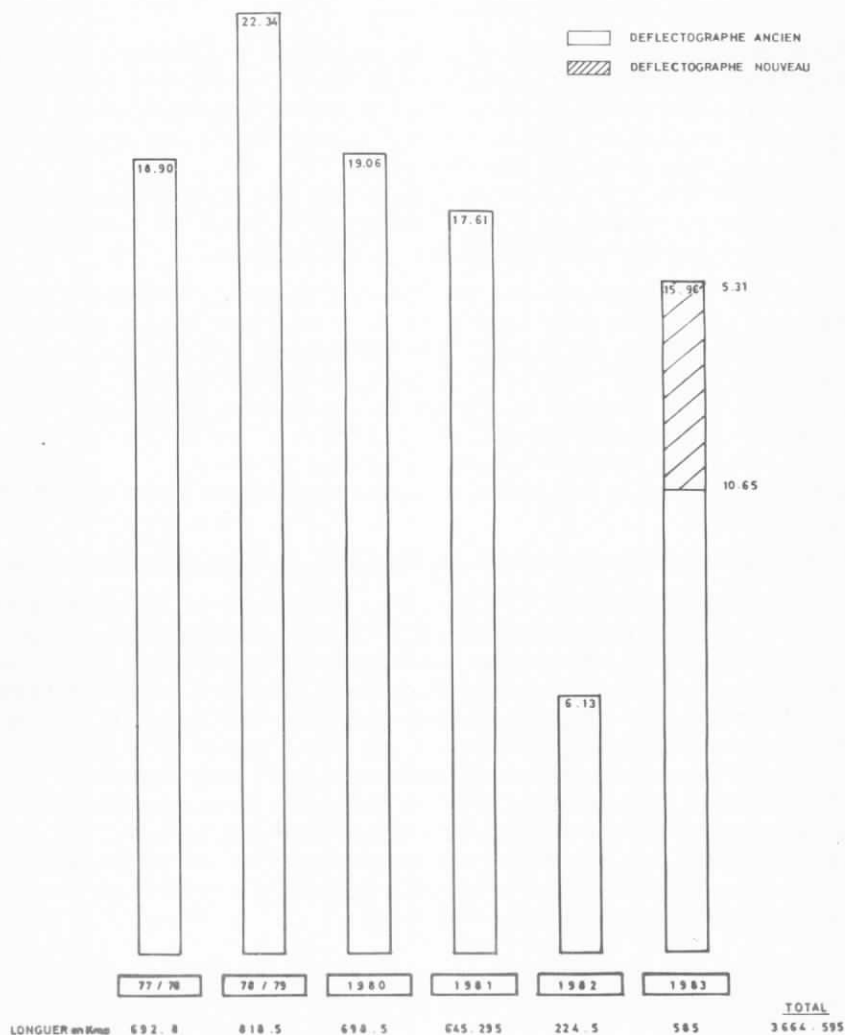
L'existence donc d'une période de comportement approximativement réversible et linéaire permet de se baser sur les résultats théoriques fondés sur l'hypothèse d'élasticité linéaire. De plus, la faiblesse de variation des caractéristiques élastiques de la chaussée au cours de la majeure partie de sa vie montre déjà que s'il est possible de considérer la déflexion comme un critère de l'aptitude d'une chaussée neuve à recevoir un trafic déterminé on ne pourra que difficilement la considérer comme un critère de l'état de fatigue de la route.

8—Expérience marocaine dans le domaine de mesure de déflexion :

Un déflectographe LCPC type 01 a été acheté en 1976 et a servi pour les mesures de déflexion à partir de la campagne 1977. L'usage intensif auquel il a été soumis a accentué son usure et la Direction des Routes et de la Circulation Routière a décidé d'acheter encore 2 autres nouveaux déflectographes dont un a été acquis en janvier 1983 et le deuxième est en commande. Nous avons donc au Maroc une expérience de mesure de déflexion de 7 ans. Pendant cette période 3.665 kms de route ont été auscultés pour des besoins de renforcement. La répartition des mesures par année est donnée par la figure 13. Jusqu'à présent les mesures de déflexion ont été faites pour répondre directement aux besoins d'entretien du réseau sur des sections préalablement choisies.

Tableau 1 : 7

RECAPITULATIF DES MESURES DE DEFLEXION



Ceci veut dire qu'avec les contraintes qu'on avait on n'a pas pu développer des mesures systématiques sur quelques sections pour étudier la valeur de la déflexion et sa signification pour nos structures, notre trafic et climat.

A partir de 1982 le C.N.E.R. a essayé de changer dans ce style de travail pour faire des expérimentations visant à maîtriser la valeur de la déflexion. Cette attitude se montre clairement par la baisse des longueurs de sections auscultées à la demande à partir de la campagne 1982. Notre programme de recherche ne fait que commencer et nous ne pouvons donner ici que de résultats partiels.

Nous nous sommes basés sur les considérations suivantes :

—Le critère de déflexion est un indicateur du trafic qu'a pu ou pourra supporter la chaussée auscultée avant dégradation. Ceci veut dire qu'il existe une valeur de déflexion que doit présenter une chaussée pour supporter un trafic donné. Cette valeur n'est pas universelle et dépend de plusieurs paramètres dont les plus importants sont la nature du trafic et le type de structure.

—L'épaisseur de renforcement peut être calculée si nous connaissons la déflexion initiale de l'ancienne chaussée et la déflexion admissible de la nouvelle structure. Il existe donc une relation entre l'épaisseur d'un renforcement et la réduction de la déflexion moyenne après renforcement.

—Chaque matériau de renforcement possède son propre pouvoir réducteur. Il y a donc une notion de puissance de renforcement comparable à celle de l'équivalence des matériaux.

—Pendant la durée de vie d'une structure on peut distinguer 3 modes de fonctionnement (*fig. 14*) :

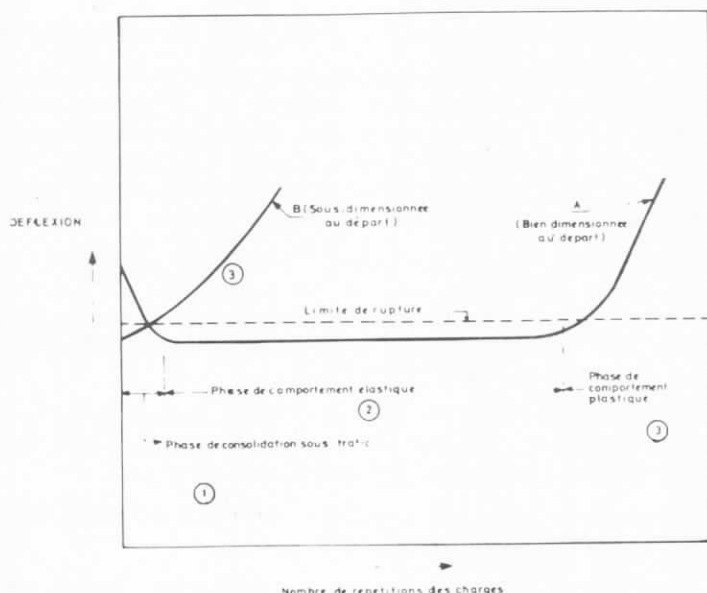
- Une première période de consolidation juste après la construction et pendant laquelle la déflexion mesurée n'est pas constante et diminue en fonction des différents degrés de compacité.
- Une deuxième période de comportement élastique. Les déflexions de cette phase sont reliées à la durée de vie.
- Une troisième période de comportement plastique qui traduit l'état de fatigue de la structure.

8.1. Déflexion Admissible :

Selon la littérature on trouve des seuils de déflexion définis de diverses manières :

- Par observation et expérience du réseau routier.
- Par transposition des résultats des pays étrangers.
- Ou par expérimentation en laboratoire, qui permet de

MODE DE FONCTIONNEMENT DES
CHAUSSEES SOUPLES



définir la déflexion limite correspondant à la fatigue de différents matériaux.

Dans toute la mesure du possible nous avons essayé d'éviter leur transposition pure et simple au réseau national, compte tenu des différences de climat, de structure de chaussées, de trafic etc...

Nous avons donc essayé de sélectionner des sections pour lesquelles on dispose d'un historique et d'une bonne connaissance du trafic. Là notre travail d'analyse des problèmes s'est trouvé limité par l'imprécision sinon l'absence de données initiales ou de graphique routier résumant l'ensemble des observations sur le comportement des chaussées.

Les critères de choix des sections étaient :

— Une bonne connaissance de l'historique de la section

- Une connaissance précise du trafic qui a circulé sur la section depuis la construction ou la dernière intervention.
- Une connaissance des conditions de mesure.
- Une valeur élevée de la déflexion
- Une connaissance de l'état visuel des sections.

Les rapports 3^e et 4^e P.G.R. ont servi de base, mais il est difficile d'en dégager des sections qui donnent satisfaction à tous les critères de choix car :

1— Sur l'ensemble des sections étudiées en 3^e P.G.R. l'histogramme de déflexions montre que :

- 10 % des valeurs sont inférieures à 50/100 mm
- 65 % des valeurs sont inférieures à 100/100
- 87 % des valeurs sont inférieures à 150/100 mm

En ce qui concerne ceux du 4^e P.G.R. 74,3 % des sections ont été ausculté. L'histogramme des déflexions montre que :

- 17,5 % des valeurs sont inférieures à 50/100 mm
- 69 % des valeurs sont inférieures à 100/100 mm
- 93 % des valeurs sont inférieures à 150/100 mm

Et puisqu'il fallait choisir des sections qui ont des déflexions supérieures à 150/100 mm qui représentent un état limite de fonctionnement il nous reste que 13 % de la longueur totale des sections 3^e P.G.R. et 7 % de celle du 4^e P.G.R.

2— Les conditions de mesure n'ont été enregistré qu'à partir de la 3^e mission de la campagne 1980. Et pour la majorité des sections la teneur en eau était basse et la température de la chaussée pendant les mesures variait entre 26 et 41° C.

3— L'historique et le trafic des sections n'est connu que de façon approximative.

Aussi avons nous ausculté des sections complémentaires et sélectionné quelques sections en nous basant sur leur relevé visuel avec les catégories suivantes :

1 B. (1 Bon) :

Dans les conditions du trafic actuel et en supposant un entretien courant la route ne nécessite probablement pas de renforcement dans les 10 ans à venir.

2 B. (2 Bon) :

La route peut supporter un trafic plus grand (une classe supérieure).

3 B. (3 Bon) :

La route peut supporter un trafic plus grand (deux classes supérieures).

1 M. (1 *Mauvais*) :

La route ne supporte pas le trafic actuel seulement avec un entretien permanent.

La route doit être renforcée dans 10 ans.

2 M. (2 *Mauvais*) :

La route ne supporte pas non plus un trafic de deux classes inférieures.

La route nécessite un renforcement dans 5 ans.

3 M. (3 *Mauvais*) :

Nécessité de renforcement immédiat.

La courbe de déflexion des sections classées en 1 M. et 2 M. en fonction du trafic (durée de vie) constitue ainsi le critère de déflexion recherché. Ce critère a été comparé avec les critères élaborés à l'étranger (*fig. 15*). On constate que notre critère est placé au dessous des autres critères et cela doit encore être contrôlé. A présent on peut expliquer cette différence par le climat modéré du pays et par la nature du trafic peu agressif.

A travers ces résultats on peut aussi remarquer que la déflexion a servi pour sélectionner des sections homogènes en comportement mais la valeur absolue n'a servi que dans quelques cas pour dimensionner le renforcement et ceci parce que sa valeur était faible.

Par exemple dans le cadre du 3^e P.G.R. le dimensionnement des sections a été fait à :

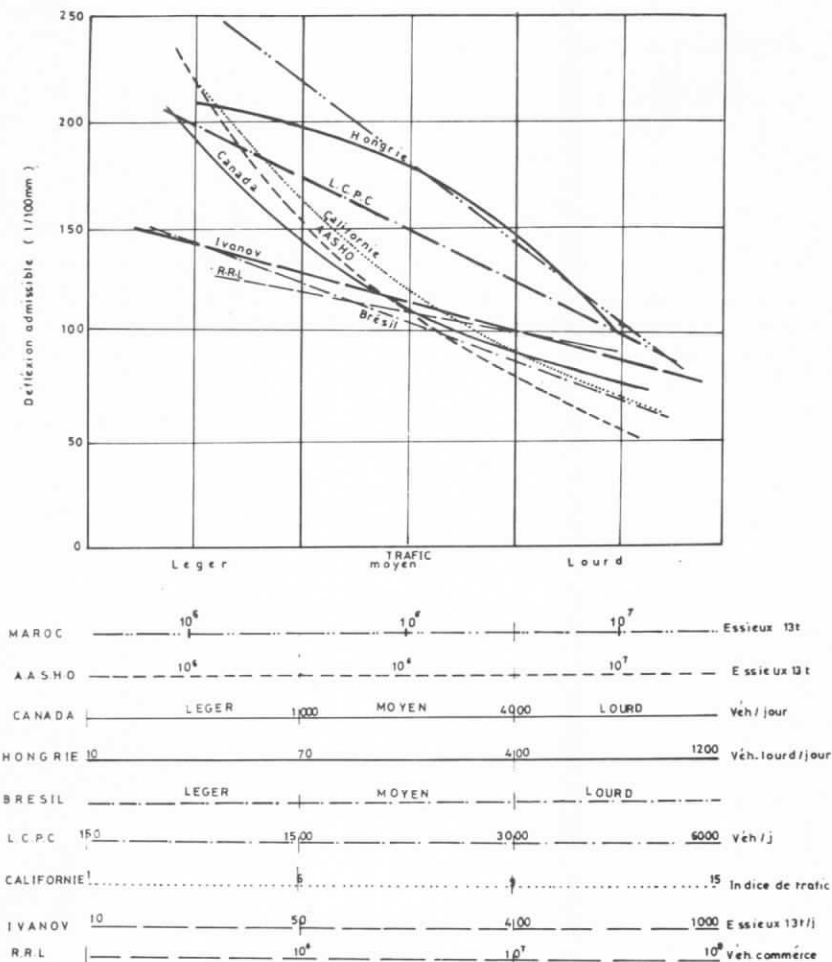
- 40 % par des méthodes utilisant la déflexion
- 60 % par d'autres méthodes.

8.2. Relation trafic - Epaisseur de renforcement :

Sur l'ensemble des sections nous avons essayé de trouver une relation qui doit exister entre l'épaisseur de renforcement exprimé en E.B. et le trafic qui doit circuler sur ces sections. Pour permettre une comparaison avec les relations étrangères nous avons été amené à distinguer 3 catégories de déflexion initiale (100, 200, 300/100 mm). Cette relation existe pour les structures à trafic moyen et lourd et dont la déflexion ne dépasse pas 200/100 mm. Pour la 3^e catégorie nous avons reporté seulement les résultats des pays étrangers (*Figure 16*).

COURBES RELIANT LE TRAFIC A LA DEFLEXION ADMISSIBLE
POUR DIVERSES METHODES

Figure : 45



8.3. Conditions météorologiques de mesures :

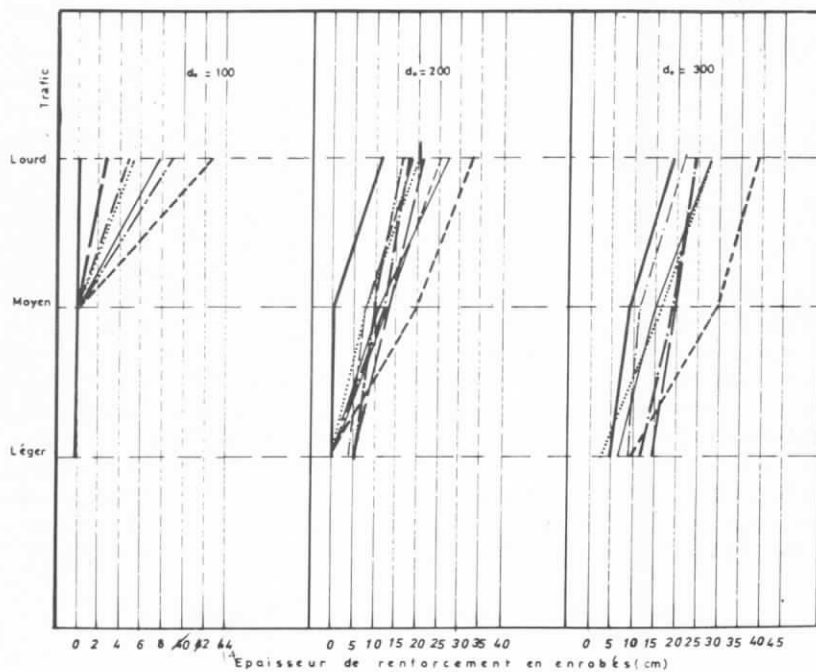
Les campagnes de mesures ont débuté normalement au mois de Janvier et elles se sont déroulées jusqu'au mois de juin. Vu la diversité des sections auscultées celle période ne correspondait pas sur l'ensemble du territoire aux moments favorables pour les mesures.

8.3.1. Température :

L'ensemble de mesure dont on dispose pour les sections où la température de la chaussée a été mesurée nous montre le fonctionnement viscoélastique de la couche superficielle d'enrobé. Nous avons eu donc le problème d'une couche de surface de module inférieur à celui de la fondation. Ceci nous a amené à limiter les périodes de mesure en fonction de la température dans la chaussée. Lorsque celle-ci atteint la valeur de 35°C on arrête les mesures. Les données disponibles ne donnent pas une grande fourchette de température, mais elles nous ont permis de déterminer des coefficients de corrections pour ramener la valeur de la déflexion à la température de 25°C pour des couches en enrobé de 13 à 20 cm. Ces coefficients ont des valeurs différentes pour la valeur de déflexion :

RELATION ENTRE LE TRAFIC ET L'ÉPAISSEUR DE RENFORCEMENT
POUR DIFFÉRENTES VALEURS DE d_0

Figure : 16



- - - - - MAROC
 - - - - - AASHO
 - - - - - CANADA
 - - - - - HONGRIE
 - - - - - BRÉSIL
 - - - - - RRL
 - - - - - IVANOV
 CALIFORNIE
 - . - . - LCPC

d_0 : Déflexion initiale avant renforcement

	D_{90}	50/100 mm	$k = 1,00$
50/100 mm	D_{90}	100/100 mm	$k = 1,10$
100/100 mm	D_{90}	150/100 mm	$k = 1,15$
	D_{90}	150/100 mm	$k = 1,20$

8.3.2 Teneur en eau dans le sol :

La recherche d'une relation qui exprime l'état d'équilibre (teneur en eau) sous chaussée est une activité à part qui concerne le programme général de recherche dans le domaine de conception et de structure de chaussée.

Puisque nous avons procédé systématiquement à la mesure de la teneur en eau sous chaussée au cours des campagnes de mesure de déflexion nous profitons de cette occasion pour donner les résultats que nous avons pu dégager de ces valeurs.

L'ensemble de ces valeurs n'était pas suffisant pour dégager une relation entre la teneur en eau sous chaussée et la valeur de déflexion parce que nous n'avons pas procédé à des mesures représentatives sur un même tronçon à différentes époques. Une comparaison entre ces valeurs et la pluviométrie mensuelle enregistrée dans la station la plus proche du point de mesure ne montre pas non plus qu'il y a une relation simple entre ces deux paramètres à cause d'une dispersion trop grande des points. Par contre, une comparaison des valeurs de teneur en eau naturelle avec la teneur en eau optimale Proctor modifié et la teneur en eau obtenue après imbibition à 4 jours d'immersion dans l'eau pour différents types de sol montre qu'il y a des relations significatives. Ces relations qui sont les résultats d'une population représentative sont les suivants :

$$W_n = 1,68 + 0,84 W_{opm} \quad R = 0,86$$

$$W_n = 1,58 + 0,72 W_{inb} \quad R = 0,92$$

Malgré le caractère provisoire qu'il faut accorder à ces relations elles nous donnent une idée sur ce qui se passe sous la chaussée et montre que pratiquement la teneur en eau naturelle n'atteint pas la valeur de la teneur en eau après imbibition. Pour le problème de dimensionnement cette constatation mérite un grand intérêt.

8.4. Correlations entre appareils de mesure :

Faire les mesures de déflexion avec deux défléctographes Lacroix d'une part et des poutres Benkelman d'autre part nécessite la connaissance de la correspondance entre ces différents appareils. Aussi avons nous procédé sur 2 sections (RS 222 et RP 1) à des mesures répétitives avec chacun des appareils dans les mêmes conditions de mesure. L'inconvénient que posent ces deux sections est la faible déflexion. Nous n'avons pas pu tester ce matériel

jusqu'à présent sur d'autres sections à déflexion élevée. Les résultats dont on dispose actuellement sont divisés en deux parties :

1—Les essais de reproductibilité :

Cinq passages de chacun des défléctographes ont été réalisés sur chacune des deux sections. La position des poutres de mesure a été chaque fois marquée sur la chaussée pour permettre d'effectuer des mesures à la Benkelman sur les mêmes points de mesure de défléctographe. La figure 17 donne une idée sur les résultats obtenus au défléctographe.

2—Les essais de corrélation :

Les résultats des cinq passages ont permis de calculer une corrélation entre les deux défléctographes et entre chacun d'eux et la poutre Benkelman. Ces corrélations sont valables seulement pour les déflexions inférieures à 100/100 mm.

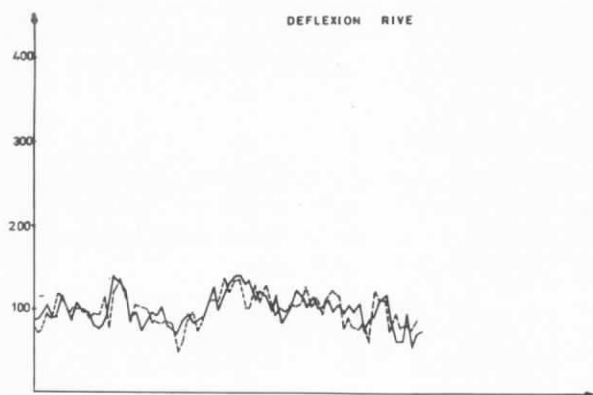
$$D_{02} = 0,86 D_{01} + 0,23 \quad R = 0,73$$

$$D_p = 0,64 D_{02} + 0,22 \quad R = 0,70$$

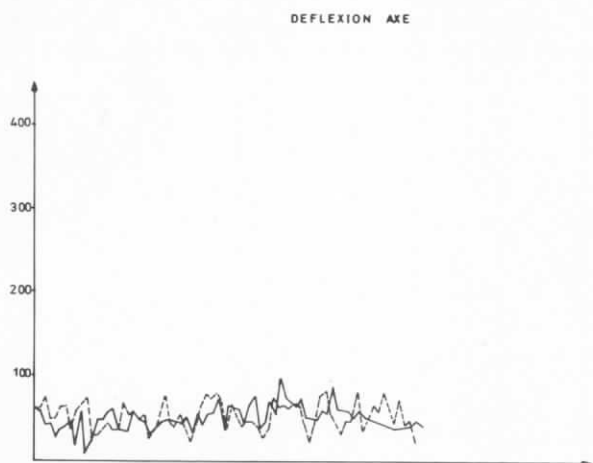
$$D_p = 0,54 D_{01} + 0,42 \quad R = 0,67$$

Ceci montre d'une façon générale que l'ancien défléctographe (01) donne des valeurs inférieures au nouveau (02). Ceci peut provenir de l'état des capteurs de l'ancien défléctographe qui ne donnent pas de signal au début de la mesure. La différence en général est de 15/100 mm pour les faibles déflexions (100/100 mm). La poutre Benkelman donne des valeurs plus élevées pour cette gamme de valeurs.

Figure 17



REPRODUCTIBILITE DU DEFLECTOGRAPHE LA CROIX



8.5. Exploitation de la déflexion :

On dispose de deux types de défléctographe :

- L'un qui continue à fonctionner avec caméra.
- L'autre sur papier millimétré et bande perforée.

Pour l'ancien défléctographe la procédure de saisie de donnée a été très fatigante et longue. Sur l'ordinateur du centre on a développé un programme universel qui permet de faire la saisie des films ou papier millimétré directement à partir du digitaliseur, ou à partir d'une bande perforée via lecteur de bande. La chaîne de programme est faite pour :

- Faciliter et éliminer les erreurs au fur et à mesure de la saisie.

Faire un traitement aussi universel qui permet de changer le pas et la longueur de lissage, calculer les sections homogènes en spécifiant un critère de sévérité qui varie entre 1 et 9.

- La chaîne de programme permet aussi de constituer des fichiers informatisés pour permettre un traitement rapide et un stockage des résultats pour les fournir à la Banque de Données Routières.

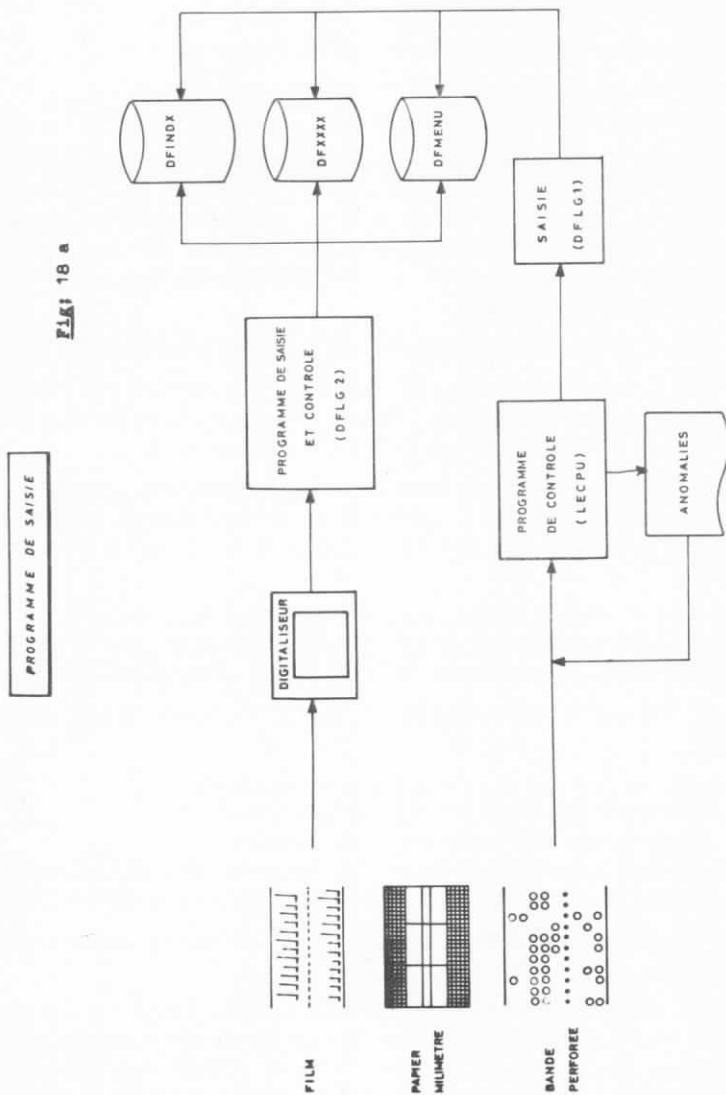
Le grand intérêt de ce programme c'est qu'il permet un grand choix au divers traitement chose qui facilite les études et recherche de corrélations. Le schéma 18 illustre la chaîne de programme.

Les résultats imprimés sont aussi donnés sous plusieurs formes :

- Axe et rive sur la même page ou séparés
- Maxima des deux mesures l'axe et rive.
- Listing des événements (Localisation)
- Un histogramme de dispersion des valeurs de déflexion.
- Traçage direct des valeurs de déflexion sur table traçante.

Un exemple est donné ci-joint pour quelques résultats de ce programme.

Dans cette chaîne de programme on a introduit la formule de déflexion limite et la formule de calcul de dimensionnement (formule COLAS) qui nous permettent de calculer l'épaisseur de renforcement en EB pour plusieurs stratégies de dimensionnement en tenant du trafic et de l'historique de la section. Un exemple de calcul de la RP 3 est donné ci-joint.



PROGRAMMES D'EXPLOITATION

Fig: 18 b

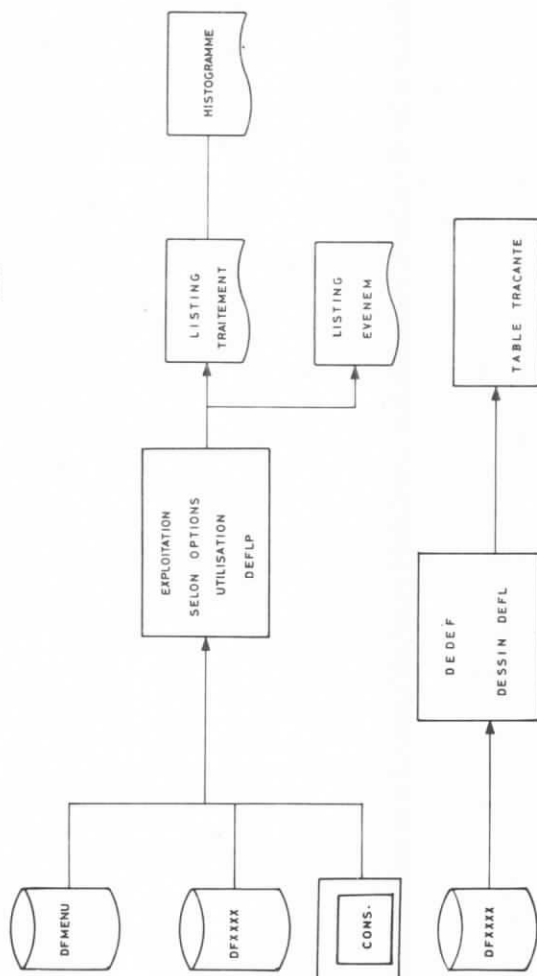
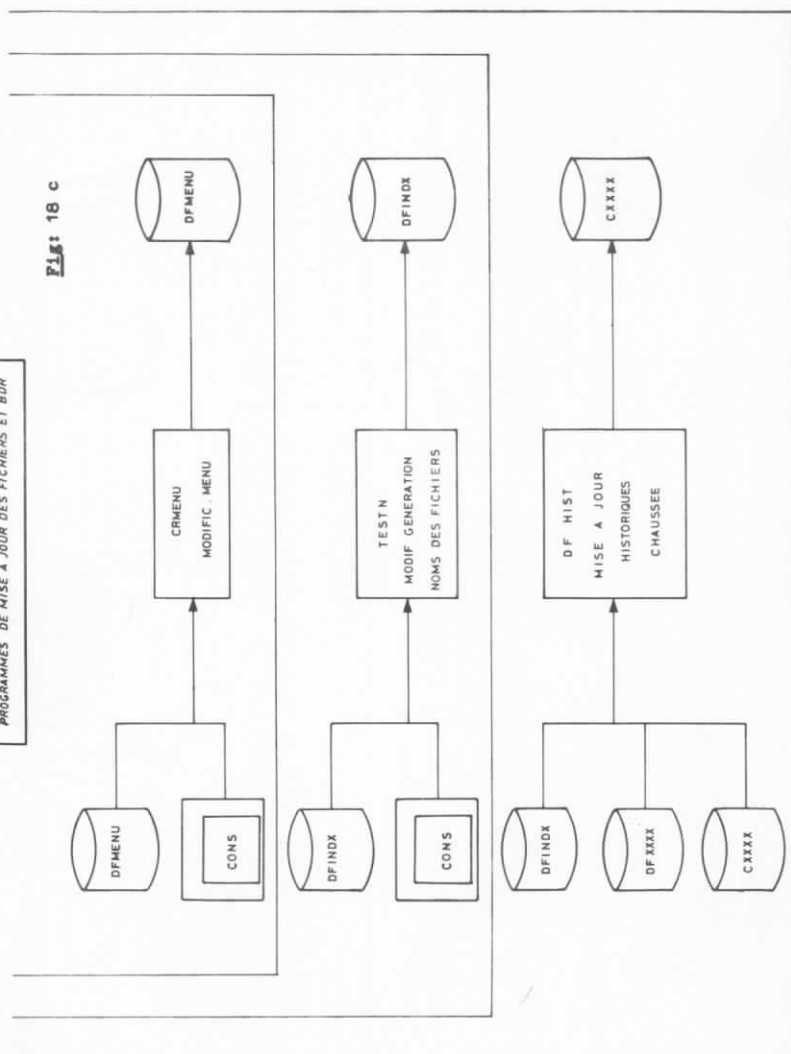


Fig. 18 c



9—Conclusion

Il existe de nombreux matériels pour la mesure de la déflexion qui ont fait la preuve de leur efficacité. Cependant il faut connaître les conditions d'utilisation du matériel et tenir compte de ces conditions dans l'interprétation des mesures.

Dans notre pays les sols n'atteignent un degré de saturation convenable aux mesures de déflexion que pendant 1 à 2 mois de l'année ce qui rend les mesures de déflexion dans les conditions d'humidité les plus défavorables, difficiles à réaliser. Aussi, le nombre d'engin disponible est insuffisant pour couvrir les besoins en mesure sur tout le territoire. C'est pour ces raisons qu'il faut procéder à des mesures systématiques sur des sections échantillonnées, plusieurs fois par an pour permettre par la suite de déterminer la mesure correspondante à la période la plus défavorable et par la suite à une généralisation à l'aide d'un modèle de comportement de structure.

Il est à remarquer que les problèmes d'exploitation des résultats ont été résolus et le système existant au C.N.E.R. actuellement peut répondre aux besoins que pourrait souhaiter tel ou tel utilisateur.

EXPLOITATION DES DEFLEXIONS

ROUTE: 3

PK DEBUT:133.000 PK FIN:135.000

NOMBRE DE MESURES: 607

DEFLECTO:0

OPTION :3

D90-95:1

PAS :20.0

LISSAGE: 11

T TEST: 3

OPTION TRAFIC:1

CNR DATE 6-9-1983 PAGE 2
 ROUTE WP 3 DU PR 133.000 AU PK. 135.000 AXI ET RVX

DEFLEXION-DEFLECTOGRAPHIE LACROIX
 TRAJET:

DEF L1M A 4 ANS=114, 0 ANS=101, 12 ANS= 92, 16 ANS= 83, 18 ANS= 75, 20 ANS= 67, 22 ANS= 60, 24 ANS= 53, 26 ANS= 46, 28 ANS= 39, 30 ANS= 32, 32 ANS= 25, 34 ANS= 18, 36 ANS= 11, 38 ANS= 4, 40 ANS= -3, 42 ANS= -10, 44 ANS= -17, 46 ANS= -24, 48 ANS= -31, 50 ANS= -38, 52 ANS= -45, 54 ANS= -52, 56 ANS= -59, 58 ANS= -66, 60 ANS= -73, 62 ANS= -80, 64 ANS= -87, 66 ANS= -94, 68 ANS= -101, 70 ANS= -108, 72 ANS= -115, 74 ANS= -122, 76 ANS= -129, 78 ANS= -136, 80 ANS= -143, 82 ANS= -150, 84 ANS= -157, 86 ANS= -164, 88 ANS= -171, 90 ANS= -178, 92 ANS= -185, 94 ANS= -192, 96 ANS= -199, 98 ANS= -206, 100 ANS= -213, 102 ANS= -220, 104 ANS= -227, 106 ANS= -234, 108 ANS= -241, 110 ANS= -248, 112 ANS= -255, 114 ANS= -262, 116 ANS= -269, 118 ANS= -276, 120 ANS= -283, 122 ANS= -290, 124 ANS= -297, 126 ANS= -304, 128 ANS= -311, 130 ANS= -318, 132 ANS= -325, 134 ANS= -332, 136 ANS= -339, 138 ANS= -346, 140 ANS= -353, 142 ANS= -360, 144 ANS= -367, 146 ANS= -374, 148 ANS= -381, 150 ANS= -388, 152 ANS= -395, 154 ANS= -402, 156 ANS= -409, 158 ANS= -416, 160 ANS= -423, 162 ANS= -430, 164 ANS= -437, 166 ANS= -444, 168 ANS= -451, 170 ANS= -458, 172 ANS= -465, 174 ANS= -472, 176 ANS= -479, 178 ANS= -486, 180 ANS= -493, 182 ANS= -500, 184 ANS= -507, 186 ANS= -514, 188 ANS= -521, 190 ANS= -528, 192 ANS= -535, 194 ANS= -542, 196 ANS= -549, 198 ANS= -556, 200 ANS= -563, 202 ANS= -570, 204 ANS= -577, 206 ANS= -584, 208 ANS= -591, 210 ANS= -598, 212 ANS= -605, 214 ANS= -612, 216 ANS= -619, 218 ANS= -626, 220 ANS= -633, 222 ANS= -640, 224 ANS= -647, 226 ANS= -654, 228 ANS= -661, 230 ANS= -668, 232 ANS= -675, 234 ANS= -682, 236 ANS= -689, 238 ANS= -696, 240 ANS= -703, 242 ANS= -710, 244 ANS= -717, 246 ANS= -724, 248 ANS= -731, 250 ANS= -738, 252 ANS= -745, 254 ANS= -752, 256 ANS= -759, 258 ANS= -766, 260 ANS= -773, 262 ANS= -780, 264 ANS= -787, 266 ANS= -794, 268 ANS= -801, 270 ANS= -808, 272 ANS= -815, 274 ANS= -822, 276 ANS= -829, 278 ANS= -836, 280 ANS= -843, 282 ANS= -850, 284 ANS= -857, 286 ANS= -864, 288 ANS= -871, 290 ANS= -878, 292 ANS= -885, 294 ANS= -892, 296 ANS= -899, 298 ANS= -906, 300 ANS= -913, 302 ANS= -920, 304 ANS= -927, 306 ANS= -934, 308 ANS= -941, 310 ANS= -948, 312 ANS= -955, 314 ANS= -962, 316 ANS= -969, 318 ANS= -976, 320 ANS= -983, 322 ANS= -990, 324 ANS= -997, 326 ANS= -1004, 328 ANS= -1011, 330 ANS= -1018, 332 ANS= -1025, 334 ANS= -1032, 336 ANS= -1039, 338 ANS= -1046, 340 ANS= -1053, 342 ANS= -1060, 344 ANS= -1067, 346 ANS= -1074, 348 ANS= -1081, 350 ANS= -1088, 352 ANS= -1095, 354 ANS= -1102, 356 ANS= -1109, 358 ANS= -1116, 360 ANS= -1123, 362 ANS= -1130, 364 ANS= -1137, 366 ANS= -1144, 368 ANS= -1151, 370 ANS= -1158, 372 ANS= -1165, 374 ANS= -1172, 376 ANS= -1179, 378 ANS= -1186, 380 ANS= -1193, 382 ANS= -1200, 384 ANS= -1207, 386 ANS= -1214, 388 ANS= -1221, 390 ANS= -1228, 392 ANS= -1235, 394 ANS= -1242, 396 ANS= -1249, 398 ANS= -1256, 400 ANS= -1263, 402 ANS= -1270, 404 ANS= -1277, 406 ANS= -1284, 408 ANS= -1291, 410 ANS= -1298, 412 ANS= -1305, 414 ANS= -1312, 416 ANS= -1319, 418 ANS= -1326, 420 ANS= -1333, 422 ANS= -1340, 424 ANS= -1347, 426 ANS= -1354, 428 ANS= -1361, 430 ANS= -1368, 432 ANS= -1375, 434 ANS= -1382, 436 ANS= -1389, 438 ANS= -1396, 440 ANS= -1403, 442 ANS= -1410, 444 ANS= -1417, 446 ANS= -1424, 448 ANS= -1431, 450 ANS= -1438, 452 ANS= -1445, 454 ANS= -1452, 456 ANS= -1459, 458 ANS= -1466, 460 ANS= -1473, 462 ANS= -1480, 464 ANS= -1487, 466 ANS= -1494, 468 ANS= -1501, 470 ANS= -1508, 472 ANS= -1515, 474 ANS= -1522, 476 ANS= -1529, 478 ANS= -1536, 480 ANS= -1543, 482 ANS= -1550, 484 ANS= -1557, 486 ANS= -1564, 488 ANS= -1571, 490 ANS= -1578, 492 ANS= -1585, 494 ANS= -1592, 496 ANS= -1599, 498 ANS= -1606, 500 ANS= -1613, 502 ANS= -1620, 504 ANS= -1627, 506 ANS= -1634, 508 ANS= -1641, 510 ANS= -1648, 512 ANS= -1655, 514 ANS= -1662, 516 ANS= -1669, 518 ANS= -1676, 520 ANS= -1683, 522 ANS= -1690, 524 ANS= -1697, 526 ANS= -1704, 528 ANS= -1711, 530 ANS= -1718, 532 ANS= -1725, 534 ANS= -1732, 536 ANS= -1739, 538 ANS= -1746, 540 ANS= -1753, 542 ANS= -1760, 544 ANS= -1767, 546 ANS= -1774, 548 ANS= -1781, 550 ANS= -1788, 552 ANS= -1795, 554 ANS= -1802, 556 ANS= -1809, 558 ANS= -1816, 560 ANS= -1823, 562 ANS= -1830, 564 ANS= -1837, 566 ANS= -1844, 568 ANS= -1851, 570 ANS= -1858, 572 ANS= -1865, 574 ANS= -1872, 576 ANS= -1879, 578 ANS= -1886, 580 ANS= -1893, 582 ANS= -1900, 584 ANS= -1907, 586 ANS= -1914, 588 ANS= -1921, 590 ANS= -1928, 592 ANS= -1935, 594 ANS= -1942, 596 ANS= -1949, 598 ANS= -1956, 600 ANS= -1963, 602 ANS= -1970, 604 ANS= -1977, 606 ANS= -1984, 608 ANS= -1991, 610 ANS= -1998, 612 ANS= -2005, 614 ANS= -2012, 616 ANS= -2019, 618 ANS= -2026, 620 ANS= -2033, 622 ANS= -2040, 624 ANS= -2047, 626 ANS= -2054, 628 ANS= -2061, 630 ANS= -2068, 632 ANS= -2075, 634 ANS= -2082, 636 ANS= -2089, 638 ANS= -2096, 640 ANS= -2103, 642 ANS= -2110, 644 ANS= -2117, 646 ANS= -2124, 648 ANS= -2131, 650 ANS= -2138, 652 ANS= -2145, 654 ANS= -2152, 656 ANS= -2159, 658 ANS= -2166, 660 ANS= -2173, 662 ANS= -2180, 664 ANS= -2187, 666 ANS= -2194, 668 ANS= -2201, 670 ANS= -2208, 672 ANS= -2215, 674 ANS= -2222, 676 ANS= -2229, 678 ANS= -2236, 680 ANS= -2243, 682 ANS= -2250, 684 ANS= -2257, 686 ANS= -2264, 688 ANS= -2271, 690 ANS= -2278, 692 ANS= -2285, 694 ANS= -2292, 696 ANS= -2299, 698 ANS= -2306, 700 ANS= -2313, 702 ANS= -2320, 704 ANS= -2327, 706 ANS= -2334, 708 ANS= -2341, 710 ANS= -2348, 712 ANS= -2355, 714 ANS= -2362, 716 ANS= -2369, 718 ANS= -2376, 720 ANS= -2383, 722 ANS= -2390, 724 ANS= -2397, 726 ANS= -2404, 728 ANS= -2411, 730 ANS= -2418, 732 ANS= -2425, 734 ANS= -2432, 736 ANS= -2439, 738 ANS= -2446, 740 ANS= -2453, 742 ANS= -2460, 744 ANS= -2467, 746 ANS= -2474, 748 ANS= -2481, 750 ANS= -2488, 752 ANS= -2495, 754 ANS= -2502, 756 ANS= -2509, 758 ANS= -2516, 760 ANS= -2523, 762 ANS= -2530, 764 ANS= -2537, 766 ANS= -2544, 768 ANS= -2551, 770 ANS= -2558, 772 ANS= -2565, 774 ANS= -2572, 776 ANS= -2579, 778 ANS= -2586, 780 ANS= -2593, 782 ANS= -2600, 784 ANS= -2607, 786 ANS= -2614, 788 ANS= -2621, 790 ANS= -2628, 792 ANS= -2635, 794 ANS= -2642, 796 ANS= -2649, 798 ANS= -2656, 800 ANS= -2663, 802 ANS= -2670, 804 ANS= -2677, 806 ANS= -2684, 808 ANS= -2691, 810 ANS= -2698, 812 ANS= -2705, 814 ANS= -2712, 816 ANS= -2719, 818 ANS= -2726, 820 ANS= -2733, 822 ANS= -2740, 824 ANS= -2747, 826 ANS= -2754, 828 ANS= -2761, 830 ANS= -2768, 832 ANS= -2775, 834 ANS= -2782, 836 ANS= -2789, 838 ANS= -2796, 840 ANS= -2803, 842 ANS= -2810, 844 ANS= -2817, 846 ANS= -2824, 848 ANS= -2831, 850 ANS= -2838, 852 ANS= -2845, 854 ANS= -2852, 856 ANS= -2859, 858 ANS= -2866, 860 ANS= -2873, 862 ANS= -2880, 864 ANS= -2887, 866 ANS= -2894, 868 ANS= -2901, 870 ANS= -2908, 872 ANS= -2915, 874 ANS= -2922, 876 ANS= -2929, 878 ANS= -2936, 880 ANS= -2943, 882 ANS= -2950, 884 ANS= -2957, 886 ANS= -2964, 888 ANS= -2971, 890 ANS= -2978, 892 ANS= -2985, 894 ANS= -2992, 896 ANS= -2999, 898 ANS= -3006, 900 ANS= -3013, 902 ANS= -3020, 904 ANS= -3027, 906 ANS= -3034, 908 ANS= -3041, 910 ANS= -3048, 912 ANS= -3055, 914 ANS= -3062, 916 ANS= -3069, 918 ANS= -3076, 920 ANS= -3083, 922 ANS= -3090, 924 ANS= -3097, 926 ANS= -3104, 928 ANS= -3111, 930 ANS= -3118, 932 ANS= -3125, 934 ANS= -3132, 936 ANS= -3139, 938 ANS= -3146, 940 ANS= -3153, 942 ANS= -3160, 944 ANS= -3167, 946 ANS= -3174, 948 ANS= -3181, 950 ANS= -3188, 952 ANS= -3195, 954 ANS= -3202, 956 ANS= -3209, 958 ANS= -3216, 960 ANS= -3223, 962 ANS= -3230, 964 ANS= -3237, 966 ANS= -3244, 968 ANS= -3251, 970 ANS= -3258, 972 ANS= -3265, 974 ANS= -3272, 976 ANS= -3279, 978 ANS= -3286, 980 ANS= -3293, 982 ANS= -3300, 984 ANS= -3307, 986 ANS= -3314, 988 ANS= -3321, 1000 ANS= -3328, 1002 ANS= -3335, 1004 ANS= -3342, 1006 ANS= -3349, 1008 ANS= -3356, 1010 ANS= -3363, 1012 ANS= -3370, 1014 ANS= -3377, 1016 ANS= -3384, 1018 ANS= -3391, 1020 ANS= -3398, 1022 ANS= -3405, 1024 ANS= -3412, 1026 ANS= -3419, 1028 ANS= -3426, 1030 ANS= -3433, 1032 ANS= -3440, 1034 ANS= -3447, 1036 ANS= -3454, 1038 ANS= -3461, 1040 ANS= -3468, 1042 ANS= -3475, 1044 ANS= -3482, 1046 ANS= -3489, 1048 ANS= -3496, 1050 ANS= -3503, 1052 ANS= -3510, 1054 ANS= -3517, 1056 ANS= -3524, 1058 ANS= -3531, 1060 ANS= -3538, 1062 ANS= -3545, 1064 ANS= -3552, 1066 ANS= -3559, 1068 ANS= -3566, 1070 ANS= -3573, 1072 ANS= -3580, 1074 ANS= -3587, 1076 ANS= -3594, 1078 ANS= -3601, 1080 ANS= -3608, 1082 ANS= -3615, 1084 ANS= -3622, 1086 ANS= -3629, 1088 ANS= -3636, 1090 ANS= -3643, 1092 ANS= -3650, 1094 ANS= -3657, 1096 ANS= -3664, 1098 ANS= -3671, 1100 ANS= -3678, 1102 ANS= -3685, 1104 ANS= -3692, 1106 ANS= -3699, 1108 ANS= -3706, 1110 ANS= -3713, 1112 ANS= -3720, 1114 ANS= -3727, 1116 ANS= -3734, 1118 ANS= -3741, 1120 ANS= -3748, 1122 ANS= -3755, 1124 ANS= -3762, 1126 ANS= -3769, 1128 ANS= -3776, 1130 ANS= -3783, 1132 ANS= -3790, 1134 ANS= -3797, 1136 ANS= -3804, 1138 ANS= -3811, 1140 ANS= -3818, 1142 ANS= -3825, 1144 ANS= -3832, 1146 ANS= -3839, 1148 ANS= -3846, 1150 ANS= -3853, 1152 ANS= -3860, 1154 ANS= -3867, 1156 ANS= -3874, 1158 ANS= -3881, 1160 ANS= -3888, 1162 ANS= -3895, 1164 ANS= -3902, 1166 ANS= -3909, 1168 ANS= -3916, 1170 ANS= -3923, 1172 ANS= -3930, 1174 ANS= -3937, 1176 ANS= -3944, 1178 ANS= -3951, 1180 ANS= -3958, 1182 ANS= -3965, 1184 ANS= -3972, 1186 ANS= -3979, 1188 ANS= -3986, 1190 ANS= -3993, 1192 ANS= -4000, 1194 ANS= -4007, 1196 ANS= -4014, 1198 ANS= -4021, 1200 ANS= -4028, 1202 ANS= -4035, 1204 ANS= -4042, 1206 ANS= -4049, 1208 ANS= -4056, 1210 ANS= -4063, 1212 ANS= -4070, 1214 ANS= -4077, 1216 ANS= -4084, 1218 ANS= -4091, 1220 ANS= -4098, 1222 ANS= -4105, 1224 ANS= -4112, 1226 ANS= -4119, 1228 ANS= -4126, 1230 ANS= -4133, 1232 ANS= -4140, 1234 ANS= -4147, 1236 ANS= -4154, 1238 ANS= -4161, 1240 ANS= -4168, 1242 ANS= -4175, 1244 ANS= -4182, 1246 ANS= -4189, 1248 ANS= -4196, 1250 ANS= -4203, 1252 ANS= -4210, 1254 ANS= -4217, 1256 ANS= -4224, 1258 ANS= -4231, 1260 ANS= -4238, 1262 ANS= -4245, 1264 ANS= -4252, 1266 ANS= -4259, 1268 ANS= -4266, 1270 ANS= -4273, 1272 ANS= -4280, 1274 ANS= -4287, 1276 ANS= -4294, 1278 ANS= -4301, 1280 ANS= -4308, 1282 ANS= -4315, 1284 ANS= -4322, 1286 ANS= -4329, 1288 ANS= -4336, 1290 ANS= -4343, 1292 ANS= -4350, 1294 ANS= -4357, 1296 ANS= -4364, 1298 ANS= -4371, 1300 ANS= -4378, 1302 ANS= -4385, 1304 ANS= -4392, 1306 ANS= -4399, 1308 ANS= -4406, 1310 ANS= -4413, 1312 ANS= -4420, 1314 ANS= -4427, 1316 ANS= -4434, 1318 ANS= -4441, 1320 ANS= -4448, 1322 ANS= -4455, 1324 ANS= -4462, 1326 ANS= -4469, 1328 ANS= -4476, 1330 ANS= -4483, 1332 ANS= -4490, 1334 ANS= -4497, 1336 ANS= -4504, 1338 ANS= -4511, 1340 ANS= -4518, 1342 ANS= -4525, 1344 ANS= -4532, 1346 ANS= -4539, 1348 ANS= -4546, 1350 ANS= -4553, 1352 ANS= -4560, 1354 ANS= -4567, 1356 ANS= -4574, 1358 ANS= -4581, 1360 ANS= -4588, 1362 ANS= -4595, 1364 ANS= -4602, 1366 ANS= -4609, 1368 ANS= -4616, 1370 ANS= -4623, 1372 ANS= -4630, 1374 ANS= -4637, 1376 ANS= -4644, 1378 ANS= -4651, 1380 ANS= -4658, 1382 ANS= -4665, 1384 ANS= -4672, 1386 ANS= -4679, 1388 ANS= -4686, 1390 ANS= -4693, 1392 ANS= -4700, 1394 ANS= -4707, 1396 ANS= -4714, 1398 ANS= -4721, 1400 ANS= -4728, 1402 ANS= -4735, 1404 ANS= -4742, 1406 ANS= -4749, 1408 ANS= -4756, 1410 ANS= -4763, 1412 ANS= -4770, 1414 ANS= -4777, 1416 ANS= -4784, 1418 ANS= -4791, 1420 ANS= -4798, 1422 ANS= -4805, 1424 ANS= -4812, 1426 ANS= -4819, 1428 ANS= -4826, 1430 ANS= -4833, 1432 ANS= -4840, 1434 ANS= -4847, 1436 ANS= -4854, 1438 ANS= -4861, 1440 ANS= -4868, 1442 ANS= -4875, 1444 ANS= -4882, 1446 ANS= -4889, 1448 ANS= -4896, 1450 ANS= -4903, 1452 ANS= -4910, 1454 ANS= -4917, 1456 ANS= -4924, 1458 ANS= -4931, 1460 ANS= -4938, 1462 ANS= -4945, 1464 ANS= -4952, 1466 ANS= -4959, 1468 ANS= -4966, 1470 ANS= -4973, 1472 ANS= -4980, 1474 ANS= -4987, 1476 ANS= -4994, 1478 ANS= -5001, 1480 ANS= -5008, 1482 ANS= -5015, 1484 ANS= -5022, 1486 ANS= -5029, 1488 ANS= -5036, 1490 ANS= -5043, 1492 ANS= -5050, 1494 ANS= -5057, 1496 ANS= -5064, 1498 ANS= -5071, 1500 ANS= -5078, 1502 ANS= -5085, 1504 ANS= -5092, 1506 ANS= -5099, 1508 ANS= -5106, 1510 ANS= -5113, 1512 ANS= -5120, 1514 ANS= -5127, 1516 ANS= -5134, 1518 ANS= -5141, 1520 ANS= -5148, 1522 ANS= -5155, 1524 ANS= -5162, 1526 ANS= -5169, 1528 ANS= -5176, 1530 ANS= -5183, 1532 ANS= -5190, 1534 ANS= -5197, 1536 ANS= -5204, 1538 ANS= -5211, 1540 ANS= -5218, 1542 ANS= -5225, 1544 ANS= -5232, 1546 ANS= -5239, 1548 ANS= -5246, 1550 ANS= -5253, 1552 ANS= -5260, 1554 ANS= -5267, 1556 ANS= -5274, 1558 ANS= -5281, 1560 ANS= -5288, 1562 ANS= -5295, 1564 ANS= -5302, 1566 ANS= -5309, 1568 ANS= -5316, 1570 ANS= -5323, 1572 ANS= -5330, 1574 ANS= -5337, 1576 ANS= -5344, 1578 ANS= -5351, 1580 ANS= -5358, 1582 ANS= -5365, 1584 ANS= -5372, 1586 ANS= -5379, 1588 ANS= -5386, 1590 ANS= -5393, 1592 ANS= -5400, 1594 ANS= -5407, 1596 ANS= -5414, 1598 ANS= -5421, 1600 ANS= -5428, 1602 ANS= -5435, 1604 ANS= -5442, 1606 ANS= -5449, 1608 ANS= -5456, 1610 ANS= -5463, 1612 ANS= -5470, 1614 ANS= -5477, 1616 ANS= -5484, 1618 ANS= -5491, 1620 ANS= -5498, 1622 ANS= -5505, 1624 ANS= -5512, 1626 ANS= -5519, 1628 ANS= -5526, 1630 ANS= -5533, 1632 ANS= -5540, 1634 ANS= -5547, 1636 ANS= -5554, 1638 ANS= -5561, 1640 ANS= -5568, 1642 ANS= -5575, 1644 ANS= -5582, 1646 ANS= -5589, 1648 ANS= -5596, 1650 ANS= -5603, 1652 ANS= -5610, 1654 ANS= -5617, 1656 ANS= -5624, 1658 ANS= -5631, 1660 ANS= -5638, 1662 ANS= -5645, 1664 ANS= -5652, 1666 ANS= -5659, 1668 ANS= -5666, 1670 ANS= -5673, 1672 ANS= -5680, 1674 ANS= -5687, 1676 ANS= -5694, 1678 ANS= -5701, 1680 ANS= -5708, 1682 ANS= -5715, 1684 ANS= -5722, 1686 ANS= -5729, 1688 ANS= -5736, 1690 ANS= -5743, 1692 ANS= -5750, 1694 ANS= -5757, 1696 ANS= -5764, 1698 ANS= -5771, 1700 ANS= -5778, 1702 ANS= -5785, 1704 ANS= -5792, 1706 ANS= -5799, 1708 ANS= -5806, 1710 ANS= -5813, 1712 ANS= -5820, 1714 ANS= -5827, 1716 ANS= -5834, 1718 ANS= -5841, 1720 ANS= -5848, 1722 ANS= -5855, 1724 ANS= -5862, 1726 ANS= -5869, 1728 ANS= -5876, 1730 ANS= -5883, 1732 ANS= -5890, 1734 ANS= -5897, 1736 ANS= -5904, 1738 ANS= -5911, 1740 ANS= -5918, 1742 ANS= -5925, 1744 ANS= -5932, 1746 ANS= -5939, 1748 ANS= -5946, 1750 ANS= -5953, 1752 ANS= -5960, 1754 ANS= -5967, 1756 ANS= -5974, 1758 ANS= -5981, 1760 ANS= -5988, 1762 ANS= -5995, 1764 ANS= -6002, 1766 ANS= -6009, 1768 ANS= -6016, 1770 ANS= -6023, 1772 ANS= -6030, 1774 ANS= -6037, 1776 ANS= -6044, 1778 ANS= -6051, 1780 ANS= -6058, 1782 ANS= -6065, 1784 ANS= -6072, 1786 ANS= -6079, 1788 ANS= -6086, 1790 ANS= -6093, 1792 ANS= -6100, 1794 ANS= -6107, 1796 ANS= -6114, 1798 ANS= -6121, 1800 ANS= -6128, 1802 ANS= -6135, 1804 ANS= -6142, 1806 ANS= -6149, 1808 ANS= -6156, 1810 ANS= -6163, 1812 ANS= -6170, 1814 ANS= -6177, 1816 ANS= -6184, 1818 ANS= -6191, 1820 ANS= -6198, 1822 ANS= -6205, 1824 ANS= -6212, 1826 ANS= -6219, 1828 ANS= -6226, 1830 ANS= -6233, 1832 ANS= -6240, 1834 ANS= -6247, 1836 ANS= -6254, 1838 ANS= -6261, 1840 ANS= -6268, 1842 ANS= -6275, 1844 ANS= -6282, 1846 ANS= -6289, 1848 ANS= -6296, 1850 ANS= -6303, 1852 ANS= -6310, 1854 ANS= -6317, 1856 ANS= -6324, 1858 ANS= -6331, 1860 ANS= -6338, 1862 ANS= -6345, 1864 ANS= -6352, 1866 ANS= -6359,

CNER

ROUTE RP 21

DEFLEXION-DELECTOGRAPHIE LACROIX

DATE 8-9-83

DU PK. 47.000 AU PK. 47.000

PAGE: 1

TRAJET:

LISTE DES EVENEMENTS

```

*****
TEMPERATURE MESURE: 19  CHARGE: 13  CODE MESU RE: 25  NR VOIE: 1
P.K.
47.016
47.020
47.028
47.097
47.181
47.193
47.294
47.326
47.390
47.394
47.394
47.491
47.519
47.588
47.688
47.785
47.885
47.926
47.986
48.087
48.091
48.191
48.286
48.292
48.296
48.401
48.501
48.602
48.706
48.710
48.751
48.807
48.095
48.907
49.000

EVENEMENT
BORNE KILOMETRIQUE
ALIGNEMENT DROIT
MONTEE
SIGNALISATION HORIZONT INEX.
PROFIL EN LONG HORIZONTAL
DEBLAIS - REMBLAIS
DESCENTE
MONTEE
VIRAGE A DROITE
BUGE
ALIGNEMENT DROIT
VIRAGE A GAUCHE
PROF. EN TRAVERS TERR. NATUR.
ALIGNEMENT DROIT
BORNE KILOMETRIQUE

100.
200.
300.
400.
500.
600.
700.
800.
900.
1000.
1100.
1200.
1300.
1400.
1500.
1600.
1700.
1000.
1900.

```

Bibliographie :

- 1•** Heukelom-klomp ; Dynamic Testing as mean of controlling Pavements during and after Construction. Porc. of the First Int. Conf. Of the Structural Design of Asphatt Pavements, Ann Arbor, 1962.
- 2•** Ph. LEGER ; les mesures de déflexion et leur interprétation Analyse de l'institut du Bâtiment et des travaux Publics N° 225/1966.
- 3•** Dr Nemesdy E. ; Utak és autópalyak palyasrerkrete. Muszaki Konyvkiado, 1971.
- 4•** Dr Boromissa T. ; Aszfaltburkolatù utak teterbiàsànak vizsgàlata behajlasmèrèsse ; Revue Scientifique de Communication, XXVI/12, 1976.
- 5•** Müller ; Der Krümmungsmesser und seine praktischen Anwendungsmöglichkeiten. Die Strasse, 6/1969.
- 6•** Asphalt Overlays and Pavement Rehabilitation. The Asphalt Institut, Manual Series, 17/1969.
- 7•** Renforcement des chaussées O.C.D.E. 1976
- 8•** Contribution à l'étude du renforcement des chaussées revêtues, CEBTP. Novembre 1970.
- 9•** P.AUTRET, Auscultation des chaussées dans le cadre des études d'entretien et de renforcement. Transposition dans les pays en voie de développement. Bulletin de liaison des L.P.C. - N° 93 - 1978.
- 10•** J. PAQUET ; Un nouvel appareil d'auscultation des chaussées : le Curviamètre. R.G.R.A. / 430.
- 11•** TAGLE A ; TOSTICARELLIS ; PETRONI E ; Premières expériences d'utilisation des défléctographes Lacroix en Argentine Bull. liaison Labo P. et Ch. 121/1982.
- 12•** SAUTEREY R. ; ROUQUES G.; Panorama de l'auscultation des chaussées. R.G.R.A. N° 502, 1974.
- 13•** G.M. DORMON ; The extension to pratice of a fundamental procedure for the design ol flexible pavements. Proceedings of the Int. Conf. on the structural design of asphatt pavements ; 20 - 24 août 1962, Ann Arbor, Michigan.
- 14•** G.M. DORMON, J.M. EDWARDS, J.E.D. KERR ; The design of flexible pavements. General meeting of the engineering institute of Canada, 27-29 mai 1964.
- 15•** Abaques bicouches ALIZE 3 Ministère de l'Equipement, LCPC - 1975
- 16•** Rapports des campagnes de déflexion 1978 / 79 / 80, L.P.E.E.

- 17•** Rapports des campagnes de déflexion 1981 / 1982 / 1983. C.N.E.R.
- 19•** DAHBI A. ; Eléments pour l'élaboration d'une méthode de dimensionnement - Communication présentée au Séminaire sur les méthodes et techniques de construction et de renforcement des chaussées, 3/4/5 décembre 1981.
- 20•** LUC GERARD ; Traitement et saisie de déflexion. Rapport C.N.E.R, mai 1982.
- 21•** HELEVEN ; Administration des routes - Ministère des travaux Publics Belgique. 25^e anniversaire 1981.
- 22•** Etudes corrélatives sur les paramètres structuraux de la chaussée. Projet de fin d'études d'un groupe d'étudiants de l'école Hassania des Ingénieurs 1963.