

AUSCULTATION DES CHAUSSEES

ET ENTRETIEN

Abdelaziz DAHBI
Directeur du Centre National
d'Etudes et de Recherches
Routières

Azzedine OUADGHIRI
Ingénieur, service conception
et Structures des chaussées.
CNER.

Parmi les préoccupations des responsables chargés de l'entretien et de la construction du réseau routier, figure la maintenance de la chaussée à un bon niveau de service, de sécurité et de confort.

A cet effet, le développement d'une méthodologie d'auscultation est devenue indispensable de manière à évaluer les qualités structurelles et superficielles des chaussées et de suivre leurs évolutions en fonction du temps .

Le caractère systématique, périodique et continue de l'auscultation permet aux gestionnaires :

- d'orienter l'action de la politique générale de l'entretien et de définir des stratégies à long terme.
- de proposer des critères de décision de manière à obtenir une bonne homogénéité de niveau de service par catégorie de route .
- d'établir un ordre de priorité (priorités de certaines routes, ou priorité d'actions à entreprendre) .

I- RAISONS DE DEVELOPPEMENT D'UNE POLITIQUE D'AUSCULTATION

L'auscultation est une phase de surveillance permettant le recueil d'un nombre limité d'informations, et fournissant ainsi une connaissance globale de l'état du réseau .

Son développement à l'échelle nationale est dicté par les points suivants :

A - La contribution à la recherche routière

Le recueil d'informations valables tant sur le plan qualitatif que quantitatif permettrait :

- L'élaboration et la standardisation de matériaux de chaussées performants et répondant à l'agressivité du trafic et du climat.
- Une meilleure connaissance du sol support de chaussée et leur utilisation .
- Une définition des travaux éventuels à entreprendre en vue de remédier aux dégradations survenues.
- La mise au point d'un modèle de comportement réel de chaussée.

B - La maintenance du réseau routier

Le réseau routier national comprend 26721 Kms de routes construites et revêtues qui se répartissent comme suit :

- . routes principales = 8.749 (32,7%)
- . routes secondaires = 6.248 (23,4%)
- . chemins tertiaires = 11.724 (43,9%)

L'entretien routier et sa maintenance représentent une mission essentielle de la Direction des Routes et de la Circulation Routière.

De par sa longueur, le réseau routier exige un effort d'entretien et de rénovation considérable qui puisse répondre aux objectifs suivants :

- Offrir en permanence à l'utilisateur un niveau de service convenable (en général élevé). A cet effet, il faut observer que les exigences de l'utilisateur notamment en matière de sécurité et de confort vont en croissant.
- Assurer la conservation du patrimoine. Il faudra pour cela maintenir la qualité des revêtements et adopter les structures de chaussées à l'augmentation du trafic.
- Intervenir dès les premiers signes annonciateurs d'une baisse de qualité (aspect préventif de l'entretien), de façon à éviter de nouvelles opérations lourdes et coûteuses de rénovation.
- réduire les coûts de circulation des véhicules, sensibles à l'état de dégradation des chaussées .

C - Evaluation globale du réseau

Elle doit permettre de suivre "l'état de santé" des routes et du réseau routier national par catégorie au moyen d'indices ;

- en définissant un indice de nature structurelle visant la maintenance du réseau routier .
- en définissant un indice de sécurité.

L'établissement de ces deux indices, se fait sur la base des indices individuels comme :

- La glissance
- l'uni
- la profondeur des ornières
- la durée de vie résiduelle

et seront ainsi interprétés par comparaison aux valeurs de référence fixées et en particulier aux niveaux de seuils .

A cet effet, la méthodologie d'auscultation définira alors avec précision les zones relevant de l'entretien, celles relevant des travaux de rechargement et celles relevant des travaux de renforcement .

D - Mise en place d'une organisation routière

L'analyse de l'état du réseau à partir des paramètres d'auscultation révèle au gestionnaire les travaux à effectuer et lui fournit des éléments d'informations indispensables pour effectuer une gestion rationnelle du réseau routier et notamment pour faciliter les décisions d'exploitation d'entretien et de renforcement .

Dans le cas où les décisions doivent être prises, l'auscultation apporte les éléments nécessaires à la compréhension des défaillances et au choix des remèdes. Aussi, permet-elle de fournir des éléments d'appréciations sur la plus ou moins bonne aptitude actuellement utilisée, sinon à contribuer à élaborer d'autres techniques mieux adaptées .

Au cours du développement des raisons d'une politique d'auscultation, il convient de conserver à l'esprit qu'il s'agit de recueillir les bons paramètres, mais encore faut-il en avoir un nombre suffisant pour caractériser la valeur résiduelle d'une chaussée . Aussi, il semble préférable de disposer d'une grande masse d'informations qui permette de représenter fidèlement une chaussée et de donner l'image de son homogénéité même si ces informations doivent perdre en précision.

II- METHODOLOGIE

Les motifs d'incitations qui aboutissent à des travaux d'entretien ou de renforcement sont :

D'ordre technique :

- . force portante insuffisante de la chaussée
- . niveau de service inacceptable
- . taux de dégradations inacceptable
- . niveau de sécurité inacceptable

D'ordre économique :

- . coût de l'usager inacceptable

. coût d'entretien inacceptable.

Compte tenu de l'état actuel des chaussées marocaines et des renseignements disponibles au CNER, on se propose d'établir la méthodologie d'auscultation à partir des éléments suivants :

A - Historique :

Lorsqu'elles existent, les archives des directions provinciales et régionales de l'Equipement et du laboratoire public d'études et d'essais permettent dans la majorité des cas de cerner avec une bonne précision, les conditions de construction et d'entretien des chaussées, à savoir :

- . la date de construction
- . les épaisseurs de couches
- . la nature et la qualité des matériaux constitutants
- . les problèmes de réalisation à la mise en oeuvre
- . le niveau de trafic au moment des travaux.

Les directions provinciales et régionales ainsi que les laboratoires régionaux sont mieux placés pour établir l'historique et le mettre à la disposition des services centraux. Ceci peut être complété par :

- . la nature et l'intensité des trafics
- . terme des structures de chaussée
- . difficultés d'entretien
- . possibilités locales (matériaux et entreprises)

En profitant au maximum de cette expérience, on adoptera d'autant mieux les solutions de renforcement aux conditions locales .

B - Relevés visuels

Les relevés visuels concernent les caractéristiques géométriques de la chaussée, la situation, des traversées d'agglomération et les principaux carrefours, les conditions de drainage et d'environnement et surtout la nature et l'importance des dégradations de surface .

L'examen sera effectué en continu et en voiture à vitesse lente. On s'attachera d'une part à ne répertorier que les dégradations répétitives intéressant des sections assez importantes (plusieurs centaines de mètres), d'autre part à dégager celles caractérisant les problèmes majeurs affectant les structures ou les couches de surface.

A partir des relevés de dégradations, on distinguera trois catégories de sections de chaussées :

a) - Les sections en bon état apparent

b) - les sections fissurées ou mouillées . La situation, l'aspect et la densité des fissures peut en déterminer l'origine : fatigue des couches de surfaces, retrait, qualité des structures.

Pour quantifier la qualité apparente des chaussées, on adopte une notation qui compare en pourcentage linéaire d'itinéraire atteint par les dégradations, à la longueur de la section unitaire prise en compte (par exemple 500m ou 1.000 m).

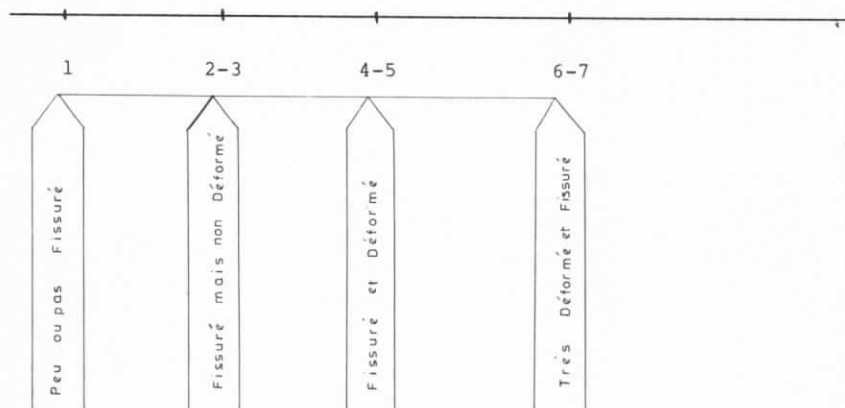
- (1) pour moins de 10% de dégradations
- (2) pour 10 à 50% de dégradations
- (3) pour plus de 50% de dégradations .

Par combinaison des deux types de dégradations (fissures/déformations) on obtient la grille ci-contre qui chiffre la qualité apparente d'une section de chaussée .

Fissures Déformations	1	2	3
1	1	2	3
2	3*	4	5
3	5*	6	7

* Cas les plus rares.

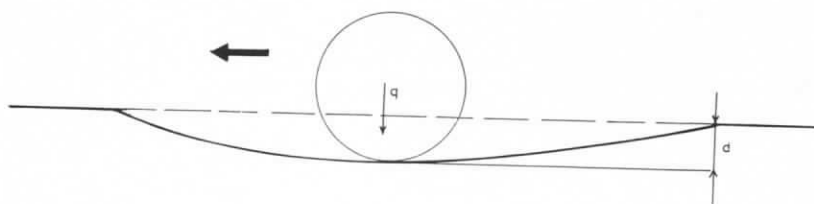
Bon Médiocre Mauvais Très mauvais Eta: apparent



Dans cette méthode, on fait abstraction des défauts propres à la couche de roulement, arrachements, peignages, ressuaages, fluages ...

C - Portance de la chaussée par mesure de la déflexion :

La portance d'une structure souple ou son aptitude à travailler au poinçonnement sous une charge appliquée est mesurée par la valeur de la déflexion . C'est l'affaissement de la chaussée au passage d'un jumelage d'un essieu simple .



L'appareil enregistre deux valeurs de déflexion (une sous chaque jumelage) tous les 3,40m à une cadence de 2 Km/h environ.

La valeur de la déflexion est sensible à l'environnement géologique et climatique et à la nature des matériaux constituant les chaussées souple et leur support. Les campagnes de déflexion devront être effectuées pendant la période la plus défavorable, c'est à dire peu après la saison des pluies .

On retient la valeur de la déflexion caractéristique :

$$d_c = m + k_0$$

m = valeur moyenne sur la section considérée
 = écart type
 = coefficient de probabilité prédéterminé

On prend $k = 1,3$, une probabilité de dépassement d'environ 10% $\rightarrow d_c = m + 1,3$

On définit pour cela un indice de durée de vie résiduelle, l'équation est :

$$Idvr = (dv - dvr) / dv$$

dvr = durée de vie résiduelle
 dv = durée de vie (20 à 40 ans) .

La durée de vie est une fonction assez complexe qui dépend de plusieurs caractéristiques suivantes :

- déflexion caractéristique d_c
- volume du trafic (véh/j dans 2 sens de circulation)
- moment de la construction (âge de revêtement)
- augmentation du volume du trafic

On procède alors de la manière suivante :

1 - Le calcul du trafic total

$$N = \frac{18 \cdot 10^{12}}{(d_c)^{3,32}}$$

2 - soit, v : volume de trafic journalier (tout le trafic)

a : année de construction

m : année de mesures (déflexion)

v : année des mesures (volume du trafic)

p : augmentation annuelle du volume

Le trafic supporté est :

$$N' = 90 v \frac{(1+p)^{(m-v)} - (1+p)^{a-v}}{p}$$

Le trafic futur, x années à partir de m est :

$$N'' = 90 v (1+p)^{(m-v)} x \frac{(1+p)^x - 1}{p}$$

Le trafic total est : $N = N' + N''$

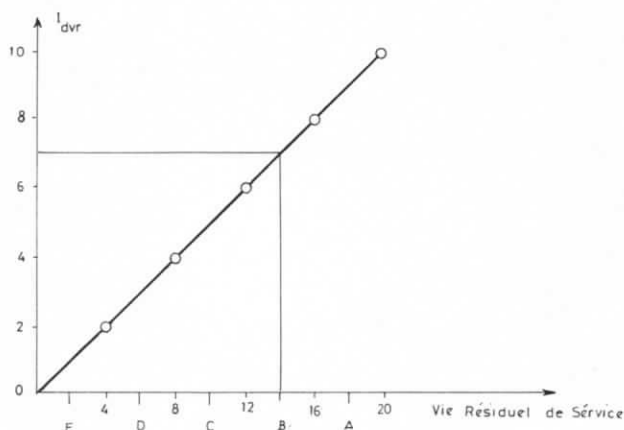
$$\frac{18 \cdot 10^{12}}{d^{3,32}} = 90 v \frac{(1+p)^{m-v} - (1+p)^{a-v}}{p} + 90 v (1+p)^{m-v} x \frac{(1+p)^x - 1}{p}$$

$$x = \frac{\log \left[\frac{p \cdot 18 \cdot 10^{12}}{90 v (1+p)^{m-v} \cdot d^{3,32}} + (1+p)^{(a-m)} \right]}{\log (1+p)}$$

$$p = 6\%$$

$$x = 39,5 \log \left[\frac{1,2 \cdot 10^{10}}{v (1,06)^{m-v} d^{3,32}} + (1,06)^{a-m} \right]$$

x = durée de vie résiduelle



D - Uni de la chaussée :

L'uni de la chaussée est mesuré en continu soit par :

1) - L'analyseur dynamique du profil en long :

Les défauts d'uni sont caractérisés de façon géométrique par leur amplitude (déformation verticale) et leur longueur d'ondes. Ils mettent en jeu la sécurité (courtes et moyennes longueurs d'onde) et le confort de l'utilisateur (longueurs d'ondes moyennes et longues) .

La mesure est réalisée à 72 km/h dans les bandes de roulement des voies de circulation et on enregistre en continu les débattements angulaires du bras porte-roue par rapport au pendule .

En calculant la moyenne des aires en excès (bosses) et en défaut (creux), entre une section du profil réel et du profil lissé, cette surface divisée par deux et étant ramenée à une longueur unité, on obtient une grandeur définit comme le coefficient de planéité (le CP)

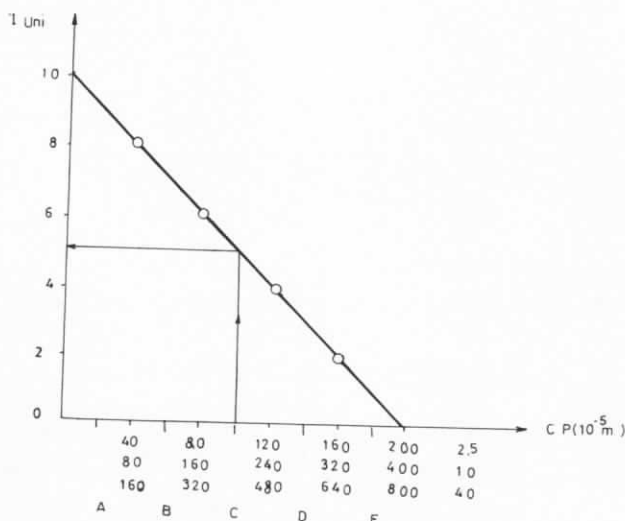
$$1 \text{ CP} = 10^{-5} \text{ m} \quad (10^4 \text{ mm}^2/\text{Km})$$

d'où, le CP pour une même longueur d'onde et pour un même tronçon de découpage est directement proportionnel à l'aire moyenne de la déformée du profil longitudinal relevé . Et plus grand est le coefficient de planéité, pour une longueur d'onde et pour un même tronçon, moins bonne est la qualité de l'uni longitudinal .

On définit alors l'uni par l'indice .

$$I = 1 - \frac{CP}{4000} \times \sqrt{\frac{10}{\lambda}} = 1 - \frac{CP}{4000 \times \sqrt{\lambda/10}}$$

d'où la représentation graphique :



2) Bump Integrator

Permet d'évaluer l'uni d'un revêtement routier.

Le principe de la mesure est basé sur la comparaison des déplacements verticaux relatifs à la roue par rapport au châssis porte-roue, transformés en impulsions. Le nombre d'impulsions est relevé tous les 500 m.

L'uni est alors caractérisé par le coefficient de planéité RI somme de tous les déplacements verticaux.

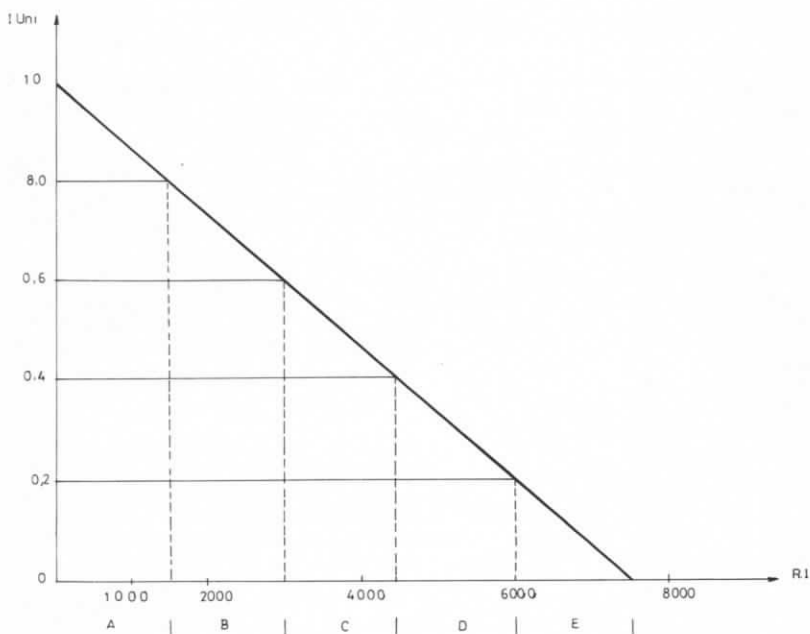
$$RI = \frac{100 \cdot n \cdot a}{2 \cdot L} \quad (\text{mm/km})$$

L = distance correspondant au relevé de nombre n

n = nombre d'impulsions .

a est constant et ne dépend que de l'appareil

a = 0,254



I Uni		RI
1		0
0.8		1 500
0.6		3 000
0.4		4 500
0.2		6 000
0		7 500

3) Uni transversal, mesuré par le transversoprofilographe.

L'appareil est constitué :

- d'une règle rigide en alliage léger de 4 m de long.
- d'un chariot enregistreur mobil porté par la règle .

Il fournit un profil en travers de la chaussée moyen, pour étudier l'orniérage et pour déterminer toutes les caractéristiques de l'uni de surface d'un revêtement.

E - Adhérence et rugosité :

Les appareils de mesure de rugosité sont variés, du simple pendule à des appareils à grand rendement, genre SCRIM - Stradographe au pendule SRT, tache de sable :

L'inconvénient du pendule SRT est la mesure localisée de la rugosité et aussi la mesure statistique, mais son avantage réside dans la possibilité d'exploitation détaillée d'un phénomène localisé sur la chaussée .

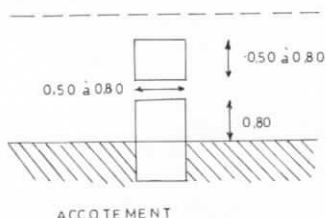
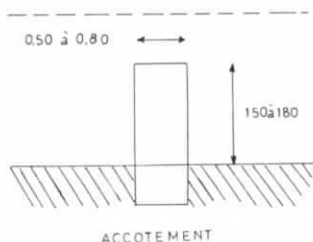
Toutefois, le Maroc ne disposant pas à l'heure actuelle d'appareil à grand rendement pour la mesure de la glissance, peut se contenter dans une première phase, de mener des mesures avec cet appareil SRT pour avoir une idée sur la glissance du réseau national.

F - Etude de la structure

Le sondage est le seul essai permettant de définir la qualité de la structure et l'épaisseur effective du corps de chaussée . Il présente l'inconvénient d'être un essai ponctuel, donc de donner une information incomplète .

La fréquence d'intervention est de l'ordre du kilomètre pour une étude d'itinéraire, mais que l'on sent aller jusqu'à des fréquences de (1) essai par 5 Km d'itinéraire pour les études statistiques du réseau.

Les sondages sont réalisés soit en trachée, soit en rive et axe selon les côtes indiquées ci-dessous :



En règle générale, le sondage est descendu de 30 à 50 cm sous le corps de chaussée.

On effectue pour chaque couche :

- des prélèvements d'échantillons
- L'essai de plaque
- le CBR in situ
- Essai de laboratoire sur les échantillons prélevés :
analyse granulométrique, teneur en eau, indice de plasticité, équivalent de sable.

G - Etudes complémentaires :

Concernent essentiellement l'assainissement, le tracé et l'environnement.

En effet, la situation géologique, le climat, le tracé ont une incidence sur la tenue des chaussées. Il s'agit donc, dans le cas général de lutter contre les eaux d'infiltration et de protéger les chaussées contre l'effet des eaux internes.

III - FREQUENCES ET PERIODICITE D'INTERVENTION

A - Point zéro

C'est la carte d'identité d'une chaussée neuve ou renforcée qui s'intègre dans le réseau.

Il regroupe :

- La constitution théorique de la chaussée et de son support ainsi que les différents contrôles de conformité réalisés à la mise en oeuvre.

- Les caractéristiques mécaniques de la chaussée lors de la mise en service.

- Les caractéristiques mécaniques de surface (glissance, uni, géométrie, déflexion).

Le point zéro est nécessaire, car lors de l'auscultation fine, il permet d'orienter les études, et de prévoir bien souvent le comportement futur de la chaussée et donc de réaliser l'entretien.

Le point zéro, n'est autre qu'une référence, car les chaussées n'ont pas toutes les mêmes caractéristiques.

B - Auscultation systématique par type d'engin et par catégorie de route.

Le domaine d'auscultation distingue deux types d'investigations :

1/ Essais fondamentaux, déflexion, relevé visuel et l'uni qui peuvent être complétés par gamme de rayon de courbure $R \times d$, déformations du profil en travers, rugosité de surface qui sont du deuxième ordre, beaucoup plus difficile ou plus coûteux à réaliser d'où une utilisation plus restreinte.

2/ Essais de structure et constatations concernant l'environnement de la chaussée, les régimes hydrauliques et le tracé qui doivent être exécutés de façon systématique sur les sections à problèmes.

Toutefois, le CNER depuis 1986 a entamé un programme de surveillance systématique sur le réseau national faisant appel à la mesure par auscultation non destructive de certains paramètres caractérisant le comportement mécanique (déflexion, rayon de courbure).

Cependant, la surveillance systématique repose sur le recueil et le suivi de l'évolution dans le temps de quatre paramètres les plus aptes à caractériser les qualités structurelles et superficielles d'une chaussée :

- La déformabilité
- l'état de dégradation
- l'uni longitudinal et transversal
- l'adhérence du revêtement.

Les pas de mesure ou de relevé et les fréquences d'intervention sont adaptés en fonction des variations spatiales et temporelles des indicateurs et comme, il n'est pas possible financièrement de renouveler chaque année l'ensemble des mesures sur tous les itinéraires et qu'on ne dispose pas d'une expérience suffisante de l'évolution moyenne dans le temps des indicateurs d'état, la préférence a été donnée à la continuité spatiale, ainsi le recueil des données s'effectue en continu sur toute la longueur des itinéraires et avec une périodicité.

1/ Listes et performances du matériel

On dispose au CNER du matériel suivant :

- 3 déflectographes, chacun a une performance de 10 Kms/j d'où :
- 3 (unités) x 10 Kms x 90 (jours annuel) = 2700 Kms.
- poutre Benkelman (4 essais/heure Kms) 2 (unités) x 7 (heures) x 4 (essais) x 60 J = 3360 essais.
- 1 Bump intégrator, dont la performance est de 32 Kms/h.
- APL (Analyseur du profil en long) dont la performance est de 72 Km/h.
- 72 x (5h/j) x 30 j = 10800 Kms/an.
- Relevé visuel : 2 équipes spécialisés dans cette tâche, dont la performance est de 50 Km/j/équipe
2 x 90 x 7,0 jours = 6000 Kms/an.
- La tâche au sable peut être effectuée en même temps que le relevé visuel ou le déflectographe lacroix.

D'après ce qui précède, on retient le tableau suivant :

Nature engin	Route à auscul- ter par cet engin	Performance	Périodi- cité réelle	Périodici- té adaptée
Déflécto- graphe	* RS + RP (2051)+(8749) = 10800 Kms	2700 Kms	4 ans	4 ans
Route Ben- kelman	* RS + CT - 4197 + 11724 = 15921	3360 Kms	4,7 ans	5 ans
Bump	RP = CT = RS = 26.721 Kms	11520 Kms	2,3 ans	4 ans
APL 72	RP = 8749	10800 Kms	0,81 ans	4 ans
Relevé visuel	RP + RS + CT = 26721	12600 Kms	2,12 ans	2 ans

* Une partie de la longueur totale des routes.

2) Tableau d'auscultation et périodicité des mesures

ROUTES NATIONALES

!Appareils!	Défléctographe!	Relevé visuel!	Bump!	APL!	Adhérence!
! Année !	!	!	!	!	!
! n (1) !	x	x	x	x	x
! n (4) !	x	x	x	x	x
! n (6) !		x			x
! n (8) !	x	x	x	x	x
! n (10) !		x			x
! n (12) !	x	x	x	x	x

Périodicité des mesures sur le réseau principal (1)

ROUTES SECONDAIRES

!Appareils!	Défléctographe!	Relevé visuel!	Bump!	Adhérence!
! Année !	!	!	!	!
! n (1) !	x	x	x	*x
! n + 4 !		x	x	x
! n + 6 !	x			x
! n + 8 !		x	x	x
! n + 10 !				x
! n + 12 !	x	x	x	x

Périodicité des mesures sur le réseau secondaire (2)

CHEMINS TERTIAIRES

! Appareils	! Poutre Benkelman	! Bump	! Relevé Visuel	!
! Année	!	!	!	!
! n (1)	! x	! x	! x	!
! n + 4	!	! x	! x	!
! n + 6	! x	!	!	!
! n + 8	!	! x	! x	!
! n + 10	! x	!	!	!
! n + 12	! x	! x	! x	!

Périodicité des mesures sur les chemins tertiaires (3)

n (1) : l'année n est l'année de construction ou de renforcement

C - Auscultation fine des sections à problèmes

A partir du diagnostic défini auparavant, on définit les sections homogènes en fonction de leur état. On retient alors, d'une part, la section la plus dégradée et d'autre part la moins dégradée qui nécessiteront par la suite :

- une analyse détaillée et des examens complémentaires (sondages, carottages, essai de plaque, CBR, insitu, analyse au laboratoire ...)
- interprétation et combinaison entre différents paramètres recueillis afin d'aboutir au diagnostic .

Compte tenu de la diversité des structures existantes et du fait que les problèmes des caractéristiques de surface sont au moins aussi importants que ceux liés au comportement de la structure, une étude type est problématique . Mais chaque cas, nécessite une intervention judicieuse et des moyens performants .

D - Recueil des données et leur utilisation dans la gestion routière

L'ensemble des données sur :

- la structure, le trafic, le sol, le profil en travers.
- les inspections visuelles
- les auscultations

sont alors introduit dans une banque de données en vue d'orienter

- 1) la politique d'entretien et de renforcements
- 2) l'établissement du projet de construction de chaussée.

La prise de décision résulte de la définition, pour chaque paramètre d'un seuil d'intervention.

- pour les défauts localisés, on intervient toujours
- pour des défauts de mise en oeuvre, de dimensionnement, de structure ..., on définit, deux indices globaux qui correspondent aux deux aspects principaux pour l'appréciation de la qualité de la chaussée.

CHEMINS TERTIAIRES

On définit alors les deux indices suivants :

a) indice globale de sécurité Igs

Igs est calculé sur la base des indices spéciaux

Iglis, Iuni et Iorn

$$Igs = 0,5 Iglis + 0,25 Iuni + 0,25 Iorn$$

b) Indice global Igc de comportement structurel

Igc est calculé sur la base des indices

Idvr ; Iuni ; Iorn ; comme suit :

$$Igc = Idvr \times 0,5 + Iuni \times 0,25 + Iorn \times 0,25$$

à partir du couple indices (Igs, Igc), on peut avoir une appréciation sur la qualité de la chaussée, l'évolution des caractéristiques, la valeur probable pour les années à venir et le moment d'intervention dans le futur.

IV - CONCLUSION

Le diagnostic du réseau national s'avère nécessaire aux études générales de construction, de renforcement ainsi que de maintenance.

L'adaptation de la méthodologie d'auscultation vise essentiellement :

- La conservation et l'adaptation de la structure
- Amélioration et conservation des qualités de revêtements.
- La recherche des défauts en tenant d'en prévenir l'évolution.

La synthèse des résultats d'auscultation est alors classée par ordre de priorité à l'aide d'un système de notation qui part des défauts constatés et de leur gravité pour aboutir à un programme opérationnel à réaliser et à une prévention de travaux pour les années ultérieures.

Elle permet aussi un examen critique pathologique des technologies de construction ou de renforcement utilisées et visant :

- à déceler des erreurs éventuelles de conception
- à relever les lacunes ou les défaillances liées à l'exécution ou la mise en oeuvre des matériaux
- à proposer des améliorations dans la doctrine de conception des projets ou dans la technologie de mise en oeuvre.

BIBLIOGRAPHIE

M. BOULET; Etudes d'auscultation des chaussées pour la programmation des travaux d'entretien et de renforcement du réseau routier français, Juillet 1983.

VEVERKA, LEMLIN, GHILAIN; Auscultation et suivi du réseau routier, North Américain Management Conference, Toronto 1985.

G. ROUQUES, J. LUCAS; Méthodes modernes de surveillance du réseau routier, Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, N° 84 Juillet - Août 1976.

Entretien préventif du réseau routier National, Guide technique SETRA - LCPC, Avril 1979.

Méthodologie d'auscultation, Guide technique - SETRA - LCPC, Avril 1979.