ETUDE DES METHODES D'AUSCULTATION ET D'OBSERVATION DES CHAUSSEES

Studie über Methoden für die Erfassung und Beobachtung vom Strassenzustand

Laboratoire des voies de circulation (LAVOC)
de l'Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne
M. Pigois, adj. sc.

Mandat de recherche 15/84

Novembre 1988

TABLE DES MATIERES

		Page
RESUME		3
1.	INTRODUCTION	6
1.1	**Historique**	6
1.2	**Définition du mandat**	10
2.	SYSTEME DE GESTION DES CHAUSSEES	12
2.1	**Définition d'un système de gestion**	12
2.2	**Processus de gestion des chaussées**	14
3.	ETAT DE LA RECHERCHE	19
3.1.	**Difficultés rencontrées**	19
3.2.	**Projet de recherche SHRP "Efficacité de l'entretien**	22
3.3.	**Projet de recherche SHRP "Comportement à long terme des chaussées**	24
4.	STRUCTURE D'UNE BANQUE DE DONNEES ROUTIERES	29
4.1.	**Le logiciel BDR LAVOC version 2.00**	29
4.2	**Le système de repérage**	30
4.3.	**Structure des informations**	31
4.4.	**Concept informatique du logiciel BDR LAVOC version 2.00**	35
4.5.	**Buts assignés au logiciel BDR LAVOC version 2.00**	38
5.	CLASSEMENT DES INFORMATIONS OU PARAMETRES D'UNE BANQUE DE DONNEES ROUTIERES	40
5.1.	**Classement des paramètres**	40
5.2.	**Liste des paramètres**	44
	1) Identification	45

5.2. **Liste des paramètres (suite)**
2) Trafic 48
3) Conditions climatiques 51
4) Etat structurel 53
5) Etat fonctionnel 57

6. MATERIEL D'AUSCULTATION 62

6.1. **Etapes de la constitution d'une BDR** 62
6.2. **Matériels d'acquisition et d'auscultation** 63
1) Identification 63
2) Trafic 66
3) Conditions climatiques 66
4) Etat structurel 67
5) Etat fonctionnel 71
6) Repérage 74
6.3. **Remarques** 75

7. FREQUENCE DES AUSCULTATIONS, SECTIONS D'AUSCULTATION ET FORME DES INFORMATIONS 76

7.1. **Fréquence des informations dans le temps** 76
7.2. **Fréquence des informations dans l'espace** 83
7.3. **Choix du type de section d'auscultation** 84
7.4. **Forme des informations** 86

8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 89

9. BIBLIOGRAPHIE 92

ANNEXES 97

ANNEXE 1: Rapport SHRP, recherche "comportement à long terme des chaussées" 98
1. Liste des données d'inventaire 98
2. Liste des paramètres d'auscultation 101

ANNEXE 2: Fiches descriptives de divers matériels d'auscultation à grand rendement 103

Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées

Studie über Methoden für die Erfassung un Beobachtung vom Strassenzustand

RESUME

Pour définir les informations nécessaires à l'évaluation des besoins d'entretien, il est indispensable de connaître les lois de comportement des chaussées qui sont utilisées et les paramètres intervenant dans ces lois. La recherche qui permettra d'établir ces lois de comportement étant en cours, ce rapport est donc basé essentiellement sur une étude des systèmes, existants ou proposés, de gestion de l'entretien des chaussées et sur un inventaire des appareils d'auscultation à grand rendement pour tenter d'en tirer un ensemble cohérent.

Pour définir, outre les paramètres nécessaires, la forme que ceux-ci doivent prendre pour pouvoir être introduits dans une banque de données et pour que les informations contenues dans la banque puissent être exploitées, il est nécessaire de connaître la structure du logiciel utilisé. Le rapport contient donc un exposé sur le logiciel BDR LAVOC, qui permet de montrer

ZUSAMMENFASSUNG

Um die notwendigen Informationen zur Abschätzung der Unterhaltsbedürfnisse festzulegen, ist es unerlässlich, sowohl die benutzten Verhaltensgesetze der Strassen, als auch die Parameter zu kennen, die in diesen Gesetzen wirken. Die Forschung, die es erlauben wird diese Verhaltensgesetze zu begründen, ist im Gange; dieser Bericht basiert somit grundsätzlich auf einer Untersuchung von - bestehenden oder vorgeschlagenen - Bewirtschaftungssystemen für den Strassenunterhalt, einem Inventar von Zustandserfassungsgeräten mit grosser Leistungsfähigkeit und dem Versuch, daraus ein zusammenhängendes Ganzes abzuleiten.

Es ist notwendig die Struktur des benutzten Programms zu kennen, einerseits um festzulegen, welche Form diese Gesetze - neben den nötigen Parametern - einnehmen müssen, um sie eine Datenbank einführen zu können und andererseits damit die in der Bank enthaltenen Informationen nutzbar gemacht werden können. Der Bericht enthält daher eine Darstellung des Programms BDR LAVOC; dies

que la forme des informations peut être très variable dans la mesure où le logiciel a prévu les liens permettant d'accéder à ces informations et de les traiter.

Le rapport propose un classement des paramètres en cinq types:
- identification
- trafic
- climatiques
- structurels
- fonctionnels

Pour chacun de ces types, une liste des paramètres jugés significatifs a été établie. Les liaisons entre les différents paramètres sont également indiquées.

Certains appareils d'auscultation à grand rendement permettant de relever les paramètres que l'on propose d'introduire dans les banques de données routières sont passés en revue. Cela permet de constater que, pour pratiquement tous les paramètres, il existe des matériels d'auscultation ou que de nouveaux appareils sont en cours de développement. Des fiches descriptives de ces appareils figurent en annexe.

Le problème de la fréquence dans le temps des auscultations est abordé sur la base d'exemples. Cela permet de voir qu'il n'y a pas une solution unique au problème posé, mais de nombreuses solutions tenant compte de l'importance du réseau et du trafic, de l'organisation et des moyens budgétaires et en personnel des administrations. En ce qui

erlaubt zu zeigen, dass die Form der Informationen sehr variabel sein kann: Und zwar in dem Masse, wie das Programm Pfade vorgesehen hat, welche es ermöglichen, zu diesen Informationen zu gelangen und sie bearbeiten.

Die Bericht schlägt die Einteilung in fünf Typen vor:
- Identifikation
- Verkehr
- klimatisch
- strukturell
- funktionell

Für jeden dieser Typen ist eine Liste der als wichtig eingestuften Parameter eingerichtet worden. Die Verbindungen zwischen den verschiedenen Parametern sind auch eingezeigt.

Es wurden auch gewisse Zustanderfassungsgeräte mit grösser Leistungfähigkeit kontrolliert, die es möglich machen, die Parameter, die man in die Strassendatenbank einzuführen gedenkt, genau zu bestimmen. Dies erlaubt die Festlegung, dass für praktisch alle Parameter Zustanderfassungsgeräte bestehen, oder dass neue Geräte in Entwicklung sind. Beschreibung dieser Apparate sind im Anhang aufgeführt.

Das probeme der zeitlichen Häufigkeit der Zustandserfassung ist aufgrund von Beispielen erörtet worden. Daran kann man erkennen, dass es nicht nur eine Lösung zum gestellten Problem gibt, sondern zahlreiche Lösungen, welche die Wichtigkeit des Netzes und des Verkehrs, aber auch die der Organisation der finanziellen Mittel und der Verwaltung im personnellen

concerne la fréquence des mesures dans l'espace, il est proposé de retenir des sections d'auscultations unitaires de longueur et de position fixes. Il est également proposé de ne stocker dans la banque proprement dite que des informations de haut niveau et non le résultat brut des mesures d'auscultation. Ces informations devraient cependant être aussi complètes que possible, ce qui ne préjuge en rien des traitements ultérieurs dont elles feront l'objet.

Bereich berücksichtigen. Was die örtliche Häufigkeit der Zustandserfassung betrifft, so ist vorgesehen, Teilstrecken mit einheitlicher Länge und fixen Messstellen festzusetzen. Es ist ebenfalls vorgesehen, in der eigentlichen Datenbank nur bearbeitete Informationen zu speichern und nicht das rohe Resultat der Zustanderfassung. Diese Informationen müssten jedoch so komplett wie möglich sein, was noch nichts über die weiteren Bearbeitungen, deren Gestand sie sein werden, entscheidet.

Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées

1. INTRODUCTION

1.1. Historique

Si les problèmes d'entretien des réseaux routiers et autoroutiers se sont fait plus aigus ces dernières années, avec entre autres la prise de conscience de l'état des ouvrages d'art, c'est en janvier 1976 déjà que la commission fédérale pour les recherches en matière de construction routière s'est préoccupée de cette question, en particulier à l'instigation de M. le professeur D. Genton. Dès juin 1986, cette commission confiait au LAVOC un mandat de recherche préliminaire intitulé **Organisation de l'entretien des routes** (mandat 26/76) dont le but était

- d'établir un inventaire des organisations existantes, en Suisse et à l'étranger, assurant l'entretien des routes,

- d'analyser les recherches entreprises à l'étranger concernant l'entretien des routes ainsi que l'interdépendance entre conception des projetS et entretien,

- de déterminer des critères d'évaluation et d'intervention,

- de déterminer des principes fondamentaux de la gestion de l'entretien,

- de proposer un programme de recherches dans le domaine de la gestion de l'entretien.

Dans le cadre de ce mandat, il n'était pas question de donner une réponse à toutes ces questions, mais plutôt de faire le point de la question et d'établir un catalogue des questions devant faire l'objet d'une étude particulière. Il est donc intéressant de rappeler les propositions de recherches contenues dans la conclusion du rapport de recherche. Ces propositions étaient au nombre de quatre:

1. **Etablissement d'une banque de données routières**, avec les problèmes de définition et de collecte des données, de structure et de traitement des données et du système de repérage de la position des informations.

2. **Critères d'intervention et normes de qualité**, ce point portant sur la recherche de valeurs de seuils d'alerte et d'intervention pour différents paramètres de comportement des superstructures, la recherche d'indicateurs de comportement avec une attention particulière à la mesure de la déflexion.

3. **Méthodes et cycles d'intervention.** Il s'agissait là de recommandations s'adressant avant tout aux techniciens plutôt qu'aux gestionnaires de l'entretien.

4. **Gestion de l'entretien.** Outre l'établissement du concept d'un système de gestion de l'entretien des routes basé sur l'utilisation d'une banque de données, l'aspect économique sous-jacent à tout système de gestion était mentionné.

Malgré quelques faiblesses, et en particulier une attention insuffisante aux questions économiques surtout en ce qui concerne les coûts liés aux usagers et sociaux, ces propositions sont restées très actuelles. Malheureusement, on ne peut que regretter que les impératifs budgétaires n'aient pas permis de mettre sur pied des moyens puissants et concentrés, nécessaires compte tenu de l'ampleur du problème, et qui auraient permis d'attaquer ces questions de manière globale et cohérente et de les résoudre rapidement. Au lieu de cela, les études se sont succédé dans le temps et ont été dispersées entre différents organismes de recherche.

Cette première étude avait montré qu'une banque de données routières informatisée était l'élément central de tout système de gestion de l'entretien et que la collecte des informations indispensables au fonctionnement d'un tel système était nécessairement longue. Il a donc semblé impératif au LAVOC de s'attaquer en priorité à ce problème. En octobre 1981, la commission fédérale de recherches en matière de constructions routières confiait au LAVOC un nouveau mandat de recherche "Banque de données routières (BDR)" portant sur

- l'établissement du cahier des charges d'une banque de données routières informatisée,

- et contenant, en particulier, des recommandations quant au système de repérage,

- à la structure des fichiers informatiques constituant la banque de données,

- et quant à la gestion et à l'exploitation de ces fichiers.

Il faut souligner que la production d'un **logiciel BDR** (Banque de Données Routières) n'était pas prévue dans le cadre de ce mandat. Cependant, au cours de l'étude, il s'est avéré nécessaire, pour contrôler le bien-fondé des options retenues, de programmer les fonctions les plus importantes de la banque de données. Toutefois, le logiciel constitué par l'ensemble de ces programmes (que nous désignerons par la suite **Logiciel LAVOC BDR version 1.00**, ne prétendait pas constituer un véritable **logiciel BDR** professionnel moderne. Précisons ici que, bien que la base en soit commune, le logiciel BDR utilisé par le Canton de Neuchâtel n'est pas identique à celui produit par le LAVOC. En effet, de nombreuses modifications et améliorations, certaines fondamentales au point de vue informatique, ont été apportées à la version originale.

Enfin, en 1984, trois mandats de recherches, reprenant certaines des propositions antérieures du LAVOC, étaient attribués par la commission fédérale pour la recherche routière:

- **Etude des méthodes d'observation et d'auscultation des chaussées (mandat de recherche No 15/84)**, confié au LAVOC et objet de ce rapport.

- **Etude exploratoire préalable à un travail de recherche sur un système informatisé de gestion et d'entretien des chaussées (mandat de recherche No 30/84)**, confié au Sevice des Ponts et Chaussées du Département des Travaux

Publics du Canton de Neuchâtel.

- **Entwicklung von Verhaltensmodellen als Grundlage eines programmierten Erhaltungskonzepts (Forschungsauftrag Nr. 31/84)**, confié à la section Strassenbau de l'Institut für Verkehrsplannung, Transportechnik, Strassen- und Eisebahnbau (IVT) de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich.

Malheureusement, les fonds correspondant à ce dernier mandat n'ont pas été débloqués immédiatement et le début des travaux n'était pas prévu avant 1987. On verra au chapitre 2 que cela a entraîné des effets négatifs sur l'exécution du présent mandat.

1.2 Définition du mandat

Dans l'exposé des motifs accompagnant la demande de crédit, l'objectif de la recherche était de répondre aux questions suivantes:

- Quels sont les paramètres nécessaires et suffisants qu'il convient d'inclure dans une banque de données routières et permettant de définir les niveaux de qualité d'une chaussée et d'évaluer les besoins d'entretien ?

- Comment ces paramètres peuvent-ils être identifiés dans la BDR (grandeurs physiques, niveau de qualité, appréciations subjectives, etc.) ?

- Quelles sont les méthodes appropriées qui permettent de déterminer par des mesures, des observations et/ou des auscultations automati-

ques, les valeurs des paramètres retenus ?

- Comment ces valeurs peuvent-elles être introduite de façon rapide et sûre dans la BDR.

Cependant, avant de répondre à ces questions, l'ètude a montré qu'il était nécessaire de les situer questions dans le cadre du concept d'un système de gestion des chaussées d'une part ainsi que de présenter les grandes lignes d'une banque de données routières informatisée. Il sera ensuite possible de classer les paramètres intervenant dans l'entretien des chaussées en tenant compte du cadre fixé par ces deux éléments: système de gestion et structure de la BDR. D'autre part, une étude des principaux appareils utilisés pour l'auscultation pourra fournir de précieux renseignements quant aux paramètres devant être introduits dans une BDR. Bien entendu, les expériences suisses et étrangères dans ce domaine constitueront une base de travail indispensable.

2. SYSTEME DE GESTION DES CHAUSSEES[1]

2.1. Définition d'un système de gestion

Un système de gestion de l'entretien des chaussées a été défini par l'OCDE [6] comme étant *le procédé qui consiste à coordonner et contrôler toutes les activités pour entretenir les chaussées en utilisant le mieux possible les ressources disponibles, c'est-à-dire en maximisant le bénéfice pour la société.* **Système de gestion** peut donc, selon cette définition, être considéré comme l'équivalent de l'expression anglo-saxonne **Pavement management system.**

Selon ce concept, les activités d'entretien n'incluent pas seulement le choix, l'exécution et le contrôle des travaux d'entretien, mais encore les activités liées à l'optimisation du bénéfice pour la société.

Dans un tel système de gestion, on peut donc distinguer deux niveaux:

- le niveau du réseau,

et

- le niveau du projet.

C'est cette distinction qui apporte un élément nouveau dans l'entretien des chaussées. En effet, une telle distinction signifie implicitement que la "meilleure"

---

[1] On reprend ici le terme traditionnel de **chaussée**, terme généralement utilisé dans les document internationaux en langue française, qui est souvent synonyme du terme suisse **superstructure.**

solution d'entretien au niveau d'un projet n'est pas nécessairement la "meilleure" solution au niveau du réseau. Un exemple très simple, et même simpliste, permettra de mettre en évidence cette situation. Le budget d'entretien disponible s'élève à Fr 1'000'000.-- et deux projets d'entretien doivent être réalisés, l'un d'un montant de Fr 750'000.-- et l'autre de Fr 500'000.--, ces deux projets correspondant aux meilleures solutions techniques compte tenu de l'état des tronçons en question. En premier lieu, une constatation s'impose: il est évident qu'il n'est pas possible de réaliser ces deux projets. Ensuite se pose la question de savoir quelle est la répartition la plus judicieuse des crédits disponibles. Il est donc bien nécessaire de dépasser la réflexion au niveau du projet pour aborder une réflexion plus globale au niveau du réseau.

Ces deux niveaux d'activité n'intéressent pas les mêmes personnes. Le niveau réseau concerne essentiellement les personnes responsables de la gestion du réseau tout autant au point de vue économique qu'au point de vue technique. Ces activités comprennent:

- la structuration du réseau,
- l'établissement des budgets,
- et l'évaluation de l'état du réseau à long terme, compte tenu des contraintes budgétaires.

Par contre, le niveau projet intéresse essentiellement

les techniciens[2]. A ce niveau, il s'agit

- de relever les dégradations et de déterminer leurs causes,
- de déterminer les solutions d'entretien adéquates,
- d'évaluer les coûts globaux de ces solutions (coûts des travaux, coûts des usagers actualisés sur la période d'analyse),
- d'effectuer un choix parmi les solutions possibles en tenant compte des critères économiques.

A ce niveau, les activités d'entretien recouvrent aussi bien l'entretien courant que l'entretien nécessaire pour conserver le patrimoine et assurer la sécurité des usagers.

2.2. Processus de gestion des chaussées

L'étude de l'OCDE "Systèmes de gestion des chaussées" [6] distingue quatre étapes dans le processus de gestion des chaussées:

- acquisition des données,
- modèles de comportement,
- critères d'intervention et optimisation,

---

[2] Dans ce cas, le terme de **technicien** n'est pas employé par opposition à **ingénieur**, mais par opposition à **gestionnaire**. Dans les deux cas, gestionnaire ou technicien, on a affaire le plus souvent à des ingénieurs spécialisés dans le domaine de la construction routière.

- analyses des conséquences et mise en oeuvre de la politique d'entretien.

Au cours de ces étapes, les différentes activités peuvent intéresser soit le niveau réseau, soit le niveau projet, soit les deux. Ces principales fonctionalités sont représentées dans la figure 2.1. De plus, les objectifs et les bénéfices attendus d'un système de gestion des

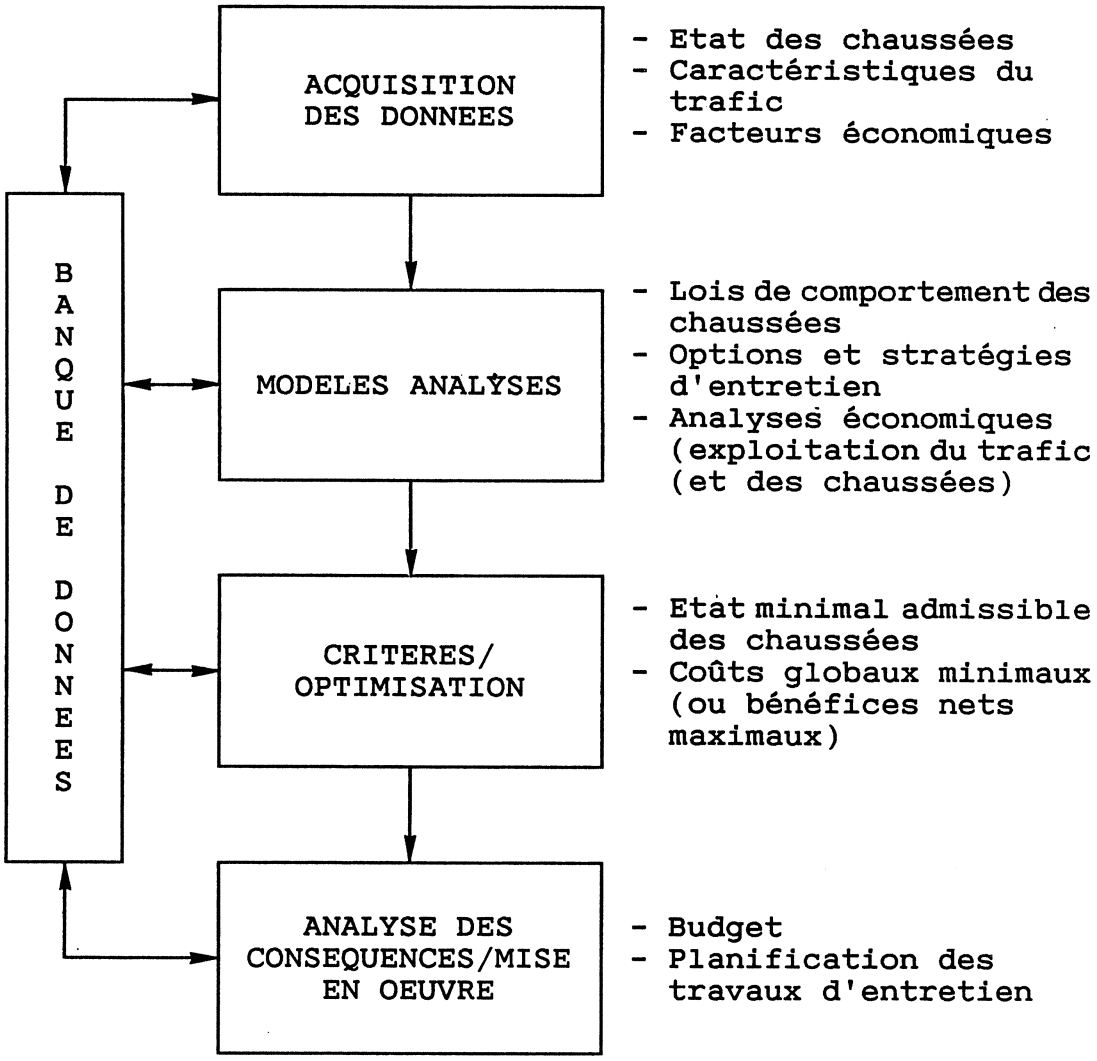

Figure 2.1
Principales étapes du processus de gestion des chaussées (selon rapport OCDE)

chaussées peuvent être de trois ordres: économique, technique et administratif. Ces objectifs et bénéfices peuvent être résumés comme indiqué dans la figure 2.2.

Aspects		
économique	**technique**	**administratif**
- gestion du budget - planification des améliorations du réseau - effets financiers d'un ajournement des travaux d'entretien - effets financiers d'une modification des seuils d'intervention - rentabilité grâce à un système de priorités tenant compte des coûts et bénéfices	- constitution d'une base de données - amélioration des techniques grâce à l'expérience - choix de méthodes d'entretien optimales - définition des problèmes et solutions objectives - modèle de comportement pour l'évaluation des performances futures et des coûts/bénéfices	- définition rationnelle de l'état du réseau - programmation de l'entretien - méthode de surveillance efficace - évaluation des conséquences du niveau de financement sur l'état du réseau - base objective aux décisions politiques

Figure 2.2
Objectifs visés et bénéfices attendus d'un système de gestion de l'entretien des chaussées

En analysant le schéma du processus de gestion de l'entretien des chaussées proposé par l'OCDE (figure 2.1), trois remarques s'imposent:

- une banque de données est indispensable à toute gestion de l'entretien, elle est utilisée à toutes les étapes du processus de gestion soit pour l'interroger, soit pour la compléter en

fonction des résultats des différentes analyses,

- une banque de données ne constitue cependant pas le système de gestion, elle n'est qu'un instrument,

- l'acquisition des données précède la constitution de la banque et la nature des informations recueillies ne dépend pas du type de banque de données (informatisée ou non).

On doit donc conclure que la nature et la structure des données nécessaires à la gestion dépendent avant tout des modèles et des critères retenus. Il n'est donc pas possible de définir, comme c'est le but de ce mandat, les paramètres qu'il convient d'inclure dans une banque de données et la forme de ces paramètres sans faire référence à un système de gestion donné.

Lors de l'étude de la volumineuse documentation disponible sur ce sujet, il est apparu évident que la chronologie suivie en ce qui concerne les mandats 31/84 "Entwicklung von Verhaltensmodellen als Grundlage eines programmierten Erhaltungskonzepts" et 15/84 "Etude des méthodes d'observation et d'auscultation des chaussées", ces méthodes devant dépendre avant tout du modèle de comportement retenu.

Devant cette situation, la méthode de travail retenue a consisté, sur la base d'une étude bibliographique, à faire d'une part un inventaire des systèmes de gestion existants ou proposés et de relever les paramètres utilisés dans ces systèmes de gestion et, d'autre part, de faire un inventaire des différents matériels d'auscultation. En effet, on peut espérer tirer de la synthèse de ces deux inventaires un ensemble d'informations concor-

dantes permettant de répondre aux objectifs fixés dans le mandat. Bien évidemment, une telle approche ne permet pas de garantir la cohérence des conclusions et surtout pas une identité de vue avec le mandat 34/84 dont les travaux ont débuté beaucoup plus tardivement à cause de contraintes financières.

3. ETAT DE LA RECHERCHE

3.1. Difficultés rencontrées

Un problème majeur rencontré au cours de cette étude est certainement la masse de documentation publiée au cours des dernières années sur la problématique de l'entretien des chaussées.

Dans l'ensemble, on peut remarquer un certain consensus entre les différents auteurs autour des principes exposés dans le chapitre précédent "Système de gestion des chaussées". Par contre, l'unanimité est loin de se faire en ce qui concerne les points pratiques. En fait, cela s'explique très bien si l'on examine les conditions dans lesquelles cette gestion de l'entretien est abordée.

La façon d'appréhender le problème peut être très différente selon que la structure de l'**administration** des routes est fortement **centralisée** ou, au contraire, **décentralisée**. Ces deux types de structure administrative peuvent d'ailleurs cohabiter dans un même pays selon qu'il s'agit du réseau des routes nationales ou de réseaux locaux.

La **période** à laquelle cette préoccupation concernant la gestion de l'entretien des chaussées a pris corps joue également un rôle. Les administrations ayant attaqué le problème très tôt pouvent avoir une approche assez pragmatique, alors que celles qui l'ont abordé tardivement ont plutôt une approche plus théorique et une vue générale de l'entretien.

De même, l'**importance du réseau** intervient dans la

façon de concevoir le problème.

Les **finalités** attribuées à la **gestion de l'entretien** influent également sur l'approche du problème. S'il s'agit de concevoir une gestion de l'entretien pour un réseau dont le dimensionnement structurel est globalement très insuffisant ou, au contraire, pour un réseau convenablement dimensionné, le résultat des réflexions peut être assez différent.

D'autre part, les **moyens techniques** à disposition influencent certainement les méthodologies retenues. Le fait de disposer de certains matériels d'auscultation à grand rendement et de ne pas disposer de certains autres fera que ces matériels seront ou non inclus dans une méthodologie d'entretien.

Outre les moyens techniques, les **moyens financiers** disponibles jouent également un rôle important dans le choix des méthodologies d'entretien. En effet, il est illusoire de retenir une méthodologie nécessitant des relevés de l'état des chaussées nombreux et fréquents si les moyens financiers pour les exécuter font défaut. A ce propos, il est faux de vouloir juger de la qualité d'un système de gestion sur la base du nombre et de la fréquence des auscultations, de la sophistication des matériels utilisés ou même de l'état du réseau. En effet, ces points dépendent dans une large mesure des moyens financiers à disposition. En fait, dans nombre de cas, il semble que le système ait été bâti en tenant compte autant des possibilités budgétaires, sinon plus, que sur la base de considérations techniques.

De plus, à la lecture des documents, il est souvent difficile d'évaluer le **niveau d'application** atteint par

les méthodes proposées de gestion de l'entretien. Dans certains cas, il n'est pas douteux qu'il s'agit d'une méthode mise en application à grande échelle, mais alors, on peut avoir affaire à une conception relativement ancienne et qui ne correspond plus tout à fait aux ambitions actuelles d'un système moderne de gestion des chaussées, tout particulièrement en ce qui concerne la prise en compte des coûts et bénéfices pour parvenir à une optimisation globale. Par contre, dans de nombreux cas, il est difficile d'apprécier si le système est réellement opérationnel, même s'il est déjà utilisé pour gérer un partie du réseau, ou s'il est encore au stade des tests. Quelquefois même, on peut penser qu'il ne s'agit que de "maquettes de démonstration" permettant de se faire une idée des possibilités que pourrait offrir un système de gestion de l'entretien des chaussées.

Enfin, il est difficile, sinon impossible, de dire quel est le "meilleur" système de gestion, ce qui, du même coup, donnerait la réponse aux questions posées: il suffirait alors de proposer les solutions retenues dans ce système. Le "meilleur" système dépendra en effet de la taille du réseau, des moyens techniques et financiers, voire du niveau scientifique du groupe chargé de son application et de bien d'autres facteurs.

Compte tenu de ces difficultés, il n'est pas sans intérêt d'étudier les propositions de recherche dans ce domaine qui se trouvent dans le rapport final du **Strategic Highway Research Program** (SHRP) publié en mai 1986 [5]. En effet, dans ce programme de recherche, un des six grands thèmes abordés porte directement sur l'entretien[3] et un

[3] Technical research area 3 "Detailed planning for research on maintenance effectiveness"

autre sur le comportement à long terme des chaussées[4].

3.2. Projet de recherche SHRP "Efficacité de l'entretien"

Dans le projet de recherche "Efficacité de l'entretien", quatre sujets sont développés:

- Evaluation de l'efficacité de l'entretien des chaussées
- Systèmes de mesure et instrumentation pour évaluer l'efficacité de l'entretien des chaussées
- Matériaux et matériels améliorés pour la réparation des dégradations de surface et le colmatage des fissures
- Procédés de signalisation des chantiers d'entretien améliorant la sécurité du personnel et des automobilistes

Un budget de 20 millions de dollars pour une période de cinq ans est attribué à ce projet de recherche, dont 3,5 millions pour le thème "Systèmes de mesure et instrumentation" qui nous intéresse directement.

La première tâche de ce sujet de recherche porte sur l'**évaluation des systèmes de mesure et de l'instrumentation**. Ce sujet de recherche est défini de la manière suivante:

- *Identification des* **paramètres** *et des* **dégradations** *qui doivent être mesurées au*

[4] Technical research area 2 "Long-term pavement performance"

cours du temps pour évaluer l'efficacité de l'entretien. Il est souhaitable que toutes ces mesures soient effectuées à l'aide de **systèmes de mesure** *ou d'une* **instrumentation automatique à grand rendement.**

- *Définir les* **unités de mesure** *qui caractériseront effectivement les paramètres et les dégradations sélectionnés.*

- *Pour chaque type de mesure, rechercher et évaluer les* **appareils disponibles** *actuellement, soit ceux utilisés par les administrations des différents états, soit ceux disponibles dans le commerce. Ces appareils doivent satisfaire aux conditions suivantes:*
  - *fidélité des mesures lorsque l'appareil est utilisé par des opérateurs différents,*
  - *utilisation économique,*
  - *peu coûteux à l'achat ou à fabriquer,*
  - *possibilité d'effectuer des mesures rapidement et en toute sécurité,*
  - *les mesures effectuées doivent pouvoir être converties* **automatiquement** *en* **informations utilisables** *sans interprétations ou transformations laborieuses,*
  - *emploi sûr et entretien aisé, mesures précises grâce à une calibration correcte,*
  - *souplesse d'emploi, un grand nombre de mesures différentes pouvant être effectuées avec le même équipement,*
  - *entreposage facile et durabilité pour une grande variété de conditions d'utilisation et climatiques.*

Les études préliminaires ont montré que les équipements actuels ne remplissaient pas absolument les conditions souhaitées. En effet, un des buts de cette recherche est de concevoir, fabriquer et mettre au point des prototypes. Il est donc vraisemblable qu'au cours des prochaines années de nouveaux matériels d'auscultation très performant apparaîtront sur le marché. En effet, il est prévu de faire un effort particulier pour étudier les possibilités d'utilisation des techniques sonique, ultrasonique, infrarouge, nucléaire, acoustique, vidéo, thermique, de propagation des ondes, des micro-ondes, de l'interférométrie, des lasers, du radar, de la reflectivité infrarouge.

Ces sujets de recherche coïncident bien avec les préoccupations de notre mandat. Il est donc vraisemblable que, si un tel effort est fourni dans ce domaine dans le cadre du SHRP, c'est parce qu'il n'existe pas actuellement de réponses définitives aux questions posées.

3.3. Projet de recherche SHRP "Comportement à long terme des chaussées"

Bien que ce thème ne concerne pas directement notre mandat de recherche, mais plutôt le mandat 31/84 "Entwicklung von Verhaltenmodellen als Grundlage eines programmierten Erhaltungskonzepts", l'examen des propositions de recherche détaillées est intéressant. En effet, un des buts assignés à ce projet de recherche est de déterminer les effets des paramètres significatifs qui influencent la dégradation et le comportement des chaussées. Parmi ces paramètres, sont cités:

- les charges,
- l'environnement,

- les caractéristiques des matériaux et la variabilité de ces caractéristiques,
- la qualité de construction,
- le niveau d'entretien.

Cette étude sera basée sur la sélection et le suivi du comportement de tronçons d'essai. Pour chaque type de superstructure, quatre facteurs ont été retenus pour sélectionner ces tronçons d'essai:

- sol d'infrastructure (deux niveaux: fin et grossier)
- trafic (deux niveaux: moyen et lourd)
- température (deux niveaux: avec et sans gel)
- humidité (deux niveaux: sec et humide)

On définit ainsi 16 cellules principales (figure 3.1). Chacune de ces cellules principales se décompose en cellules secondaires en fonction du type de superstructure.

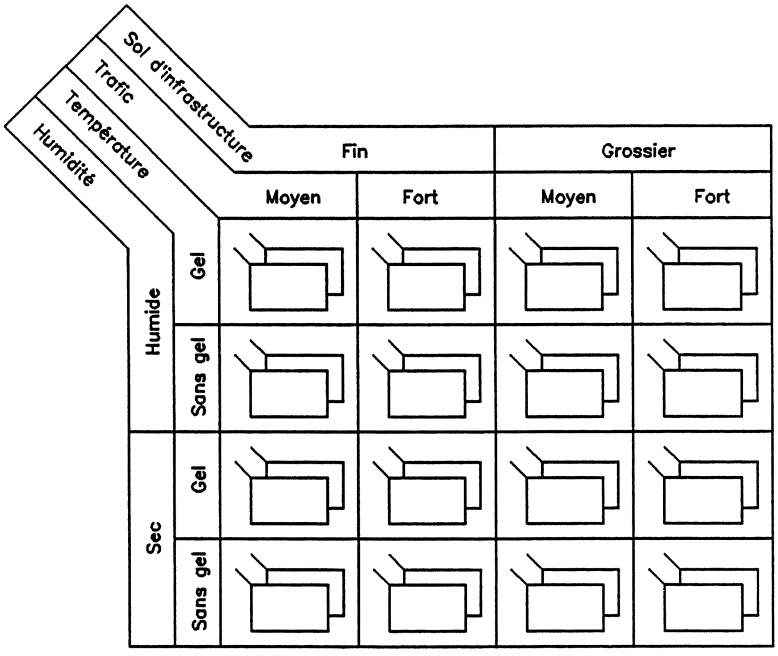

Figure 3.1
SHRP, sélection des cellules principales

Par exemple, pour une superstructure constituée d'un revêtement bitumineux sur une fondation en grave, on tient compte de trois critères:

- épaisseur du revêtement bitumineux trois niveaux: faible, moyenne, forte),
- rigidité du béton bitumineux (deux niveaux: forte et faible),
- indice d'épaisseur SN de la fondation.

On obtient ainsi 12 cellules secondaires (figure 3.2) pour chaque cellule principale, soit un total de 192 possibilités[5].

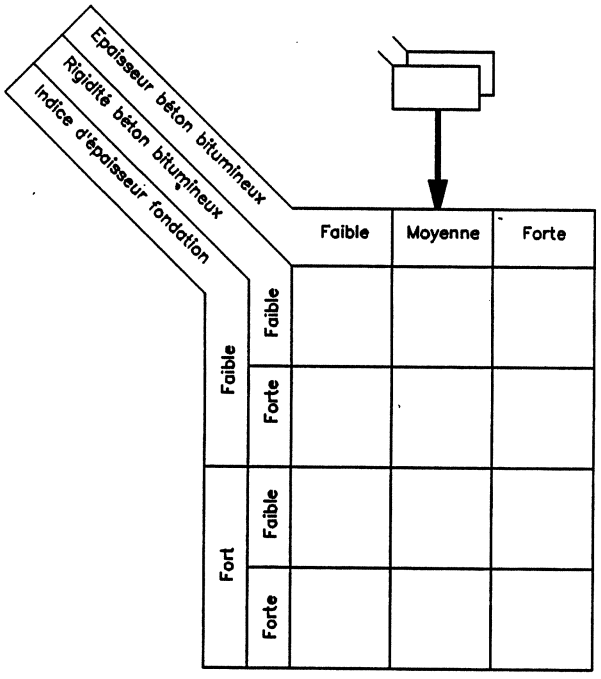

Figure 3.2
SHRP, sélection des cellules secondaires

[5] En fait, chaque combinaison étant répétée deux fois, c'est un total de 384 tronçons d'essai qui sera retenu pour ce seul type de superstructure et un total de 2'836 pour l'ensemble du projet de recherche.

Deux types de données devront être collectés dans le cadre de ce programme de recherche:

- des **données d'inventaire** (inventory data) qui permettent de sélectionner le tronçon d'essai, de le décrire, de décrire son environnement, son état et les charges qu'il doit supporter. Ces données seront recueillies au début des essais.

- des **paramètres d'auscultation** (monitoring data) qui permettront d'évaluer le comportement de la superstructure. Ces données seront recueillies périodiquement, la période pouvant varier, par exemple, de quatre fois par an pour le trafic à une fois tous les trois ans pour la déflexion.

La liste des données d'inventaire et des paramètres d'auscultation qu'il est envisagé de collecter figure en annexe (Annexe 1).

Il est prévu d'apporter un soin particulier à cette collecte et pour cela on utilisera autant que possible des moyens automatiques comme, par exemple,

- l'enregistrement photographique automatique des dégradations couplé avec la mesure des ornières,

- un profilomètre plutôt qu'un appareil type "roughness meter",

- un déflectomètre à boulet pour la mesure de la déflection,

- de nouveaux équipements pour le comptage, la classification des véhicules et la détermination de la charge par essieu sans interruption du trafic à des coûts très réduits sont en cours de développement.

Une fois encore, l'examen des propositions contenues dans le rapport SHRP montre qu'il n'est pas possible de répondre de manière définitive aux questions posées. En fait, dans le cadre du programme SHRP, il est prévu d'enregistrer un maximum d'informations afin de pouvoir dire, à la fin de la recherche, quelles sont celles qui sont réellement déterminantes pour évaluer les besoins d'entretien et à quelle fréquence et sous quelle forme elles doivent être collectées. De plus, c'est au cours de ces recherches que seront mis au point un certain nombre d'appareil permettant de les recueillir.

4. STRUCTURE D'UNE BANQUE DE DONNEES ROUTIERES

4.1. Le logiciel BDR LAVOC version 2.00

Avant de parler de la structure que devraient avoir les informations pour qu'elles puissent être introduites dans et traitées par une banque de données routières informatisée, il semble intéressant de décrire le fonctionnement du logiciel en cours de développement au LAVOC.

Comme cela a déjà été exposé, le logiciel BDR LAVOC version 1.00 développé dans le cadre du mandat de recherche "Banques de données routières (BDR)" ne constituait pas un système, mais il s'agissait plutôt de la juxtaposition de programmes formant une suite plus ou moins cohérente. D'autre part, ce logiciel était trés lié au matériel informatique utilisé, ce qui, dans une large mesure, interdisait son installation sur des matériels d'autres constructeurs. Enfin, le logiciel était peu convivial, en particulier,l'introduction de certaines données ou corrections devaient se faire par l'intermédiaire de l'éditeur. Par contre, à aucun moment, il n'a été jugé nécessaire de revoir le concept retenu lors de l'étude du mandat BDR.

Rapidement, il s'est avéré qu'il était illusoire de vouloir corriger les défauts du logiciel BDR LAVOC version 1.00 et qu'il était nécessaire de revoir tout le concept informatique. C'est ce qui a été réalisé dans la version 2.00 qui reprend le même concept de base, mais qui constitue un véritable système informatique, largement indépendant du matériel et de conception moderne. Cette version 2.00 a pu être réalisée grâce à un mandat confié

au LAVOC par un groupe d'administrations cantonales[6]

4.2. Le système de repérage

Dans la BDR, tout le concept de repérage des informations repose sur la notion de points de repère. Avant toute chose, il est nécessaire de définir des points de repère. Un **point de repère** est défini par son nom et ses coordonnées. Les **tronçons** de route sont ensuite définis par une **succession ordonnée** de noms de points de repère complétée par l'indication de la **distance** entre deux points de repère successifs (figure 4.1). Un **itinéraire** est défini par une succession ordonnée de tronçons, cette dernière notion n'étant pas indispensable pour le fonctionnement de la BDR.

Dans ce système, un point de repère est absolument unique et il n'est pas lié à un tronçon ou un itinéraire. D'autre part, la distance entre deux points de repère successifs est variable et quelconque (généralement, cette distance est de l'ordre du kilomètre). Il faut encore remarquer que le **nom** du point de repère ne constitue pas nécessairement une information; par contre, il permet d'accéder à des informations (par exemple, ses coordonnées). La création des points de repère, tronçons et itinéraires permet de structurer le réseau et de repérer dans l'espace les informations introduites dans la BDR.

---

[6] Département des Travaux Publics du Canton de Genève, Département des Travaux Publics du Canton du Jura, Tiefbauamt Basel-Landschaft, Bureau de construction des autoroutes vaudoises, Département des Travaux Publics du Canton de Neuchâtel.

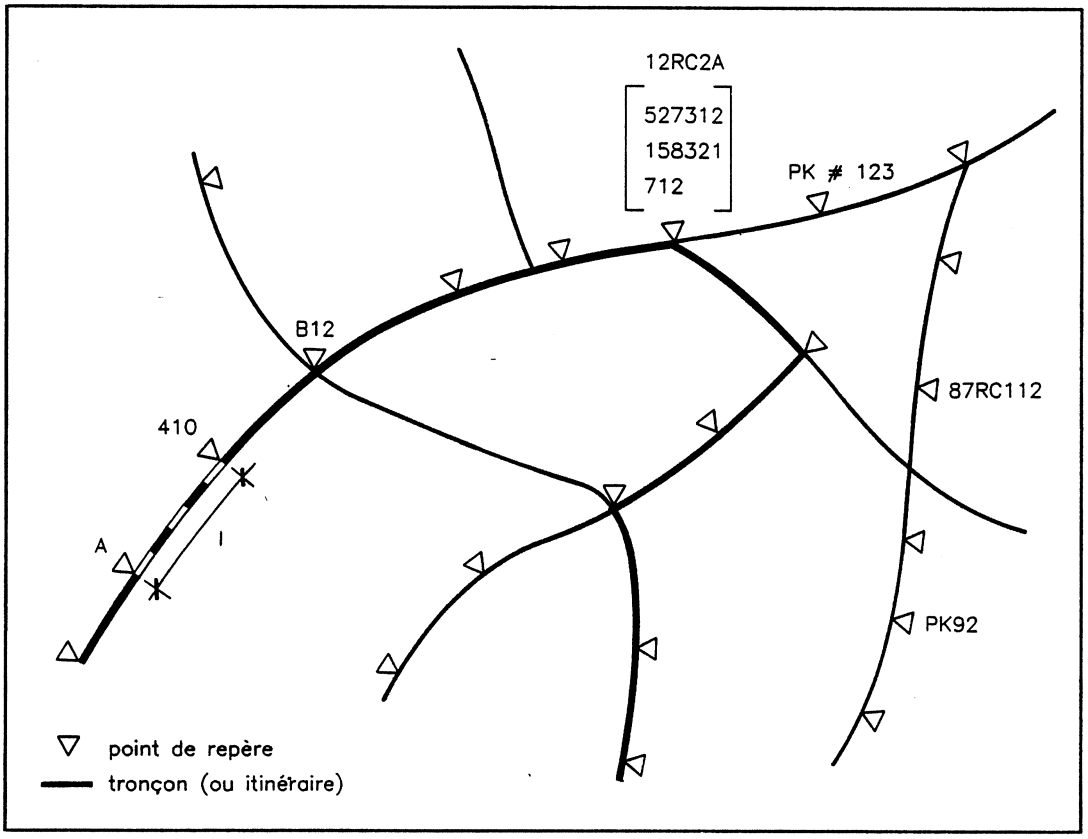

Figure 4.1
Structuration du réseau en tronçons sur la base des points de repère

4.3. Structure des informations

A l'intérieur d'un cadre imposé par la BDR, la définition de la structure d'un type d'information, ou paramètre, est très souple. D'autre part, le logiciel dispose d'un gestionnaire de masque interactif permettant la saisie des informations.

Dans un premier temps, pour un paramètre donné, il est nécessaire de définir la structure, ou patron, du paramètre. Pour cela, en plus de la définition du paramètre principal, on dispose de dix sous-paramètres. Par exemple,

pour introduire dans la BDR les informations concernant les accidents, on créera un **paramètre principal "ACCIDENT"**. Ce paramètre principal sera défini par:

- son nom: **ACCIDENT**
- son unité: [-]
- les valeurs minimale et maximale que peuvent prendre cette unité: -
- huit sous-paramètres:
  1. Type d'accident: **TYPE**
  2. Moment de l'accident: **MOMENT**
  3. Etat de la surface: **ETAT**
  4. Dégâts matériels: **MATERIEL**
  5. Blessés: **BLESSES**
  6. Morts: **MORTS**
  7. Causes de l'accident: **CAUSES**
  8. Conditions météorologiques: **METEO**

Chacun des sous-paramètres est lui-même défini par son nom, son unité, les valeurs minimale et maximale que peut prendre cette unité et seize caractéristiques ou types. Par exemple, dans le cas du paramètre principal "ACCIDENT", le sous paramètre "MOMENT" est défini par:

- son nom: **MOMENT**
- sont unité: [-]
- les valeurs minimale et maximale que peut prendre cette unité: -
- et trois caractéristiques ou types:
  1. L'accident a eu lieu de jour: **JOUR**
  2. L'accident a eu lieu de nuit: **NUIT**
  3. L'accident a eu lieu dans la pénombre: **PENOMBRE**

Il faut noter que cette structure n'est pas imposée aux utilisateurs. Au contraire, pour une BDR donnée, les responsables de la BDR sont libres de définir d'une part,

les types d'informations qu'ils souhaitent voir figurer dans la BDR et d'autre part, la structure des paramètres. Ce qui précède ne constitue qu'un exemple possible.

La structure des paramètres, ou patron, étant ainsi définie, il est possible d'introduire les informations dans la BDR. Pour cela, la structure d'une information devra correspondre au patron du paramètre concerné. Toute information sera définie par:

- le nom du tronçon concerné,
- les distances entre la position où l'information est valable et les points de repère amont et aval,
- les dates de début et de fin de validité,
- pour le paramètre principal et chacun des sous-paramètres, la valeur prise par le paramètre principal ou le sous-paramètre et le(s) type(s).

On remarquera qu'une information est repérée non seulement dans l'espace, mais aussi dans le temps. Ainsi, une sélection des informations pourra se faire sur la base d'une date.

Reprenant l'exemple du paramètre "ACCIDENT", un accident sera défini par:

- Le nom du tronçon sur lequel s'est produit l'accident: **TR#12**
- Le nom du point de repère aval: **VD#123**
- La distance entre le lieu de l'accident et ce point de repère: **435** [m]
- Le nom du point de repère amont: **PK45**
- La distance entre le lieu de l'accident et ce point de repère: **563** [m]
- Le début de validité: **9 9 1987**
- La fin de validité: **31 12 1999**

- Pour le paramètre principal et les huit sous-paramètres la valeur et le(s) type(s):

PARAMETRE SS-PARAMETRE	UNITE	TYPE(S)
ACCIDENT	-	-
TYPE	-	2 (veh/veh)
MOMENT	-	1 (jour)
SURFACE	-	1 (sèche) 8 (gravillons)
MATERIEL	5 (10^3 Fr)	2 (poteaux)
BLESSES	-	-
MORTS	-	-
CAUSES	-	-
METEO	-	1 (beau)

Il s'agit donc d'un accident qui s'est produit le 9 septembre 1987 sur le tronçon de route TR#12, entre les points de repère VD#123 et PK45. Il s'agit d'une collision entre deux véhicules. L'accident s'est produit de jour, par beau temps, sur une route sèche et gravillonnée. Il n'y a ni mort, ni blessé et les dégâts matériels s'élèvent à Fr 5'000.--. Les causes de l'accident sont inconnues.

L'introduction des données peut se faire de manière interactive grâce à des masques de saisie générés par le logiciel lors de la définition du patron du paramètre.

La saisie interactive des données pourra être utilisée pour des informations isolées (par exemple, un accident, ou par l'intermédiaire de fichiers séquentiels (par exemple, pour l'introduction de mesures effectuées par des appareils d'auscultation à grand rendement).

Il faut noter encore que les opérations de traitement

des informations peuvent se faire sur toutes les informations ainsi entrées dans la BDR.

4.3. Concept informatique du logiciel BDR LAVOC version 2.00

Lors du démarrage du projet "logiciel BDR LAVOC version 2.00", le critère de portabilité a été déterminant dans le choix de certaines options informatiques. En particulier, le langage de programmation retenu est le FORTRAN 77, langage que l'on trouve sur tous les matériels et qui fait l'objet d'un standard. Pour la partie représentation graphique, c'est le langage GKS (version 2.0) qui a été retenu.

Le logiciel BDR est du type pseudo multi-utilisateur. Cela signifie qu'il est conçu de telle sorte que plusieurs utilisateurs puissent examiner simultanément le contenu de la banque de données, alors qu'un seul possède le privilège de la modifier.

Ce logiciel constitue un système informatique complet qui comprend quatre niveaux d'accès:

- Les **primitives BDR**, qui constituent le niveau d'accès le plus bas au système et dont l'utilisation ne peut se faire que par l'intermédiaire d'un programme écrit en FORTRAN 77.

- Les **commandes BDR**, qui constituent le niveau d'accès par défaut au système et dont l'utilisation est totalement interactive.

- Les **macro-commandes BDR**, qui constituent un niveau d'accès évolué au système et dont l'utilisation se fait à partir du langage de commande ou de macro-commandes.

- Les **modules spécialisés BDR**, qui constituent le niveau d'accès le plus évolué au système et dont l'utilisation se fait à partir du langage de commande ou de macro-commandes.

D'un point de vue purement informatique, on peut définir quatre types d'utilisateur:

- Le gestionnaire de la BDR, qui seul possède le privilège de super-utilisateur lui permettant de créer, modifier ou supprimer les informations contenues dans la BDR.

- Les utilisateurs habituels, qui interrogent la BDR par l'intermédiaire de modules spécialisés et de macro-commandes.

- Les utilisateurs expérimentés, qui peuvent créer des macro-commandes permettant, en regroupant des commandes dans des procédures, de faciliter la réalisation de tâches répétitives.

- Les utilisateurs informaticiens, qui peuvent créer des modules spécialisés permettant d'enrichir le logiciel d'utilitaires répondant à des täches spécifiques.

Il faut insister sur le fait que ces distinctions sont purement informatiques et qu'elles n'ont aucune implication sur l'organisation interne des administrations utilisant la BDR. En particulier, pour une utilisa-

tion courante, il n'est pas nécessaire de posséder des connaissances particulières en informatique. Par contre, des connaissances minimales du langage propre au logiciel BDR sont indispensables.

A titre d'exemple, indiquons qu'il est possible, à partir du langage de commande propre au logiciel BDR, de créer une macro-commande permettant de déterminer les longueurs de chacune des deux voies d'un tronçon pour lesquelles la déflexion est supérieure à une valeur limite donnée, ainsi que les valeurs extrêmes mesurées. L'exécution de cette macro-commande appelée, par exemple **DEFLEX** se fera de la manière suivante:

```
BDR> MACRO DEFLEX<┘
BDR> Désignation du troçon ? LAC<┘
BDR> Déflexion limite [1/100 mm] ? 100<┘
BDR> Voie droite [longueur, maximum] : 4832, 112
BDR> Voie gauche en ordre !
BDR> _
```

Le logiciel BDR, grâce en particulier aux macro-commandes et aux modules spécialisés, permet aux responsables de la gestion d'un réseau routier de sélectionner, de trier et de comparer des informations, de les présenter sous forme de tableaux, de cartes, de schémas ou encore d'éléments statistiques. D'autre part, il permet aux responsables techniques de l'entretien d'être tenus informés de l'état du réseau à un moment donné, de connaître son évolution, ainsi que l'évolution du trafic et de tous les événements qui peuvent influencer le comportement de la chaussée.

4.5. Buts assignés au logiciel BDR LAVOC version 2.00

Une banque de données routières doit pouvoir contenir toutes les informations nécessaires pour assurer la gestion de l'entretien des **chaussées**, que ce soit au niveau **réseau** ou au niveau **projet**.

Dans ce cadre, les informations concernant l'entretien des ouvrages d'art ne devraient pas figurer dans la BDR. Cela ne veut pas dire que la BDR n'est pas capable de stocker et traiter ce genre d'information, mais qu'il n'est pas recommandé de mélanger dans une même banque ces deux types d'information: chaussées et ouvrages d'art. En effet, pour tout ce qui touche à la structure des ouvrages d'art, si l'on excepte les revêtements, la nature des auscultations et leur fréquence diffèrent totalement de celles des chaussées. D'autre part, les critères d'intervention sont très différents, en particulier en ce qui concerne les risques de rupture de la sructure porteuse qui sont présents pour les ouvrages d'art, alors que ces risques sont inexistants dans le cas des chaussées, hormis les risques géotechniques qui ne font généralement pas l'objet d'une auscultation systématique.

De même, on excluera de la BDR les informations concernant l'entretien hivernal et l'entretien courant (nettoyage, marquage, ...) qui n'ont pas directement d'impact sur le comportement des chaussées.

Devant être utilisée au niveau projet, la BDR doit contenir des informations permettant d'évaluer l'état d'une zone bien définie de la chaussée, de décrire la modification de cet état et de prévoir son évolution. Il doit cependant s'agir d'informations de haut niveau, c'est-à-dire, en règle générale, d'informations ayant

déjà fait l'objet d'un prétraitement et non pas d'informations brutes résultant directement de l'auscultation. Ainsi, par exemple, la BDR devrait contenir la valeur caractéristique de la déflexion sur un tronçon unitaire[7] ou un tronçon homogène[7] et non pas les valeurs des mesures individuelles de la déflexion le long de ce tronçon. En aucun cas, dans l'optique d'un système gestion de l'entretien, la BDR ne constituera un moyen d'archivage de toutes les informations concernant le réseau.

[7] Voir chapitre 7.

5. CLASSEMENT DES INFORMATIONS OU PARAMETRES D'UNE BANQUE DE DONNEES ROUTIERES

5.1 Classement des paramètres

On fait généralement une double distinction entre les différents paramètres:

a) distinction entre les paramètres dont les caractéristiques ne varient pas ou peu et ceux dont les caractéristiques évoluent avec le temps,

b) distinction entre les paramètres décrivant le comportement **fonctionnel** de la chaussée et ceux décrivant son comportement **structurel.**

L'état de la route doit permettre aux usagers de se déplacer dans des conditions de sécurité et de confort suffisantes. En d'autres termes, l'état de la route doit lui permettre d'assurer sa **fonction.** On parlera donc de comportement fonctionnel pour décrire l'état de la chaussée et sa modification en ce qui concerne la sécurité et le confort. Ce comportement fonctionnel sera décrit grâce à l'évolution des paramètres fonctionnels.

Simultanément, le but de l'entretien est d'assurer la pérennité de l'ouvrage et son adaptation progressive aux besoins du trafic. Il s'agit donc d'entretenir la **structure** de la chaussée. On parlera alors de comportement structurel pour décrire le comportement mécanique de la chaussée. Ce comportement structurel sera décrit par l'évolution des paramètres structurels.

En général, les paramètres fonctionnels n'influencent pas le comportement structurel d'une chaussée. Par exemple, la perte de la qualité antidérapante, si elle intervient de façon importante sur la sécurité des usagers, est sans influence sur le comportement mécanique de la structure. Même un orniérage[8] important, qui lui aussi est un facteur significatif du comportement fonctionnel, n'a généralement pas d'influence sur le comportement structurel.

Par contre, lorsque les paramètres structurels évoluent (dans le sens d'une dégradation de l'état structurel), dans une première phase, ils n'influencent pas le comportement fonctionnel. Si cette dégradation se poursuit, la chaussée peut devenir peu confortable, puis dangereuse, voire impraticable. Toutefois, les actions d'entretien permettant d'améliorer ce mauvais état structurel corrigeront simultanément l'état fonctionnel. Les paramètres structurels peuvent donc influencer non seulement l'état structurel mais également l'état fonctionnel.

La distinction entre ces deux types de paramètre n'est donc pas sans ambiguïté. Elle se justifie cependant dans la mesure où le genre et la fréquence des auscultations et surtout les actions d'entretien que nécessitent ces deux états sont différents.

D'autre part, il est difficile de classer certains paramètres. Par exemple, si l'on considère le paramètre "trafic", il intéresse à la fois l'aspect structurel et

---

[8] Il s'agit ici d'orniérage dû au comportement non élastique des matériaux hydrocarbonés et non d'un orniérage dû à un affaissement du sol d'infrastructure par exemple.

l'aspect fonctionnel. Si l'on considère le volume de trafic, il s'agit d'une information qui concerne essentiellement l'état fonctionnel. Par contre, si l'on considère le pourcentage de poids lourds, c'est non seulement l'état structurel qui est concerné, mais encore l'état fonctionnel: pour une route donnée, un pourcentage élevé de poids lourds peut causer une gêne considérable aux autres usagers et influencer par là d'abord le confort, puis la sécurité.

Outre cette distinction entre paramètres structurels et paramètres fonctionnels, on a mentionné la distinction entre les paramètres invariables et variables. Parmi les **paramètres invariables**, on peut classer ceux qui définissent ou identifient la chaussée. Il s'agit, par exemple, du nombre de voies, de leur largeur etc. Mais il existe certains paramètres invariables qui ne sont pas liés à la chaussée. Nous pensons en particulier aux conditions climatiques. Ces paramètres invariables peuvent être soit structurels, soit fonctionnels.

Ces considérations nous amènent à proposer un classement des paramètres plus fin que le classement traditionnel paramètres structurels/fonctionnnels. On propose cinq types de paramètres:

- paramètres d'**identification**,
- paramètres **trafic**,
- paramètres **climatiques**,
- **paramètres structurels**,
- paramètres **fonctionnels**,

tout en étant conscient des recoupements et des chevau-

chements qui existent entre ces cinq types (figure 5.1).

■ Liaison forte
◪ Liaison faible

		Identification								Trafic			Cond. climat.			Etat structurel					Etat fonctionnel					
		Nb. de voies	Largeur des voies	Accotement	Rayon	Déclivités	Dévers	Dist. de visibilité	Equipement	TJM	% PL	TF/répartition PL	Température	Ensoleillement	Gel-dégel	Déf. superstructure	Dégradations	Qualité structurelle	Uni	Drainage	Qualité antidérapante	Dégradations surface	Uni	Accidents	Signal./marquage	Vitesse
Identification	Nb. de voies	□	□	□	□	■	□	□	□	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	◪
	Largeur des voies	□	□	□	□	■	□	□	□	■	■	□	□	□	□	■	■	■	■	□	□	■	■	■	□	◪
	Accotement	□	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	□	□	□	□	□	■	□	◪
	Rayon	□	□	□	□	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	□	■	■	■
	Déclivités	■	■	□	■	□	□	■	■	■	■	◪	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	■	■	■	■
	Dévers	□	□	□	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	□	■
	Dist. de visibilité	□	□	■	■	■	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■
	Equipement	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	■
Trafic	TJM	■	■	□	□	■	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	□	■	■	■
	% PL	■	■	□	□	■	□	□	□	□	□	□	◪	◪	◪	◪	◪	◪	◪	◪	□	◪	◪	■	■	■
	TF/répartition PL	□	□	□	□	◪	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	□	□	□
Cond. climat.	Température	□	□	□	□	□	□	□	□	□	◪	■	□	□	■	■	■	■	■	□	■	■	■	□	□	□
	Ensoleillement	□	□	□	□	□	□	□	□	□	◪	■	□	□	■	■	■	■	■	□	□	■	■	□	□	□
	Gel-dégel	□	□	□	□	□	□	□	□	□	◪	■	■	■	□	■	■	■	■	■	□	■	■	□	□	□
Etat structurel	Déf. superstructure	□	■	■	□	□	□	□	□	□	◪	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□
	Dégradations	□	■	■	□	□	□	□	□	□	◪	■	■	■	■	■	□	■	■	■	□	■	■	□	□	■
	Qualité structurelle	□	■	■	□	□	□	□	□	□	◪	■	■	■	■	■	■	□	■	■	□	■	■	□	□	□
	Uni	□	■	□	□	□	□	□	□	□	◪	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	□	□	□
	Drainage	□	□	□	□	□	□	□	□	□	◪	■	□	□	■	■	■	■	■	□	□	■	■	□	□	□
Etat fonctionnel	Qualité antidérapante	□	□	□	■	■	□	□	□	■	□	□	■	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□	■	□	■
	Dégradations surface	□	■	□	■	□	□	□	□	■	◪	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	■	□	□	■
	Uni	□	■	□	□	■	■	□	□	□	◪	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□
	Accidents	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	■	□	□	□	□	■	□	□	□	□	■
	Signal./marquage	□	□	□	■	■	□	■	□	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	■
	Vitesse	◪	◪	◪	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	■	□	□	□	■	■	□	■	■	□

Tableau 5.1
Liste des paramètres et liaisons entre ces paramètres

De plus, on a vu au chapitre "Système de gestion des chaussées" que l'on pouvait distinguer deux niveaux dans les activités de gestion: les niveaux **réseau** et **projet**, le niveau projet se caractérisant par son aspect presque purement technique et le niveau réseau par son double aspect économique et administratif. Si tous ces paramètres

interviennent au niveau projet, ce n'est pas le cas au niveau réseau, tout au moins pas sous la même forme. Cela signifie que les informations stockées dans la BDR doivent être suffisamment nombreuses et précises pour permettre aux techniciens (voir note 2) de retenir les solutions techniques d'entretien optimales et, en quelque sorte, de préparer des synthèses à l'intention des gestionnaires.

5.2. Liste des paramètres

L'établissement d'une telle liste de paramètres présente deux écueils: soit être trop succinct et ainsi passer à côté de paramètres qui pourraient par la suite s'avérer importants, soit, au contrainte, vouloir être exhaustif et finalement présenter une masse de paramètres dont beaucoup sont insignifiants et parmi lesquels les paramètres les plus importants disparaissent. La méthode de travail retenue conduit plutôt vers le second écueil: on serait tenté de relever tous les paramètres mentionnés dans la littérature en se contentant de les reclasser, plus ou moins judicieusement, pour qu'ils entrent dans la classification qui vient d'être proposée.

Nous avons essayé d'éviter l'un et l'autre de ces ecueils en proposant notre propre liste de paramètres, inspirée bien entendu par l'étude bibliographique, mais basée surtout sur l'étude des liens logiques entre ces différents paramètres et les comportements fonctionnel et structurel.

1) Identification

Paramètre	(*)		Remarques
Nombre de voies	F	(S)	Le nombre de voies peut avoir un effet important sur le confort et la sécurité. Pour le **gestionnaire**, il est souhaitable de connaître la répartition du réseau en fonction du nombre de voies. Liaison avec les paramètres: - **trafic** (TJM, %PL) - **état fonctionnel** (accidents, vitesse)
Largeur des voies	F	S	Tout comme le nombre de voies, leur largeur influence la sécurité et le confort des usagers. Sur une voie de faible largeur, le trafic PL sera d'autant plus canalisé, ce qui peut influencer l'état fonctionnel (orniérage) et l'état structurel. Pour le gestionnaire, il est souhaitable de connaître la répartition du réseau en fonction de la largeur des voies. Liaison avec les paramètres: - **trafic** (TJM, % PL) - **état structurel** (dégradations, uni, qualité structurelle) - **état fonctionnel** (uni accidents, vitesse)

(*) F : concerne l'état fonctionnel
S : concerne l'état structurel
( ): influence faible

1) **Identification** (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Accotement	F	S	La présence d'accotement joue un rôle sur le confort des usagers et la sécurité par l'augmentation du gabarit d'espace libre, la possibilité d'arrêt d'urgence hors des voies de circulation ou encore l'augmentation de la distance de visibilité. Les accotements interviennent également dans le comportement structurel, par exemple, en supprimant les risques d'affaissement des bords. Liaison avec les paramètres: - **état structurel** (dégradations) - **état fonctionnel** (accidents, vitesse)
Rayon de courbure	F		Le rayon de courbure influence évidemment la sécurité des usagers. Il peut également avoir une influence sur le choix d'une méthode d'entretien (par exemple, enduit superficiel dans un virage serré). De plus, la juxtaposition de la géométrie en plan et en profil en long influence le confort des usagers. Par contre, l'effet sur le comportement structurel peut être considéré comme négligeable. Liaison avec les paramètres: - **état fonctionnel** (qualité antidérapante, dégradations de surface, accidents, vitesse) - **identification** (déclivités-profil en long, dévers)

1) **Identification** (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Déclivités	F	(S)	Les déclivités, aussi bien les pentes que les rampes, influencent la sécurité et le confort. Outre les ralentissements provoqués par les poids lourds dans les fortes déclivités, il faut mentionner les problèmes de freinage des poids lourds dans les fortes pentes ainsi que les risques d'accident accrus dus à l'allongement de la distance de freinage. De plus, le ralentissement des poids lourds augmente les risques d'orniérage. Par contre, l'effet des déclivités sur le comportement structurel peut être considéré comme négligeable. Liaison avec les paramètres: - **trafic** (TJM,% PL, TF) - **état fonctionnel** (qualité antidérapante, uni, accidents, vitesse) - **identification** (nombre de voies, largeur des voies, rayons de courbure, équipements, dévers)
Dévers	F		En virage, le dévers joue un rôle dans le comportement dynamique des véhicules et intervient donc sur la sécurité. D'autre part, en liaison avec la déclivité et l'uni transversal, il constitue l'un des éléments essentiels de l'évacuation des eaux superficielles. Liaison avec les paramètres: - **état fonctionnel** (uni transversal) - **identification** (rayons de courbure, déclivité)

1) Identification (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Distance de visibilité	F		Dans l'optique d'une amélioration de l'état global d'un réseau routier, il est recommandé d'assurer des distances de visibilité suffisantes sur l'ensemble d'un tronçon homogène. Liaison avec les paramètres: - **trafic** (TJM) - **état fonctionnel** (accidents, vitesse) - **identification** (rayon de courbure, déclivités)
Equipements	F	(S)	Les différents équipements, tels que glissières, éclairage) intéressent plus généralement la sécurité. Cependant, certains aménagements, par exemple, les fossés, concerne également le comportement structurel. Liaison avec les paramètres: - **trafic** - **état fonctionnel** - **(état structurel)**

2) Trafic

Paramètre	(*)		Remarques
Volume de de trafic	F		Le volume de trafic est un élément esssentiel dans l'évaluation de l'état fonctionnel. Par contre, le volume de trafic n'est pas en soi un paramètre déterminant en ce qui concerne l'état structurel. Pour le **gestionnaire**, la connaissance du volume de trafic, en général, sous la forme du TJM, est un outil

2) **Trafic** (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Volume de trafic (suite)	F		de planification indispensable. Il interviendra, en particulier lors du calcul du coût des usagers. Liaison avec les paramètres: - **identification** (nombre de voies, largeur des voies, déclivités, équipements) - **état fonctionnel** (qualité antidérapante, vitesse, accidents)
Pourcentage de poids lourds	F	S	Le pourcentage de poids lourds intéresse l'état fonctionnel dans la mesure où ceux-ci peuvent constituer une gêne pour les véhicules légers, ainsi que par les dégradations de surface que le trafic poids lourds peut entraîner. En ce qui concerne l'état structurel, le pourcentage de poids lourds pourra, faute d'informations plus précises, être utilisé pour définir les sollicitations auxquelles est soumise la superstructure. Liaison avec les paramètres: - **identification** (nombre de voies, largeur des voies, déclivités, équipements) - **état fonctionnel** (dégradations de surface, uni, vitesse) - **état structurel** (définition de la superstructure, dégradations, uni, qualité structurelle, drainage) - **conditions climatiques** (température, altitude, ensolleillement, gel-dégel)

2) **Trafic** (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
TF (trafic pondéral équivalent journalier)	F	S	Le trafic pondéral équivalent journalier (TF) constitue le paramètre le plus couramment utilisé. Il intervient également sur l'état structurel essentiellement par le biais des dégradations superficielles et de l'uni. Liaison avec les paramètres: - **identification** (nombre de voies, largeur des voies, déclivités) - **état fonctionnel** (dégradations de surface, uni) - **état structurel** (définition de la superstructure, dégradations, uni, qualité structurelle, drainage) - **conditions climatiques** (température, ensoleillement, gel-dégel)
Répartition pondérale du trafic	F	S	Le développement de la technique devrait permettre aux responsables de l'entretien de disposer de matériels peu coûteux permettant d'enregistrer la répartition pondérale du trafic (WIM-Weight in motion, voir page 20) Dans la mesure où ces matériels sont disponibles, il est préférable de stocker dans la BDR ces informations, beaucoup plus précises que le simple trafic pondéral équivalent journalier. Bien entendu, si ces informations sont enregistrées dans la BDR, il n'est pas nécessaire de stocker la valeur du TF.

2) **Trafic** (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Répartition pondérale du trafic (suite)			Liaison avec les paramètres: - **identification** (nombre de voies, largeur des voies, déclivités) - **état fonctionnel** (dégradations de surface, uni) - **état structurel** (définition de la superstructure, dégradations, uni, qualité structurelle, drainage) - **conditions climatiques** (température, altitude, ensoleillement, gel-dégel)

3) **Conditions climatiques**

Paramètre	(*)		Remarques
Température	F	S	Le comportement mécanique des matériaux à base de liants hydrocarbonés dépend de la température. Aux températures élevées, il y a risque d'orniérage, risque qui est accru lorsque le trafic est lourd, lent et canalisé, ce qui intéresse l'état fonctionnel. D'autre part, le module des matériaux hydrocarbonés et leur comportement à la fatigue dépendent, entre autres, de la température, ce qui influence directement l'état structurel. Liaison avec les paramètres: - **identification** (largeur des voies, déclivités) - **trafic** (TF) - **état fonctionnel** (qualité antidérapante, uni, dégradations de surface)

3) **Conditions climatiques** (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Température (suite)			- **état structurel** (définition de la superstructure, dégradations, uni, qualité structurelle)
Ensoleillement	(F)	S	Pour une température de l'air donnée, les conditions d'ensoleillement peuvent avoir une influence considérable sur la température des matériaux bitumineux et donc sur leur comportement. D'autre part, les conditions d'ensoleillement influencent également le comportement au gel des superstructures. Liaison avec les paramètres: - **état fonctionnel** (qualité antidérapante, uni transversal, dégradations de surface) - **état structurel** (définition de la superstructure, dégradations, uni, qualité structurelle) - **conditions climatiques** (gel-dégel)
Gel-dégel	(F)	S	Les risques de dégradation encourus par les chaussées sous l'effet du gel et du dégel dépendent de la température de l'air et de l'ensoleillement d'une part et des caractéristiques des couches de chaussée et de celles de l'infrastructure d'autre part. Ces paramètres interviendront sur la profondeur de gel, le gonflement et le nombre de cycles gel-dégel. Liaison avec les paramètres: - **trafic** (TF) - **état fonctionnel** (dégradations de surface, uni)

3) **Conditions climatiques** (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Ensoleil-lement (suite)			- **état structurel** (définition de la superstructure, dégradations, uni, qualité structurelle, drainage) - **conditions climatiques** (température, ensoleillement)

4) **Etat structurel**

Paramètre	(*)		Remarques
Définition de la super-structure	(F)	S	La définition de la superstructure comprend les éléments suivants: - type de superstructure - épaisseur des couches - définition des matériaux constituant chaque couche - définition du sol d'infrastructure - caractéristiques mécaniques des matériaux de chaque couche et du sol d'infrastructure (par exemple, module, coefficient de Poisson, loi de fatigue etc.) - date de mise en oeuvre des différentes couches La plupart de ces informations sont invariables et auraient donc pu figurer sous la rubrique **identification.** Cependant, la plupart d'entre elles concernent essentiellement le comportement structurel, c'est pourquoi l'on a choisi de les faire figurer sous **état structurel.**

4) Etat structurel (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Définition de la super-structure (suite)	(F)	S	Liaison avec les paramètres: - **identification** (largeur des voies, accotement) - **trafic** (TF) - **conditions climatiques** (température, ensoleillement, gel-dégel) - **état structurel** (dégradations, qualité structurelle, uni) - **état fonctionnel** (qualité antidérapante, dégradations de surface, uni)
Dégradations	(F)	S	On s'intéresse ici aux dégradations provenant du comportement structurel et/ou intervenant sur celui-ci. Ces dégradations sont essentiellement de deux types: - déformations - fissures (on pourra se référer au projet de norme "Zustandserfassung und Bewertung von Strassen"). Lorsque ces dégradations ont atteint un certain stade, elles peuvent influencer de façon déterminante l'état fonctionnel. En effet, elles peuvent rendre la circulation dangereuse voire rendre la chaussée impraticable. Liaison avec les paramètres: - **identification** (largeur des voies, accotement) - **trafic** (TF) - **conditions climatiques** (température, ensoleillement, gel-dégel)

4) Etat structurel (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Dégradations (suite)			- **état structurel** (définition de la superstructure, qualité structurelle, drainage, uni) - **état fonctionnel** (dégradations de surface, uni)
Qualité structurelle		S	On a désigné sous le terme de qualité structurelle le ou les paramètres permettant d'évaluer, par exemple, la durée de vie résiduelle d'une superstructure ou les épaisseurs des renforcements. Actuellement, la qualité structurelle est définie essentiellement au moyen de mesures de **déflexion.** Cependant, il est vraisemblable que la seule mesure de la déflexion de surface sera supplantée par des mesures plus complètes. Par exemple, dans le cadre du SHRP (voir 3.3), l'utilisation d'un déflectomètre à boulet (FWD - Falling Weight Defectometer) est prévue et l'usage de cet appareil se répand. En effet, il permet de mesurer non seulement la déflexion sous la charge, mais aussi la forme de la cuvette de déflexion et donc, grâce à un programme de calcul, de déterminer le module des couches et la durée de vie résiduelle de la superstructure. En outre, on peut penser que d'autres méthodes encore plus sophistiquées seront mises au point, comme la mesure automatique des déformations à la base des couches.

4) Etat structurel (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Qualité structurelle (suite)			Liaison avec les paramètres: - **identification** (largeur des voies) - **trafic** (TF) - **conditions climatiques** (température, ensoleillement, gel-dégel) - **état structurel** (définition de la superstructure, dégradations, uni) - **état fonctionnel** (dégradations de surface, uni)
Uni	(F)	S	La dégradation de l'état structurel d'une chaussée se traduit, entre autres, par des déformations de la surface de la chaussée. La mesure de l'uni peut donc donner une évaluation de la **qualité structurelle** d'une chaussée. De plus, il semblerait d'ailleurs que la dégradation de la valeur de l'uni se manifeste avant l'augmentation de la valeur de la déflexion. Ce paramètre a d'ailleurs été retenu dans certaines méthodes prévisionnelles comme mesure de la qualité structurelle. Bien évidemment, on ne doit tenir compte que des déformations ayant une relation avec le comportement structurel et pas des déformations n'intervenant que sur l'état fonctionnel (défauts de pose, dégradations superficielles, ornières dues au fluage, etc.)

4) Etat structurel (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Uni (suite)			Liaison avec les paramètres: - **identification** (largeur des voies, accotement) - **conditions climatiques** (température, ensoleillement, gel-dégel) - **trafic** (TJM, TF) - **état structurel** (définition de la superstructure, dégradations, qualité structurelle, drainage) - **état fonctionnel** (dégradations de surface, uni)
Drainage		S	Le drainage est un élément déterminant du comportement structurel des chaussées, en particulier, en cas de gel-dégel. Liaison avec les paramètres: - **identification** (accotement) - **trafic** (TF) - **conditions climatiques** (gel-dégel) - **état structurel** (définition de la superstructure, dégradations, qualité structurelle)

5) Etat fonctionnel

Paramètre	(*)		Remarques
Qualité anti-dérapante	F		La qualité antidérapante d'une couche de surface est un élément essentiel de la sécurité des usagers et donc de l'état fonctionnel.

4) Etat fonctionnel (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Qualité anti-dérapante (suite)			Ce paramètre pourra à lui seul imposer aux responsables de l'entretien d'effectuer un traitement ou même un renouvellement de la couche de surface. Les risques de dégradation de la qualité antidérapante dépendent du volume de trafic et du type de revêtement. Liaison avec les paramètres: - **identification** (rayon de courbure, déclivités) - **trafic** (volume de trafic) - **état structurel** (définition de la superstructure) - **état fonctionnel** (uni, dégradations de surface, accidents)
Dégradations	F	(S)	On considère ici deux types de dégradations: les dégradations de surface qui affectent le confort et la sécurité des usagers sans influencer le comportement structurel d'une part et les dégradations qui ont une origine structurelle et qui se sont développées au point de constituer une gêne ou même un danger pour les automobilistes d'autre part. A titre d'exemple, parmi les premières, on peut mentionner les ornières dont l'origine est le fluage ou l'usure et, parmi les secondes, les nids de poules provenant de l'évolution de la fissuration.

5) Etat fonctionnel (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Dégradations de surface (suite)			De même, certaines dégradations de surface peuvent, si elles se développent, créer des problèmes d'ordre structurel. Liaison avec les paramètres: - **identification** (rayon de courbure) - **trafic** (TF) - **conditions climatiques** (température, ensoleillement, gel-dégel) - **état structurel** (définition des couches, dégradations, qualité structurelle, uni) - **état fonctionnel** (qualité antidérapante, uni)
Uni	F	(S)	Les défauts d'uni transversal (ornières) constituent un risque d'accident pour les automobilistes. Tout comme les problèmes de glissance, les défauts d'uni transversal peuvent imposer aux responsables de l'entretien d'effectuer un traitement ou même un renouvellement des couches en cause. Les automobilistes semblent être très sensibles aux défauts d'uni longitudinal. Dans quelques cas extrêmes, les défauts d'uni longitudinal peuvent mettre en cause la sécurité. D'autre part, des études ont mis en évidence l'infuence de l'uni sur le coût des usagers. Liaison avec les paramètres: - **identification** (déclivités, dévers) - **trafic** (TF) - **conditions climatiques** (température, ensoleillement, gel-dégel)

5) Etat fonctionnel (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Uni (suite)	F		- **état structurel** (définition des couches, dégradations, qualité structurelle, uni) - **état fonctionnel** (qualité antidérapante, dégradations de surface, accidents, vitesse)
Accidents	F		Les causes d'une fréquence d'accidents élevée sur un tronçon de route donné doivent être recherchées et le tronçon doit être traité pour les éliminer. Il s'agit là d'un élément essentiel de l'état fonctionnel d'un tronçon. Liaison avec les paramètres: - **identification** (nombre de voies, largeur des voies, accotement, rayon de courbure, déclivités, dévers, distance de visibilité, équipements) - **trafic** (TJM, % PL) - **état structurel** (définition de la superstructure) - **état fonctionnel** (qualité antidérapante, vitesse, signalisation/marquage)
Signalisation	F		La qualité de la signalisation et du marquage influence le confort et la sécurité des usagers. Liaison avec les paramètres: - **identification** (nombre de voies, rayon de courbure, déclivités, distance de visibilité) - **trafic** (TJM, % PL) - **état fonctionnel** (accidents)

5) Etat fonctionnel (suite)

Paramètre	(*)		Remarques
Vitesse	F		On s'intéresse à la vitesse dans la mesure où elle est un critère de la qualité fonctionnelle d'un tronçon donné. D'autre part, la connaissance de la vitesse est indispensable pour évaluer les coûts des usagers. Il conviendra donc de distinguer entre vitesse des véhicules légers et vitesse des poids lourds. Liaison avec les paramètres: - **identification** (nombre de voies, largeur des voies, accotement, rayon de courbure, déclivités, distance de visibilité, équipements) - **trafic** (TJM, %PL) - **état fonctionnel** (dégradations de surface, uni, accidents, signalisation/marquage)

6. MATERIEL D'AUSCULTATION

6.1. Etapes dans la constitution d'une BDR

Pour qu'un système de gestion de l'entretien des chaussées puisse fonctionner de manière satisfaisante, il est nécessaire que les informations contenues dans la BDR soient complètes et homogènes.

En ce qui concerne l'introduction de ces informations, il faut distinguer deux phases dans la vie d'une BDR:

- la phase de **mise en route**, au cours de laquelle il est nécessaire d'introduire toutes les informations d'identification et, plus généralement, les informations ayant un caractère permanent,

- la phase d'**exploitation**, au cours de laquelle seront enregistrées, à des fréquences plus ou moins régulières, les valeurs des paramètres variables.

La première phase concerne
- les paramètres d'**identification**,
- et les paramètres **définition de la superstructure, signalisation/marquage** et, dans une moindre mesure, **vitesse**.

La deuxième phase concerne tous les autres paramètres.

Si l'on veut rendre la BDR opérationnelle rapidement, il sera nécessaire de consentir un effort important lors de la phase de démarrage. Au cours de cette phase, l'acquisition des informations pourra se faire soit

manuellement, soit **automatiquement**. En fait, par acquisition manuelle, on entend sans recours à des appareils de mesure à grand rendement.

Lors de l'exploitation de la BDR, pour exploiter de façon optimale la BDR, il est nécessaire d'enregistrer les valeurs des différents paramètres avec une fréquence suffisamment grande pour pouvoir maîtriser leur évolution. Pour cela, il est pratiquement indispensable d'avoir recours à des matériels d'auscultation à grand rendement.

6.2. Matériels d'acquisition et d'auscultation

1) Identification

L'acquisition des informations concernant l'identification ansi que la définition de la superstructure et la signalisation/marquage peut se concevoir par une consultation des archives, des mesures sur le terrain ou des relevés visuels. Cependant, cette façon de procéder sera certainement longue et exigera des moyens en personnel importants. Il existe des matériels à grand rendement permettant de faire les relevés sur le terrain rapidement.

En particulier on peut mentionner le **système caméroute** (LPC, France) qui permet, à partir d'un relevé photographique d'obtenir les informations suivantes:

- nombre de voies
- largeur des voies
- état, largeur et nature des accotements
- obstacles sur accotements
- distances de visibilité
- signalisation horizontale et verticale
- glissières, ouvrages, fossés, déblais, remblais, etc.

Toutefois, si les prises de vue sont relativement rapides (30 km/h, une vue tous les 10 m), le dépouillement

est relativement laborieux. Un système de dépouillement informatisé semi-automatique a été mis au point par une société suisse et est en service à la Direction des routes du Grand-Duché du Luxembourg.

D'autres matériels s'inspirant de **caméroute** sont actuellement en cours de développement, basés sur l'utilisation de la **vidéo** au lieu de photographie, avec en vue l'interprétation automatique par un système de reconnaissance d'images.

Il existe également des matériels (par exemple, ARAN) qui permettent de visualiser la chaussée à partir d'une image vidéo, mais il n'est généralement pas possible d'effectuer des mesures sur ces images.

Le système **Gyros** (LPC, France) et le **road geometry instrumented vehicle** (Australian Road Research Board) permettent, grâce à l'utilisation d'une plate-forme gyroscopique, respectivement d'un gyroscope et d'accéléromètre, d'enregistrer

- le rayon de courbure,
- les déclivités,
- le devers,

des chaussées. Certains autres matériels multi-fonction (ARAN, Laser Road Surface Tester) permettent également de mesurer certains de ces paramètres (voir figure 6.1 et annexe 2).

A l'heure actuelle, il n'existe aucun appareil permettant de **définir la superstructure** (nombre, nature et épaisseur des couches). Le système **Rodar** (USA) constitue une des premières approches dans ce domaine: moyennant une

	Identification								Trafic			Cond. climat.			Etat structurel					Etat fonctionnel					
	Nb. de voies	Largeur des voies	Accotement	Rayon	Déclivités	Dévers	Dist. de visibilité	Equipement	TJM	% PL	TF/répartition PL	Température	Ensoleillement	Gel-dégel	Déf. superstructure	Dégradations	Qualité structurelle	Uni	Drainage	Qualité antidérapante	Dégradations surface	Uni	Accidents	Signal./marquage	Vitesse
Caméroute (F)	■	■	■	□	□	□	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□
Gyros (F)	□	□	□	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
ARRB Geom (AUS)	□	□	□	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
Radar	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■
Boucle	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■
WIM USA)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
Stat. météo	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
Tube fluo. (F)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
Rodar (USA)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	◪	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
Déflectographe (F)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□
FWD (DK)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□
ARAN (CAN)	■	□	■	■	□	■	□	■	□	□	□	□	□	□	□	■	□	◨	□	□	■	■	□	■	□
Laser RST (S)	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	◨	□	◪	■	■	□	□	□
RDM 5000 (DK)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	◨	□	□	■	◨	□	□	□
ZR 04 LY (J)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	◨	□	□	■	■	□	□	□
Road-Man (J)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	◨	□	□	■	■	□	□	□
PRS-Syst. (USA)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	◨	□	□	■	■	□	□	□
RS 8300 (S)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	◨	□	□	■	■	□	□	□
690 DNC (USA)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	◨	□	□	□	■	□	□	□
PURD II (CAN)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	◨	□	□	■	◨	□	□	□
HSRM (GB)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	◨	□	◪	□	■	□	□	□
APL (F)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	◨	□	□	□	◨	□	□	□
Gerpho (F)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	■	□	□	□	□
Orniéromètre (F)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	▬	□	□	□
DQM2 (CH)	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	▬	□	□	□
Moiré (CH)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	▬	□	□	□
Scrim (GB)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□
Skiddomètre (S)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□

■ Utilisation courante
◪ Utilisation possible
◨ Utilisation non prévue à l'origine
▬ En cours de développement

Figure 6.1
Relations entre les appareils d'auscultation à grand rendement et les paramètres

calibration, par exemple, à partir d'un carottage, il est possible, au moyen de signaux **radar** de déterminer l'épaisseur des couches.

2) Trafic

La baisse des coûts, la miniaturisation et les développements technologiques dans les domaines de l'électronique et de l'informatique devraient permettre de disposer prochainement de matériels très mobiles, légers et fiables permettant un comptage fréquent du trafic sur les différents tronçons d'un réseau. Ces appareils devraient en outre permettre d'évaluer la vitesse des véhicules.

De gros efforts sont actuellement concentrés aux Etats-Unis pour le développement de **bascules dynamiques (WIM - Weight in motion)**. Il existe déjà sur le marché [14, 17] des équipements mobiles de moins de 1 cm d'épaisseur pouvant être collés sur la chaussée (1800 x 500 x 94 mm) et la Federal Highway Administration (USA) teste des systèmes qui se présentent sous forme de bandes que l'on peut coller sur la chaussées et dont le coût est de quelques centaines de dollars. Les informations fournies par ces appareils sont capitales pour une évaluation correcte des sollicitations auxquelles est soumise une chaussée.

3) Conditions climatiques

Les sollicitations imposées aux superstructures par les conditions climatiques ne font généralement pas l'objet d'une grande attention. Souvent, on se borne à constater les dégradations de la superstructure après un hiver particulièrement froid ou une période particulièrement chaude. En fait, il nous semble très important de

stocker dans la BDR le maximum d'informations concernant les conditions climatiques.

Là encore, les progrès de la technique devraient permettre de disposer de mini-stations météorologiques permettant une acquisition automatique compatible avec la BDR. De plus, il est souhaitable de répartir judicieusement le long du réseau des appareils de mesure de la **profondeur de gel** (par exemple, tube avec solution de fluorescéine, LPC, France).

4) Etat structurel

Le problème de la définition de la superstructure a été abordé sous "identification" et ne sera donc pas traité ici.

Il existe de nombreux systèmes pour le **relevé automatique** ou, le plus souvent, semi-automatique **des dégradations**. En gros, on peut dire qu'il existe deux types de matériels basés

- sur l'analyse de prises de vue photographiques ou vidéo
- ou sur l'encodage semi-automatique des dégradations.

Dans le premier cas, la surface de la chaussée est photographiée en continu et le film ainsi obtenu est visionné et les dégradations observées sur le film sont encodées manuellement et introduite dans la BDR. Des systèmes vidéo basés sur le même principe sont en cours de développement. L'analyse automatique des images devrait permettre à moyen terme un encodage automatique des dégradations.

Dans le second cas, un opérateur à bord d'un véhicule

circulant sur la chaussée dispose d'un clavier lui permettant d'encoder manuellement un certain nombre de dégradations prédéfinies avec la possibilité de préciser leur sévérité et leur étendue.

Jusqu'à présent, tout au moins dans certains pays d'Europe, il était établi que la mesure de la **déflexion** était le procédé le mieux à même de quantifier l'**état structurel** d'une chaussée.

Le **déflectographe** (LPC, France) et le **FWD** (Falling Weight Deflectometer ou déflectographe à boulet - Dynatest, Danemark) sont les deux appareils les plus répandus pour la mesure de la déflexion. Ces deux appareils présentent des défauts importants.

En ce qui concerne le **déflectographe**, la mesure se fait à quelques kilomètres à l'heure ce qui fausse la mesure compte tenu du comportement non élastique des chaussées souples d'une part, et constitue une gêne pour le trafic d'autre part. Par contre, le pas de mesure de l'ordre de 4 m permet d'obtenir un grand nombre de valeurs et donc d'effectuer un traitement statistique de ces valeurs.

Quant au **FWD**, la mesure se faisant véhicule arrêté, le pas de mesure est de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres et la gêne vis-à-vis du trafic est également importante. Cependant, le temps de chargement correspond à une vitesse de l'ordre de 60 km/h et le FWD permet de mesurer non seulement la déflexion sous la charge, mais aussi la forme de la cuvette de déflexion, ce qui permet, sous certaines hypothèses, de déterminer les modules des couches de la chaussée et donc, en utilisant un modèle de comportement, de calculer la durée

de vie résiduelle de la superstructure.

D'une certaine manière, on peut dire que les appareils permettant de mesurer la déflexion ne donnent pas totalement satisfaction en ce qui concerne soit les conditions (Lacroix), soit la fréquence de mesure. Toutefois, de nouveaux appareils sont en cours de développement.

D'autre part, il nous semble que l'utilisation de la mesure de la déflexion pour le suivi systématique et régulier de l'état structurel constitue une extension, qui n'est peut-être pas justifiée, de l'objectif initial du déflectographe. En effet, le déflectographe a été développé en France pour une auscultation systématique du réseau des routes nationales dans le cadre d'une campagne de renforcements coordonnés et non pour un suivi régulier de l'état du réseau. Il semblerait que la variation de l'état structurel se manifeste par des défauts de planéité ou des dégradations de surface bien avant qu'elles n'entraînent des modifications importantes de la déflexion. Dans le cas du FWD, il serait intéressant de savoir si la variation de l'état structurel se manifeste suffisamment tôt, par exemple, par une modification de la forme de la cuvette de déflexion.

Si ce qui précède est confirmé, la mesure de l'uni, et en particulier de l'**uni longitudinal**, prend une importance encore plus grande. En effet, on s'intéressait aux défauts de l'uni essentiellement dans la mesure où ceux-ci ont une influence sur le confort et la sécurité et, éventuellement, sur les coûts d'utilisation des véhicules alors que l'uni pourrait également constituer une mesure de l'état structurel. Il existe un très grand nombre d'appareils pour la mesure de l'uni longitudinal.

Traditionnellement on distingue deux types d'appareils:

- les appareils de type "réponse" qui mesurent l'accélération ou le déplacement vertical d'un véhicule sous l'effet des déformations (type "Bump Integrator")

- les appareils de type "profilomètre" de conception très diverse, mais dont la caractéristique commune est la possibilité de restituer le profil en long de la route.

Les appareils de type "réponse" sont généralement assez anciens et les développements portent essentiellement sur le type "profilomètre". Ces derniers ont en effet l'avantage de fournir le profil de la chaussée et donc de permettre l'analyse de ce profil pour obtenir une note d'uni, mais, contrairement aux appareils de type "réponse", la base de cette note d'uni peut être choisie librement et n'est donc pas unique.

Dans le cadre de cette étude, il ne peut s'agir que de donner des informations très générales sur les matériels d'auscultation. Pour obtenir des informations plus précises sur les matériels de mesure de l'uni, le lecteur pourra se reporter à la récente publication de l'AIPCR[13].

Une dégradation de l'état structurel peut se traduire également par des défauts de l'**uni transversal**. Cependant, pour des raisons pratiques, les appareils de mesure de l'uni transversal seront traités dans le paragraphe "état fonctionnel".

5) Etat fonctionnel

On dispose essentiellement de deux types de matériels d'auscultation pour la mesure de la **qualité antidérapante:**

- les remorques de glissance permettant de déterminer le **coefficient de frottement longitudinal** (CFL),

- les véhicules permettant de mesurer le **coefficient de frottement transversal** (CFT) grâce à une roue supplémentaire montée sur le véhicule et faisant un angle donné avec la direction du véhicule.

Le **skiddomètre** utilisé et normalisé en Suisse fait partie du premier type. Le **SCRIM** (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine) est le matériel du second type ayant certainement la plus large diffusion internationale.

La plupart des remorques de glissance ont été développé dans un but de recherche, en particulier afin de déterminer l'influence du taux de glissement sur le coefficient de frottement. Cependant, si elles peuvent rendre de très grands services dans le cas d'études particulières, elles ne sont peut-être pas très bien adaptées pour des mesures de routine à cause du pas de mesure relativement grand et de la nécessité de circuler en décalant le véhicule tracteur et la remorque par rapport à l'axe de la voie afin de mesurer le coefficient de frottement dans la zone de roulement des véhicules. Cela peut constituer une gêne importante dans le cas de chaussées étroites ou lors de mesures sous trafic. Par contre, la gamme de vitesse de mesure est importante (de

0 à 100 km/h ou plus).

Le SCRIM permet d'effectuer des mesures avec un pas de mesure faible (une valeur moyenne du coefficient de frottement transversal tous les 10 m), ce qui permet une analyse statistique des mesures. D'autre part, la roue de mesure est située dans l'alignement des roues droites du véhicule, ce qui permet d'effectuer les mesures dans la zone circulée par les véhicules. Toutefois, la gamme de vitesse est plus réduite (60 km/h, eventuellement max. 80 km/h). Compte tenu de ses caractéristiques et de son implantation internationale, le SCRIM peut être considéré comme le matériel de référence actuel pour le contrôle systématique de la qualité antidérapante.

Le relevé des **dégradations de surface** et des défauts d'**uni longitudinal** affectant le confort et la sécurité des usagers et donc l'état fonctionnel pourra se faire avec les mêmes équipements que pour l'état structurel.

Il existe de nombreux appareils pour la mesure de l'**uni transversal**. Par mesure de l'uni transversal, on entend la plupart du temps le relevé des ornières, en particulier dues au fluage des matériaux hydrocarbonés. Cependant, des défauts d'uni transversal peuvent avoir d'autres causes qui n'intéressent pas nécessairement l'état fonctionnel seul (affaissement des bords de chaussée, par exemple). Les appareils de mesure de l'uni transversal peuvent être classés en deux types:

- les transversoprofilographes statiques ou pseudo-dynamiques (dans ce cas, la poutre de mesure est montée sur un véhicule, mais la mesure se fait à l'arrêt),

- les appareils dynamiques avec ou sans contact.

Le principe du premier type d'appareil est bien connu: une poutre est disposée transversalement à la voie dont on désire relever le profil et un chariot muni d'un capteur de distance (avec ou sans contact, soit roulette ou ultra-son) couplé à un système d'enregistrement est déplacé le long de la poutre ce qui permet d'obtenir un relevé du profil en travers de la chaussée. Ces appareils sont généralement très précis et la largeur auscultée est de l'ordre de 4 m. Ils présentent cependant deux gros défauts: la gêne vis-à-vis de la circulation et le pas de mesure nécessairement assez grand.

Les appareils dynamiques les plus anciens sont constitués par des remorques munies de roulettes qui permettent d'enregistrer des valeurs discrètes des cotes relatives du profil. La largeur auscultée est généralement plus réduite afin de diminuer l'encombrement et de permettre d'effectuer les mesures sans gêne notable du trafic. Les appareils les plus récents sont sans contact, les mesures (valeurs discrétisées) sont obtenues grâce à des capteurs lasers, des ultra-sons ou un système photographique. La largeur auscultée peut atteindre plus de 4 m, mais avec un encombrement plus réduit. Ces appareils, montés à l'avant de fourgonnettes, permettent d'effectuer les mesures sous trafic. Les pas de mesure varient, selon les appareils, de 0.1 à 10 m et les vitesse de 30 à 100 km/h et certains sont équipés d'une référence horizontale. Tous ces appareils nécessitent l'utilisation d'un programme informatique pour interpréter et représenter graphiquement les valeurs brutes enregistrées.

Parmi les appareils dynamiques, il convient de

mentionner plus particulièrement les deux appareils suisses qui sont actuellement dans leur phase finale de développement: le DQM2 de l'IVT (ETHZ) et celui faisant appel à la technique du moiré de l'IMAC (EPFL) [49,50].

6) Repérage

Bien qu'il ne s'agisse pas à proprement parlé de matériel d'auscultation, il convient de signaler les systèmes de repérage et de positionnement automatiques qui sont en cours de développement et qui devraient constituer un complément précieux aux divers appareils de mesure.

Un tel système peut être constitué par des plaquettes disposées le long de la chaussée à des emplacements correspondant aux points de repères de la BDR. Ces plaquettes sont constituées par un circuit électronique noyé dans une protection en plastique lui permettant de résister aux chocs et aux intempéries. Le circuit électronique permet de mémoriser le nom du point de repère. Le circuit est mort et il ne sera activé qu'au passage de l'appareil de mesure. A ce moment, le circuit communiquera son identification qui sera enregistrée par le véhicule de mesure. De cette façon, la position des mesures sera parfaitement définie et le kilométrage constamment recalé.

Les premiers essais sont très encourageants et les recherches actuellement entreprises dans le domaine du péage automatique devraient permettre de disposer prochainement de systèmes tout à fait opérationnels. Ils devraient permettre une identification du point de repère à une vitesse de 80 à 100 km/h et à une distance de 10 m de la la plaquette.

6.3. Remarques

Le but de ce chapitre n'était pas de faire un inventaire exhaustif de tous les matériels d'auscultation à grand rendement ou d'en donner une description complète. Il s'agissait simplement de donner un panorama des divers types de matériels. On pourra remarquer qu'il existe des matériels d'auscultation à grand rendement pour un grand nombre de paramètres retenus. D'autre part, le développement des micro-ordinateurs et de l'électronique et les recherches en cours pour développer des matériels encore plus performants devraient permettre de couvrir prochainement pratiquement tous les besoins.

Un examen de la liste des principaux appareils d'auscultation à grand rendement (figure 6.1 et annexe 2) montre que l'on a affaire à deux grandes tendances dans le développement de ces appareils: mono ou multi-fonctions. En général, mais ce n'est pas une règle absolue, les appareils mono-fonction ont été développés par des administrations, chaque appareil devant résoudre un problème bien spécifique, alors que les appareils multi-fonction ont plutôt été développés par des sociétés privées qui pour réduire les investissement ont cherché à concentrer un maximum de fonctions dans un seul véhicule.

Il n'est pas possible de trancher entre ces deux tendances dans la mesure où la validité des résultats obtenus avec ces deux types d'appareils est acceptable. Disons simplement qu'un appareil multi-fonction n'est pas nécessairement préférable. En effet, la fréquence d'auscultation n'est pas identique pour chacun des paramètres et donc la simultanéité des différentes mesures que permet ce type d'appareil n'est pas un atout évident.

7. FREQUENCE DES AUSCULTATIONS, SECTIONS D'AUSCULTATION ET FORME DES INFORMATIONS

7.1. Fréquence des auscultations dans le temps

Les auscultations doivent-elles être effectuées avec une fréquence régulière, tous les ans, tous les deux ans, tous les cinq ans ? Au contraire, la fréquence doit-elle augmenter avec l'âge de la chaussée ? La fréquence d'auscultation doit-elle être identique pour tous les paramètres ou, au contraire, varier en fonction du type de paramètre ? Autant de questions auxquelles il est nécessaire d'apporter une réponse si l'on désire disposer d'un système de gestion de l'entretien des chaussées performant. Une fréquence trop grande entraînera des coûts d'auscultation et de gestion de la BDR trop importants. Une fréquence trop faible ne permettra pas de disposer des informations nécessaires pour gérer convenablement l'entretien.

Malheureusement, la littérature technique ne donne que très peu d'informations sur ce sujet. Dans ce domaine, les propositions de recherche établies dans le cadre du **Strategic Highway Research Programm** ne peuvent nous être utiles: s'agissant de recherche, la fréquence des auscultations, même en ce qui concerne le programme de recherche "comportement à long terme des chaussées", sera sans doute beaucoup plus élevée que ce qui serait strictement nécessaire dans le cadre de l'entretien.

Si l'on se réfère à quelques directives étrangères, force est de constater que les recommandations qu'elles comportent semblent tout autant refléter les conditions économiques et la disponibilité des matériels d'ausculta-

tion que les besoins strictement techniques et scientifiques.

Si l'on compare, par exemple, les recommandations des administrations françaises [29] et danoises [51] contenues dans leurs directives pour l'entretien des routes nationales, on peut observer des convergences très fortes en ce qui concerne les paramètres à prendre en compte, mais aussi des divergences quant à la fréquence des auscultations (tableau 7.1).

Tableau 7.1
Paramètres mesurés et fréquence des mesures sur le réseau des routes nationales (France et Danemark)

Année	Paramètres			
	Qualité structurelle	Qualité antidérapante	Uni longitudinal	Dégradations de surface
FRANCE				
	Appareils			
	Déflectographe	SCRIM	APL	Inspections visuelles (1)
(2)	X	X	X	XXXX
+4	X	X	X	XX
+6		X		XX
+8	X	X	X	XX
+10		X		XX
+12	X	X	X	

Tableau 7.1 (suite)

Année	Paramètres			
	Qualité structurelle	Qualité antidérapante	Uni longitudinal	Dégradations de surface
DANEMARK				
	Appareils			
	Poutre Benkelmann FWD (3)	Stradographe	Bump Integrator	Inspections visuelles (4)
(2)		X	X	XXX
+3		X	X	XX
+5		X	X	XX
+7		X	X	XX
+9		X	X	XX
+11		X	X	XX
+13		X	X	

(1) On distingue les inspections visuelles de routine (plusieurs fois par an et les inspections détaillées (au minimum une fois par an). Certaines sections particulières sont inspectées avec l'appareil GERPHO.
(2) L'année de construction ou de renforcement est prise comme année de référence.
(3) La déflexion n'est mesurée que sur certaines sections ou si le besoin s'en fait sentir, par exemple, suite aux inspections visuelles.
(4) Les inspections de routine sont effectuées une fois par semaine et les inspections générales périodiques une fois par an. Des inspections spéciales sont effectuées si nécessaire, par exemple, après un hiver rigoureux.

L'accord est excellent en ce qui concerne l'observation des dégradations par des inspections visuelles et la mesure de la qualité antidérapante. Par contre, la

fréquence de la mesure de l'uni longitudinal est deux fois plus élevée au Danemark (tous les deux ans) qu'en France (tous les quatre ans). D'autre part, il semble qu'il y ait une différence de conception fondamentale entre ces deux pays quant au rôle de la mesure de la déflexion. Les raisons en sont certainement historiques (expériences antérieures, appareils de mesure à disposition, possibilités budgétaires), même si, par la suite, on a tenté de rationaliser les options retenues.

De telles divergences peuvent se retrouver dans un même pays, en particulier, si l'on considère le réseau des routes nationales (ou principales) et celui des routes locales. C'est, par exemple, le cas de la France où, depuis le début des années 80, l'entretien de la plus grande partie du réseau routier (350'000 km de voirie départementale) est à la charge des départements. Un **club d'échange d'expériences** a publié, sous l'égide des **Directions Départementales de l'Equipement**, des recommandations [7, 8, 9, 10] ce qui garantit une certaine homogénéité quant aux méthodes d'auscultation et de gestion, mais il peut y avoir une grande disparité d'un département à l'autre en ce qui concerne l'application de ces recommandations. Le tableau 7.2 résume les propositions contenues dans le rapport "Méthode d'auscultation" [7].

Tableau 7.2
Paramètres à relever pour l'entretien de la voirie départementale (France)

Etat	Paramètre	Classe de trafic T1/T2	T3	T4	T5	Matériel
structurel	Déflexion	▮	▮	▒	▒	Déflectographe
	Uni longitudinal	▒	▒	▮	▒	APL
	Dégradations	▮	▮	▮	▮	Inspec. visuelles

Tableau 7.2 (suite)

Etat	Paramètre	Classe de trafic T1/T2	T3	T4	T5	Matériel
fonctionnel	Qualité antidérapante	utile	nécessaire			SCRIM
	Uni longi- tudinal .sécurité	envisageable	utile	nécessaire	envisageable	APL
	.confort	nécessaire	utile	utile	envisageable	
	Dégradations/confort	utile	envisageable			Inspec. visuelles

nécessaire — utile — envisageable

Les départements ont cependant adapté les recommandations contenues dans le rapport du club d'échange d'expériences en tenant compte essentiellement de leurs moyens financiers. Par exemple, deux départements voisins, situés dans l'Est de la France et ayant des climats comparables, ont retenu des méthodes identiques, mais des fréquences d'auscultation nettement différentes. On trouvera une comparaison entre ces deux départements dans le tableau 7.3.

Tableau 7.3
Paramètres relevés et fréquence des mesures dans deux départements français

Département A	Département B
Réseau	
- Le réseau est découpé en trois catégories de trafic (la classification n'est pas seulement liée au trafic, mais aussi à l'importance économique et politique de la route).	- Découpage du réseau en deux catégories.

Tableau 7.3 (suite)

Département A	**Département B**
Réseau (suite)	
- Seule la première catégorie est auscultée actuellement (trafic T1 de 6'000 à 15'000 v/j, soit de 300 à 750 PL/j), ce qui représente environ 1'000 km.	- Découpage du réseau en deux catégories.
Réseau (suite)	
- Paramètres relevés: . constitution de la **structure** . **déflexion** (Lacroix) - Le nombre de kilomètres auscultés chaque année pour établir l'état 0 dépend des possibilités budgétaires (par exemple, 160 km en 1987). - Le relevé de l'état 0 a débuté en 1982 et sera terminé en 1988.	- Paramètre(s) relevé(s): . **déflexion.** - Le nombre de kilomètres auscultés dépend des moyens financiers.
Fréquence des auscultations	
- La moitié du réseau est auscultée tous les ans. - L'auscultation consiste en: . une **inspection visuelle** détaillée (y compris orniérage) avec saisie visuelle ou automatique (système vidéo Décriroute), . un relevé APL 25 (coefficient APL = moy+2σ par section de 50 m), . un relevé SCRIM (au coup par coup).	- La fréquence des auscultations dépend des paramètres mesurés. - L'auscultation porte sur: . la **déflexion** (Lacroix), un quart du réseau étant ausculté en cinq ans, la sélection se faisant sur la base des dégradations et des travaux, . un relevé **APL**, tout le réseau étant ausculté en 2 ans au minimum et en 5 au maximum en fonction des critères budgétaires.

Les divergences que l'on peut relever ne proviennent pas d'une différence de conception en ce qui concerne l'auscultation des chaussées. En effet, ces programmes ont été établis à l'intention de ces deux départements par le même organisme. Seules des considérations budgétaires ont dicté ces choix, étant bien entendu que ceux-ci sont justifiés sur le plan technique.

On remarquera l'importance que revêtent les mesures de l'uni à l'aide de l'APL. En effet, certains responsables de l'entretien au sein des administrations régionales sont d'avis que les mesures d'uni longitudinal, et en particulier les mesures à l'aide de l'APL, sont bien corrélées avec les dégradations que l'on peut observer en fonction du temps. De plus, la vitesse d'auscultation de l'appareil APL et sa faible gêne vis-à-vis du trafic constituent des atouts supplémentaires.

D'autre part, on remarquera que la mesure APL n'est pas effectuée lors de l'établissement de l'état 0. En fait, lorsque la mesure APL est effectuée, le coefficient APL est mesuré également dans l'axe de la voie, ce qui est considéré comme représentatif de l'état 0, et dans la bande de roulement, ce qui permet d'évaluer le degré de dégradation.

En conclusion, on peut dire que trois éléments doivent guider le choix de la fréquence (ainsi que la nature) des auscultations :

- il faut, en premier lieu, prendre en considération les moyens financiers,

- la fréquence des auscultations doit être cependant suffisamment élevée pour que les mesures conservent une signification. On

pourra se reporter aux tableaux 7.1, 7.2 et 7.3. Les exemples donnés dans ce dernier tableau constituant une limite minimale en dessous de laquelle il ne faudrait pas descendre,

- enfin, les résultats des recherches sur les lois de comportement devraient fournir des renseignements plus précis et mieux étayés.

7.2. Fréquence des auscultations dans l'espace

La question de savoir s'il était nécessaire d'ausculter l'ensemble du réseau (ou l'ensemble d'une catégorie de route) ou si l'on peut se contenter d'ausculter certains tronçons types, représentatifs d'une partie du réseau peut se poser (méthode d'échantillonnage).

Dans la méthode d'échantillonnage, après auscultation complète du réseau, on répartit les divers tronçons en un certain nombre de classes, tous les tronçons d'une même classe étant réputés semblables quant à la constitution, au sol d'infrastructure, au trafic, aux conditions climatiques etc. Parmi ces classes, on choisit une section homogène type qui, seule, sera auscultée de façon complète et systématique.

Cette méthode a été retenue, en France, pour certaines sociétés d'autoroute. En effet, dans ce cas, les jonctions peuvent être éloignées de plusieurs dizaines de kilomètres, le trafic, grâce aux péages, est parfaitement connu, les conditions d'infrastructure varient peu sur d'assez grandes distances et le type de superstructure est unique et bien connu. Par contre, en Italie, la

société Autostrade, qui gère un réseau autoroutier d'environ 3'000 km, effectue une auscultation systématique de l'ensemble de son réseau grâce à des appareils dont ils ont fait l'acquisition (FWD, SCRIM, ARAN, ...).

La tendance actuelle, même pour les sociétés d'autoroute françaises va plutôt vers un relevé et une auscultation systématique de l'ensemble du réseau. En effet, chaque tronçon a sa propre loi d'évolution s'écartant à un facteur près de la loi générale. Cette loi générale d'évolution peut donc être utile pour le gestionnaire car elle sera représentative de l'évolution de l'ensemble du réseau. Par contre, elle ne permettra pas de prévoir l'évolution réelle d'un tronçon donné.

Dans le cadre suisse, compte tenu de la grande variabilité des sols d'infrastructure, du fréquent manque d'informations en ce qui concerne la superstructure voire le trafic, une auscultation systématique du réseau, au moins dans un premier temps ne peut qu'être recommandée. Par la suite, si l'expérience met en évidence des tronçons dont l'évolution est identique, on pourra alors envisager une auscultation basée sur la méthode d'échantillonnage.

7.3. Choix du type de section d'auscultation

Lors des auscultations, pour chacun des paramètres, il est possible de diviser un tronçon soit en **sections homogènes**, soit en **sections unitaires**.

Les sections homogènes se définissent sur la base d'une analyse statistique des résultats des mesures d'auscultation. Pour chaque paramètre, ces sections ont donc des longueurs variables. De plus, au cours du temps,

elles ne restent pas fixes. Enfin, pour être tout à fait rigoureux, l'analyse de l'évolution devrait se faire sur la base de sections globalement homogènes, c'est-à-dire homogènes pour l'ensemble des paramètres. Cela peut conduire une division des tronçons en un très grand nombre de sections homogènes, ce qui n'a guère de signification en ce qui concerne la prise de décision relative à l'entretien et à la méthode de construction à retenir.

Une autre méthode consiste à diviser, à priori, chaque tronçon en un certain nombre de sections unitaires de longueur fixe. La longueur de ces sections devrait être telle qu'elle permette une analyse statistique des valeurs mesurées. Par exemple, un déflectographe Lacroix fournissant une mesure tous les 4 m environ, des sections unitaires de 200 m donneront 50 valeurs, ce qui autorisera un traitement statistique. Les longueurs unitaires peuvent varier en fonction du paramètre dans la mesure où elles sont des sous-multiples de la longueur unitaire maximale.

En général, les sections unitaires peuvent chevaucher les points de repère. La position de ces sections unitaires le long d'un tronçon ne se modifiera pas au cours du temps, ce qui permet d'évaluer, secteur unitaire par secteur unitaire, non seulement l'évolution de chacun des paramètres, mais aussi de la qualité globale de la chaussée (figure 7.1).

Les longueurs les plus fréquemment retenues pour ces secteurs unitaires sont 50, 100 ou 200 m en fonction du paramètre mesuré.

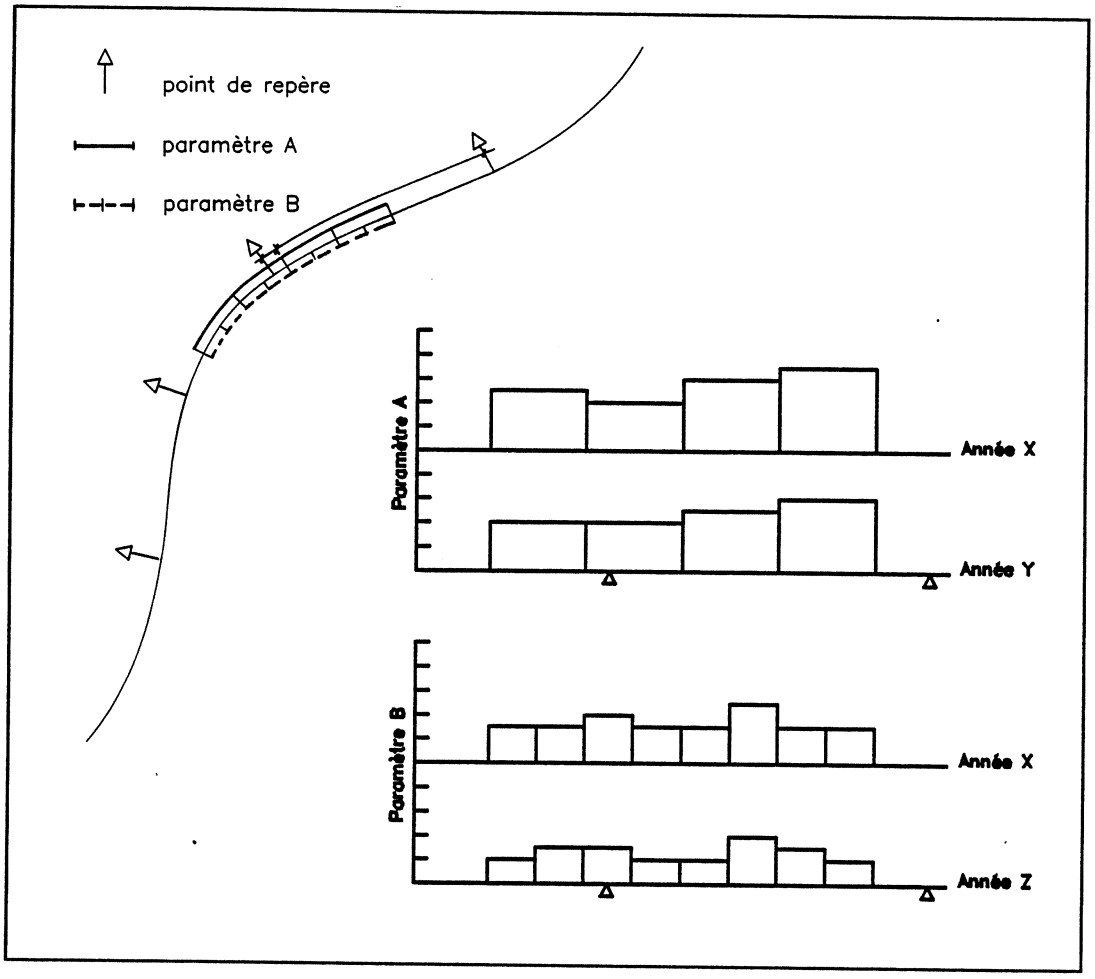

Figure 7.1
Division des tronçons en sections unitaires fixes pour chaque paramètre

7.4. Formes des informations

La méthode des secteurs unitaires permet d'introduire dans la banque de données, lorsque cela a un sens, une valeur caractéristique valable pour tout le secteur unitaire. Si cette valeur caractéristique a été obtenue grâce à un traitement statistique, elle peut prendre diverses formes, par exemple:

- moyenne,
- valeur caractéristique, soit, par exemple, moyenne plus une ou deux fois l'écart type,
- moyenne et écart type,
- fonction de la loi de probabilité.

Dans ce dernier cas, notons que les informations stockées sont extrêmement riches, puisqu'il est possible d'évaluer la fréquence d'apparition d'une valeur de mesure pour un secteur unitaire donné. Par rapport aux informations originales, seules manquent les positions de ces mesures.

Pour certains types de mesures, telles que les mesures au Falling Weight Deflectometer où l'on effectue une mesure tous les 200 à 500 m, les valeurs obtenues sont valables pour un ou plusieurs secteurs unitaires.

Enfin, pour d'autres paramètres, tels que les accidents, l'information est valable en un point.

Dans ce qui précède, on a admis, au moins implicitement, que les grandeurs attribuées aux paramètres sont des valeurs numériques résultant de mesures. En fait, il est évident qu'une BDR permet de traiter des informations autres que numériques. Il est donc possible de stocker des informations telles que niveau de service ou appréciations subjectives.

En ce qui concerne le niveau de service (PSI, PSR, etc..), généralement, celui-ci ne sera pas entré dans la BDR, mais il sera calculé à partir des informations stockées dans la BDR.

Les appréciations subjectives ne constituent qu'une forme de notation qui peut toujours être ramenée à une échelle numérique (0 à 3, 0 à 5 ou 0 à 10). Bien évidemment, ce type de notation peut se faire au moment du

traitement des informations contenues dans la BDR par l'attribution d'une note sur la base de valeurs mesurées, par exemple [35]:

- déflexion caractéristique < déflexion admissible, note 1
- déflexion caractéristique ~ déflexion admissible, note 2
- déflexion caractéristique > déflexion admissible, note 3

Dans ce cas, la BDR ne contient pas des informations brutes (toutes les valeurs mesurées), mais des informations élaborées (valeurs caractéristiques) et ce n'est qu'au moment de l'évaluation de l'état du réseau que les notes seront attribuées et utilisées pour établir un classement des routes. Introduire la note uniquement dans la BDR aurait constituer un appauvrissement des informations.

8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La création d'une banque de données routières est une oeuvre de longue haleine qui demande

- du **personnel** motivé et ayant une disponibilité suffisante,
- des **moyens informatiques**, logiciels et matériels,
- des **moyens financiers** à long terme qui assurent une **continuité** dans le relevé et l'introduction des paramètres dans la BDR.

On peut distinguer trois niveaux dans la gestion d'une BDR:

- sa création,
- sa mise à jour,
- et son interrogation.

Les deux premiers points soulèvent deux problèmes: premièrement, l'effort initial à consentir lors de la phase de création ainsi que la continuité de l'effort pour la mise à jour et, deuxièmement, le choix et la forme des données devant être introduites. Le dernier point pose le problème du choix du mode de représentation et d'organisation de la BDR.

Sans un effort initial important et une continuité dans l'effort, en personnel et financier, la création, la mise à jour et l'exploitation d'une BDR dans le cadre d'un système de gestion sont vouées à l'échec. Il est donc nécessaire de bien fixer les objectifs en fonction des moyens. Des objectifs trop ambitieux ne pourraient être atteints ce qui pourrait entraîner des risques de découragement. D'un autre côté, des moyens trop faibles

ne permettent pas d'atteindre les objectifs techniques minimaux.

Dans la phase de **création** de la BDR, les informations seront souvent lacunaires et, bien souvent, la qualité des informations ne pourra pas être garantie. Au cours de la **mise à jour**, on pourra constater une large dispersion des données, des variations pas toujours rationnelles et, souvent, une grande lenteur dans l'évolution des paramètres. Il est important de s'en souvenir pour éviter des périodes de découragement et le sentiment que la BDR "ne sert à rien".

Il n'y pas une réponse unique aux questions posées sur le contenu d'une BDR et la mise à jour des informations. La réponse dépendra des objectifs visés qui dépendent eux-mêmes des moyens disponibles, des compétences, des méthodes de travail et de l'organisation de l'administration concernée. Ce rapport ne peut donc faire que des propositions générales que chaque administration devra adapter en tenant compte de ses contraintes spécifiques.

D'autre part, l'état d'avancement des travaux de recherche sur les lois de comportement des chaussées ne permet pas de donner des recettes quant aux paramètres qui doivent faire l'objet d'une auscultation, et quant à la fréquence de ces auscultations. Il est cependant possible, sur la base d'une étude bibliographique, de faire des propositions.

La liste des paramètres donnée dans le chapitre 5 est assez exhaustive et, en général, un choix devrait être fait en fonction des moyens de l'administration et en tenant compte des futures recommandations du mandat

No 31/84 "Entwicklung von Verhaltensmodellen als Grundlage eines programmierten Erhaltungskonzepts".

En ce qui concerne les paramètres devant faire l'objet d'une auscultation systématique et la fréquence des auscultations, le chapitre 7 contient quelques exemples de ce qui est souhaitable ainsi que des exemples de solutions minimales. Ces exemples peuvent servir de guide aux administrations.

Une banque de données informatisée devrait être capable de supporter et de traiter n'importe quel type d'information:

- des données quantifiées, résultats d'essais ou de mesures,
- des données hiérarchisées, par exemple, des notes ou un classement tel que bon, moyen mauvais,
- des données qualitatives ou descriptives, par exemple, beau, pluvieux, fissuré, faïencé, couche de support HMT 25s, etc.

Chaque fois que cela est possible, on introduira dans la BDR des données quantifiées aussi complètes que possible même si, ultérieurement, au moment de l'interrogation, on transforme ces valeurs quantifiées en note pour évaluer l'état ou l'évolution du réseau. Par contre, au niveau du projet, c'est-à-dire lorsqu'on souhaite définir le mode d'entretien le plus approprié pour une section de route donnée, on sera heureux de disposer d'informations précises et complètes. Cependant, ces valeurs ne devraient pas être les résultats bruts des mesures effectuées.

La tendance actuelle, qui semble préférable également dans le cadre de la Suisse, est d'ausculter tout le réseau et non un certain nombre de tronçons jugés représentatifs de l'ensemble du réseau. De plus, lorsque la densité des mesures est importante et doit faire l'objet d'un traitement statistique, nous proposons de retenir des sections unitaires, de longueur et de position fixes pour chaque paramètre, plutôt que de déterminer des tronçons homogènes.

Dans une banque de données pour l'entretien, on ne peut se contenter d'y introduire des informations parcellaires obtenues au coup par coup là et quand les besoins s'en font sentir, mais on doit avoir recours à des auscultations systématiques. Il est donc inévitable d'avoir recours à des appareils d'auscultation à grand rendement chaque fois que cela est possible. Le chapitre 6 et l'annexe 2 donnent une liste de différents appareils avec leurs caractéristiques principales. On peut voir qu'il existe des appareils pour une grande majorité des paramètres. Ces appareils ne sont cependant pas tous très bien adaptés, mais les efforts fournis actuellement dans de nombreux pays et, en particulier, dans le cadre de la recherche sur le comportement à long terme des chaussées du SHRP devraient amener sur le marché des appareils encore plus précis et plus performants.

9. BIBLIOGRAPHIE

1) Stichting Studie Centrum Wegenbow (SCW); Rationeel Wegbeheer, Handleiding; SCW, 6717 AE Ede, Pays-Bas; Mars 1987.

2) Verhaeren F.; Etude préliminaire de la banque de données des routes; Steriabel, Bruxelles; Mai 1984.

3) Janse, J.M.; VEJOPS, a danish pavement management system for minor road authorities; PTRC Seminar F Proceedings, London; 1987.

4) Joubert, P. and Peyronne C.; A pavement management system for departments roads; PTRC Seminar F Proceedings, London; 1987.

5) Strategic Highway Research Program (SHRP), Research Plans, Final Report; TRB, Washington D.C.; Mai 1986.

6) Systèmes de gestion des chaussées; OCDE, Paris;1987.

7) Méthode d'auscultation; Voirie départementale, club d'échange d'expériences des Directions Départementales de l'Equipement (France); Février 1985.

8) Entretien, remise en état des chaussées; Voirie départementale, club d'échange d'expériences des Directions Départementales de l'Equipement (France); 1985.

9) Critères de choix des investissements sur les réseaux routiers départementaux; Voirie départementale, club d'échange d'expériences des Directions Départementales de l'Equipement (France); Septembre 1985.

10) Méthodologie générale et cohérence des études; Voirie départementale, club d'échange d'expériences des Directions Départementale de l'Equipement (France); Février 1985.

11) Ullidtz, P.; Pavement analysis; Elsevier, Amsterdam; 1987.

12) Pavement management and weight-in-motion; Transportation Research Record 1123, TRB, Washington D.C.; 1987.

13) Mesure de l'uni des chaussées; AIPCR, Paris, Routes No 265, II -1988.

14) Use of weight-in-motion systems for data collection and enforcement; National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice 124, TRB, Washington D.C.; Septembre 1986.

15) Pavement roughness and skid resistance; Transportation Research Record 1084, TRB, Washington D.C.; 1986.

16) Pavement management, rehabilitation and weight-in-motion; Transportation Research Record 1084, TRB, Washington D.C.; 1986.

17) Equipment for obtaining pavement condition and traffic loading data; National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice 124, TRB, Washington D.C.; Septembre 1986.

18) Brengarth, M., Jacques, M., Olalainty, P. et Berraute, M.; Applications routières d'une centrale gyroscopique; Bull. Liaison Labo. P. et Ch., No 66, Juillet-Août 1973.

19) Ducros, D.-M. et Le Cerf, M.; L'orniéromètre 01, rapport de recherche, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris; Novembre 1979.

20) Tholen, O., Sharma, J. et Terrel, R.L.; Comparison of the Falling weight Deflectometer with other defection testing devices, Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C.; Janvier 1984.

21) Hosking, J.R. et Woodford, G.C.; Measurement of skidding resistance, Parts I, II and III, LR 737, 738 and 739, TRRL, Crowthorne, Berks., Angleterre; 1976.

22) Hosking, J.R. et Woodford, G.C.; Measurement of skidding resistance, SR 346, TRRL, Crowthorne, Berks., Angleterre; 1978.

23) Jordan, P.G. et Still, P.B.; Measurement of rut depths in road surfaces by the TRRL high-speed profilometer, LR 1037, TRRL, Crowthorne, Berks., Angleterre; 1982.

24) Jordan, P.G.; Measurement and assessment of unevennes on major roads, LR 1125, TRRL, Crowthorne, Berks., Angleterre; 1984.

25) Rawlinson, W.R.; The ARRB road geometry instrumented vehicle, general description, Internal Report AIR 276-2, Australian Road Research Board, Vermont South, Vic.; Mars 1983.

26) Le matériel LPC; Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris; Mai 1985.

27) Introduction to road survey techniques in Japan; Canada/Japan Seminar on Paving Technology, Japan Road and Contractors Associations; Octobre 1984.

28) Messverfahren und -Geräte zur Erfassung des Zustands der Strassenbefestigung, Merkmal: Ebenheit im Querprofil; Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln; Novembre 1985.

29) Entretien préventif du réseau routier national; Guide technique, Direction des routes et de la circulation routière, Ministère des Transports, Paris; Avril 1979.

30) Peroni, G.; L'attivita' del centro rilevamento dati e prove sui materiali; Autostrade No 3, Mars 1985.

31) Pavement response, evaluation and data collection; Transportation Research Record 1070, TRB, Washington D.C.; 1986.

32) Bonnot, J. et Baucheron de Boissoudy, A.; La mécanique des chaussées: son évolution, ses préoccupations actuelles, Bull. liaison Labo. P. et Ch., No 125, mai-juin 1983.

33) Peyronne, C. et Stricher, M.; Le système de gestion des routes départementales de Meurthe-et-Moselle; Revue générale des routes et des aérodromes, No 625, Décembre 1985.

34) Les systèmes de gestion de chaussées; Session de formation continue, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Direction de la formation continue, Paris, 11 - 13 mars 1986.

35) Bonthoux, P., Vicq, A. et Christory, J.P.; Renforcement des chemins départementaux dans les Yvelines, évaluation de l'état des chaussées, exploitation des données, Revue générale des routes et des aérodromes, No 612, Octobre 1984.

36) Labeau, A.; La banque de données routières, rapport d'information, Groupe de travail "Banque de données routières", Administration des routes, Belgique; Juin 1979.

37) The influence of roadway surface discontinuities on safety; A state-of-the-art report, TRB, Washington D.C.; 1984.

38) Nondestructive pavement evaluation and overlay design; Transportation Research Record 1007, TRB, Washington D.C.; 1985.

39) Analysis and testing of granular bases and subbases; Transportation Research Record 1022, TRB, Washington D.C.; 1985.

40) Enquête auprès des services des routes, des laboratoires et des instituts spécialisés; Service des Ponts et Chaussées, Mandat de recherche 30/84, Neuchâtel; Octobre 1986.

41) Autret, P., Boutonnet, M. et Rodriguez, M.; Groupe d'examen routier par photographie, le gerpho; Bull. liaison P. et Ch., No 71, mai-juin 1974.

42) Guide pour l'auscultation des chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques (semi-rigides); Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, 1979.

43) Portland cement concrete pavement evaluation system (COPES); Highway Research Program Report 277, TRB, Washington D.C.; Septembre 1985.

44) Boulet, M. et de Boissoudy, A.; Appréciation des besoins en entretien d'une chaussée à partir des qualités d'uni de sa surface; Colloque International "routes et développement", Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris; Mai 1984.

45) Harr, M.E.; Non-contact, non-destructive pavement texture and deflection measurements; Colloque International "routes et développement", Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris; Mai 1984.

46) Sauzet, G.; Constitution d'une banque de données, bilan et enseignement; Colloque International "routes et développement", Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris; Mai 1984.

47) North american pavement management conference, Proceedings, Ontario Ministry of Transportation and Communications, Toronto, Canada; Mars 1985.

48) Ullidtz, P.; Système de gestion de l'entretien des chaussées, Journée Technique LAVOC, Laboratoire des voies de circulation, Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne; Septembre 1987.

49) Oesch, S., Sabri, N. et Pflug, L.; Application de la technique des moirés à l'étude de la surface d'un revêtement routier, relevé dynamique de la topographie d'une chaussée, IMAC, EPF Lausanne, Décembre 1987.

50) Grob, H., Bachner, G et Huschek, S.; DQM2, ein Gerät zur dynamischen Querprofilmessung auf Strassen, Zwischenbericht, Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau, ETH Zürich, Mars 1985.

51) Yerpez, J.; La banque de données routières, Revue générale des routes et des aérodromes, No 636, Janvier 1997.

52) Hiersche, E.-U.; Zusammenhänge zwischen dem Strassenzustand und dem Unfallgeschehen, dem Energiebedarf sowie dem Zeitaufwand, Stasse + Autobahn, No 2, Fevrier 1987.

53) Interaction et optimisation des caractéristiques de surface des revêtements routiers; OCDE, Paris, Octobre 1983.

54) Pavement roughness and rideability; National cooperative highway research program report 275, TRB, Washington D.C., Septembre 1985.

55) Loyaerts, Y.; La banque des données routières; La technique routière, No 2, 1987

Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées

ANNEXES

ANNEXE 1

RAPPORT SHRP

RECHERCHE "COMPORTEMENT A LONG TERME DES CHAUSSEES"

1. Liste des données d'inventaire

1. Identification du tronçon d'essai

2. Détails géométriques et informations générales

Largeur des voies
Nombre de voies
Type de construction
Efficacité du drainage
Présence d'une couche drainante
Largeur des accotements
Année de construction
Année d'ouverture au trafic
Epaisseur des couches et types de matériaux
Année où des renforcements ou des reconstructions ont eu lieu
Identification des matériaux utilisés en renforcement ou reconstruction
Epaisseurs des renforcements ou épaisseurs finales des couches après reconstruction
Moyens utilisés pour le transfert des charges
Méthode utilisée pour façonner les joints transversaux et longitudinaux
Garnitures utilisées pour les joints transversaux et longitudinaux
Profondeur et largeur des réserves pour les garnitures des joints
Diamètre, longueur et écartement des barres d'ancrage entre voie de circulation et accotement
Diamètre, écartement et résistance à la rupture des armatures longitudinales et transversales
Position de l'armature à partir de la surface et méthode utilisée pour placer l'armature
Longueur de recouvrement des armatures aux joints de construction
Ecartement des joints
Diamètre des goujons
Ecartement des goujons
Méthode utilisée pour placer les goujons

2. Détails géométriques et informations générales (suite)

Diamètre, longueur et écartement des barres d'ancrage
Type de joint entre accotement et voie de circulation
Identification des matériaux des couches

3. Informations sur les conditions climatiques au cours des années antérieures

Nombre annuel de cycles gel-dégel
Température mensuelle moyenne maximale
Température mensuelle moyenne minimale
Précipitations mensuelles moyennes
Nombre annuel moyen d'applications de sel de déverglaçage
Type de conditions climatiques (sec-gel, humide-sans gel, etc.)
Indice de gel
Minimum de la radiation solaire moyenne
Maximum de la radiation solaire moyenne
Latitude et altitude

4. Trafic total et charges par essieu avant le début des auscultations

TJM moyen au cours des années antérieures
Trafic pondéral équivalent total W (18 Kips)
Répartition par voies et pourcentage de poids
lourds au cours des années antérieures
Nombre total et répartition des essieux tandem
Nombre total et répartition des essieux simples

5. Propriétés des matériaux

a. Sol d'infrastructure

Classification et type de sol
Passant en % au tamis No 200
CBR
Limite de liquidité et indice de plasticité
Type d'essai de compactage en laboratoire
Résistance de l'infrastructure (R-value)
Module de réaction (k-value)
Masse volumique sèche et teneur en eau optimales
Masse volumique et teneur en eau
Module élastique et temps de chargement
Type d'essai et résultats pour prévoir un gonflement potentiel
Type d'essai et résultats pour déterminer la susceptibilité au gel

b. Couche de fondation

Type de fondation (stabilisée ou non)
Classification et type de sol
Pourcentage de la compacité AASHO modifiée
Passant en % au tamis No 200
Passant en % au tamis No 40
Type de compactage en laboratoire
Module élastique et temps de chargement
Type de stabilisation (ciment, chaux, etc.)
Masse volumique et teneur en eau in situ
Teneur en agent stabilisant

c. Couches en béton bitumineux

Passant en % au tamis No 200
Origine des gravillons
Type de gravillons
Origine du sable
Type de sable
Origine du bitume
Sorte de bitume
Teneur en bitume
Pénétration du bitume à 25 °C
Viscosité du bitume à 60 et 135 °C
Ductilité du bitume à 60 et 135 °C
Masse volumique
Stabilité Marshall
Fluage Marshall
Stabilité Hveem
Teneur en vides
Module dynamique (élastique)
Comportement aux déformations permanentes
Comportement en traction
Comportement à la fatigue

c. Couches rigides

Formulation
Slump test
Type de ciment
Teneur en alcali du ciment
Teneur en entraîneur d'air
Additifs autres qu'entraîneur d'air
Origine des gravillons
Type de gravillons
Origine du sable
Type de sable
Type de finisseur utilisé
Méthode employée pour la cure du béton
Traitement de surface
Module élastique et méthode d'essai employée
Résistance à la compression du béton en place
Durabilité, type d'essai de durabilité employé
Classification géologique des granulats concassés
Résistance à la traction indirecte du béton en place
Module de rupture

6. Données annuelles sur l'entretien
(Détails pas encore développés)

7. Données annuelles sur les coûts
(Détails pas encore développés)

2. Liste des paramètres d'auscultation

1. Dégradations et mesures du comportement

a. Revêtements souples (avec ou sans renforcement)

Faïençage (fatigue)
Planéité
Profondeur d'ornière
Désenrobage
Nids de poule, nids de poule traités
Ressuage
Séparation voie/accotement
Affaissement ou soulèvement voie/accotement
Fissuration en damier aux basses températures
Qualité antidérapante (enregistrer sa réduction)
Fissuration par réflexion
Fissuration longitudinale et transversale aux basses températures

b. Revêtements rigides

Fissuration des dalles
Fissuration des coins des dalles
Marches d'escalier au joints des dalles
Pompage
Séparation voie/accotement
Soulèvement ou affaissement voie/accotement
Planéité
Eclatements aux joints
Epaufrure des joints
Détérioration des joints transversaux
Qualité antidérapante (enregistrer da réduction)

c. Revêtements rigides avec renforcements souples

Fissuration de réflexion
Profondeur d'ornière
Désenrobage
Ressuage
Nids de poule dans le renforcement
Planéité
Séparation voie/accotement
Affaissement ou soulèvement voie accotement
Qualité antidérapante (enregistrer sa réduction)

2. Trafic et charges

Trafic journalier moyen
Pourcentage de poids lourds
Nombre annuel d'essieux standards de 18 Kips
Nombre total d'essieux standards de 18 Kips
Répartition des poids lourds par voie
Nombre et répartition des essieux simples
Nombre et répartition des essieux tandem

3. Résultats des mesures de déflexion

Type d'appareil de mesure de la déflexion
Date de la mesure
Fréquence de chargement
Température de l'air
Déflexion mesurée par chaque capteur

4. Données sur les conditions climatiques

Identiques à celles figurant au point 3. de la liste des données d'inventaire

5. Données sur l'entretien

(Détails pas encore développés)

6. Entretien lourd et renforcement, y compris leurs coûts

(Détails pas encore développés)

ANNEXE 2

Fiches descriptives de divers matériels d'auscultation à grand rendement

Remarques:

- La liste des appareils faisant l'objet d'une fiche est nécessairement limitée.
- Le choix des appareils faisant l'objet d'une fiche a été effectué sur la base des documents à disposition. La présence ou l'absence d'un appareil ne préjuge en rien de ses qualités.
- Les informations fournies dans ces fiches ont été tirées de documents très divers: rapports, articles techniques, prospectus publicitaires, etc. Les fiches établies sur la base de ces documents ne peuvent être totalement homogènes. Souvent, les informations ne sont que très générales ou fragmentaires.
- Pour obtenir des informations plus précises, il est indispensable de s'adresser au fournisseur de l'appareil.

APPAREIL: Caméroute	PAYS: France

Paramètre(s): Identification
- Nombre de voies
- Largeur des voies
- Accotement
- Distance de visibilité
- Equipement

Paramètre(s): Etat fonctionnel
- Signalisation/marquage

Description

- **Appareil photographique** 35 mm monté sur un véhicule
- Photographie de la chaussée et de ses abords
- Prises de vue tous les 10 à 100 m couplées à la distance parcourue
- Vitesse, env. 25 km/h
- **Système semi-automatique** permettant de relever et de stocker dans un ordinateur les informations suivantes:
  - nombre de voies
  - largeur des voies
  - présence (et largeur) d'accotement
  - distances de visibilité
  - équipement (glissières, plantations, fossés, ...)
  - signalisation horizontale et verticale
  - points singuliers
- Représentation graphique sous forme de schémas "itinéraire"

APPAREIL: Gyros	PAYS: France

Paramètre(s): Identification
- rayon de courbure
- déclivités (profil en long)
- dévers

Paramètre(s): Etat fonctionnel
- ligne de plus grande pente

Description

- Plate-forme gyroscopique embarquée à bord d'un véhicule
- Vitesse, env. 25 km/h
- Un logiciel d'analyse des mesures permet de mémoriser dans un ordinateur et de représenter graphiquement les informations suivantes:
  - profil en long
  - dévers
  - tracé en plan
  - ligne de plus grande pente (valeur et direction)

APPAREIL: Road geometry instrumented vehicle	PAYS: Australie

Paramètre(s): Identification
- rayon de courbure
- déclivités
- dévers

Description

- Une plate-forme gyroscopique embarquée à bord du véhicule permet de mesurer le rayon de courbure
  - . Domaine de mesure: de 15 m à plus de 500 m
  - · Précision variable en fonction du rayon
- Les déclivités sont mesurées grâce à un accéléromètre (avec correction pour tenir compte de l'accélération du véhicule)
  - · pente ± 25 %, précision 5 %
  - · possibilité de calculer les rayons verticaux en fonction de la variation de la déclivité
- Altitudes et coordonnées peuvent être calculées grâce à un programme complémentaire
- Mesure du dévers grâce à un accéléromètre (avec correction pour l'accélération transversale et le roulis du véhicule
  - · dévers ± 15 %, précision 0.5 %
- Vitesse, max. 140 km/h

APPAREIL: Indicateur de profondeur de gel	PAYS: France

Paramètre(s):	**Conditions climatiques** - profondeur de gel
Description	- Mesure de la profondeur de gel par changement de couleur d'une solution de fluorescéine lors de la congélation - Poste fixe - Tube, hauteur 102 mm, Ø 20mm

APPAREIL: Rodar	PAYS: Etats-Unis

Paramètre(s): Etat structurel
- définition de la superstructure

Description

- Un système radar placé à l'arrière d'un véhicule permet de mesurer l'épaisseur des couches de la chaussée
- Profondeur d'auscultation: 60 cm
- Vitesse: 32 km/h
- Précision, env 0.6 cm
- Calibration à partir d'une carotte nécessaire

Paramètre(s): Etat structurel
- dégradations (vides)

Description

- Le système radar permet de détecter les vides, en particulier, sous les dalles en béton de ciment

Paramètre(s): Etat structurel
Etat fonctionnel
- dégradations

Description

- Le système radar permet de repérer certaines dégradations de surface (arrachements, nids de poule, ...) ansi que certaines dégradations des couches de support et de fondation

APPAREIL: Déflectographe Lacroix	PAYS: France

Paramètre(s): Etat structurel
- qualité structurelle

Description

- Poids lourd avec essieu arrière chargé à 13 t
- Vitesse 3.5 km/h
- Pas de mesure, env. 4 m
- Mesure de la déflexion dans l'axe des jumelages droit et gauche grâce à une poutre de reférence posée sur le sol sous le châssis du camion. La poutre est mise en place et relevée automatiquement pour chaque mesure

APPAREIL: Falling Weight Defectometer (FWD)	PAYS: Danemark

Paramètre(s): Etat structurel
- qualité structurelle

Description

- Remorque tractée
- Vitesse: les mesures sont effectuées à l'arrêt
- Fréquence des mesures: 30 mesures par heure
- Pas de mesure: à choix
- Charge dynamique 105 kN
- Temps de chargement: env 30 10^{-3} s
- Mesure de la cuvette de déflexion grâce à 7 capteurs sismiques
- Précision de la mesure: 1 µm
- Calcul immédiat du module des couches grâce à un micro-ordinateur embarqué à bord du véhicule (modèle tricouche élastique)

APPAREIL: ARAN II	PAYS: Canada

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- uni longitudinal

Description

- Mesure de l'uni au moyen d'un accéléromètre
- Vitesse, max. 90 km/h
- Longueurs d'onde de 2.5 cm à 90 m
- Logiciel permettant de calculer le Present Serviceabilty Index (PSI) ainsi que des informations statistiques (moy., min., max., écart type) par section

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- dégradations de surface

Description

- Clavier permettant à l'opérateur de coder:
  - 20 types de dégradation
  - 3 degrés de sévérité
  - 10 niveaux d'étendue
  - plus 8 touches pour des évènements spéciaux
- Logiciel pour le calcul du Pavement Condition Rating (PCI) par section

APPAREIL: ARAN II (suite)	PAYS: Canada

Paramètre(s): Etat fonctionnel
- uni transversal

Description

- Poutre transversale (3.6 m) montée à l'avant du véhicule
- 12 capteurs de distance à ultra-son disposés le long de la poutre permettent de relever le profil de la chaussée
- Vitesse, env. 90 km/h
- Pas de mesure, min. 10 m
- Largeur relevée: 4 m
- Un logiciel calcule l'ornière moyenne sur une distance égale à 10 fois la distance entre profils

Paramètre(s): Identification
- rayon de courbure
- dévers
- équipement

Description

- Une plate-forme gyroscopique fixée sur la poutre à l'avant du véhicule permet de mesurer
  - les rayons de courbure (de 50 à 5'000 m, précision 5 %)
  - le dévers (précision 0.5 %)

Paramètre(s): Identification
- équipement

Etat fonctionnel
- signalisation/marquage

Description

- Une caméra vidéo installée dans la cabine du véhicule permet de filmer la chaussée et son environnement
- Un codage de la bande vidéo permet une recherche rapide d'un point kilométrique donné

APPAREIL: Laser Road Surface Tester	PAYS: Suède

Paramètre(s): Etat fonctionnel
- uni transversal

Description

- Poutre transversale fixée à l'avant d'une fourgonnette
- Mesure du profil grâce à 11 capteurs laser
- Vitesse: max. 90 km/h
- Largeur du relevé: 3.10 m
- Distance entre profils:
  - min. 0.1 m
  - en général 5 m
- Profondeur max. d'ornière: 128 mm précision 0.2 mm
- Pas de prise en compte automatique du dévers
- Logiciel permettant de dessiner chaque profil et de calculer, par tronçon de 100 m, la profondeur de l'ornière, les pourcentages d'ornière supérieure à 10 et 20 mm

Paramètre(s): Etat structurel
Etat fonctionnel
- uni longitudinal

Description

- Relevé de l'uni grâce à la mesure de la distance chassis-chaussée et un accéléromètre
- Interprétation de la valeur d'uni sur une échelle à 9 niveaux

Paramètre(s): Etat structurel
Etat fonctionnel
- dégradations de surface

Description

- Possibilité d'entrer manuellement les informations sur les dégradations sur le clavier du micro-ordinateur embarqué

APPAREIL: Laser Road Surface Tester (suite)	PAYS: Suède

Paramètre(s):	**Identification** - dévers
Description	- Possibilité de mesurer le dévers grâce à un gyroscope
Paramètre(s):	**Etat fonctionnel** - qualité antidérapante
Description	- Possibilité de tracter un skiddomètre BV 11

APPAREIL: Roughness and distress Meter Dynatest 5000 RDM	PAYS: Danemark

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- uni longitudinal

Description

- Mesure de l'accélération verticale du châssis
- Vitesse: 70 km/h
- Calcul en temps réel du PSR (Present Serviceability Rating) grâce à un micro-ordinateur embarqué à bord du véhicule

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- dégradations de surface

Description

- L'opérateur accompagnant le chauf- du véhicule peut selectionner sur un clavier 8 types et, pour chaque type, 3 niveaux de dégradation
- Les informations ainsi encodées sont mémorisées dans le micro-ordinateur embarqué à bord du véhicule

APPAREIL: ZR 04 LY	PAYS: Japon

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- dégradations de surface

Description

- Système embarqué à bord d'un véhicule Land Cruiser
- Film de la surface de la chaussée grâce à 2 caméras vidéo
- Eclairage de la chaussée par laser
- Vitesse, env. 60 km/h

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- uni longitudinal

Description

- Relevé du profil en long grâce à 3 capteurs laser fixés au châssis du véhicule
- Vitesse, env. 60 km/h

Paramètre(s): **Etat fonctionnel**
- uni transversal

Description

- Film d'une ligne de lumière laser projetée sur la chaussée à l'aide de 2 caméras vidéo
- Vitesse, env. 60 km/h
- Largeur du relevé: 4 m

APPAREIL: Road Man	PAYS: Japon

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- dégradations de surface

Description

- Caméra 35 mm fixée à l'extrémité d'un mât à l'avant d'une fourgonnette
- Eclairage de la chaussée par lampes halogènes
- Vitesse, env. 60 km/h
- Mesures de nuit
- Largeur relevée: 4.5 m
- Précision: fissures ≥ 1 mm

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- uni longitudinal

Description

- Relevé de l'uni grâce à 3 capteurs de distance laser espacés de 1.5 m et fixés au châssis du véhicule servant de référence
- Analogie avec une règle roulante de 3 m
- Vitesse, env. 80 km/h
- Mesure tous les 10 cm
- Erreur inférieure à 20 %

Paramètre(s): **Etat fonctionnel**
- uni transversal

Description

- Film d'une ligne de lumière laser projetée sur la chaussée à l'aide d'une caméra vidéo
- Mesure de nuit
- Vitesse, env. 80 km/h
- Largeur du relevé: 4 m
- La bande lumineuse filmée est digitalisée grâce à un micro-ordinateur embarqué
- Un lociciel permet de calculer la profondeur d'ornière
- Précision: 2 mm

APPAREIL: Pasco Road Survey System	PAYS: Japon

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- dégradations de surface

Description

- Photographie en continu de la surface de la chaussée sur fil 35 mm
- Eclairage de la chaussée
- Mesure de nuit
- Vitesse, env. 60 km/h

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- uni longitudinal

Description

- Mesure de l'uni longitudinal grâce à 3 capteurs de distance laser sans contact fixés au chassis du véhicule et d'un accéléromètre
- Les mesures sont enregistrées et sur un micro-ordinateur embarqué
- Vitesse, env. 40 km/h

Paramètre(s): **Etat fonctionnel**
- uni transversal

Description

- Film d'une ligne de lumière projetée sur la chaussée
- Vitesse, env. 80 km/h
- Largeur du relevé: 4 m
- Fréquence des relevés: 2 m

APPAREIL: 8300 Roughness Surveyor	PAYS: Etats-Unis

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- dégradations de surface

Description

- Encodage des dégradations sur un clavier par l'opérateur
- Possibilité de coder
  - 15 types de dégradation
  - 3 niveaux de dégradation
  - 3 étendues
- Calcul du PCR (Pavement Condition Rating)

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- uni longitudinal

Description

- Instrumentation mobile se fixant sur le pare-choc d'un véhicule de tourisme
- Mesure du déplacement vertical par capteur à ultra-sons et mesure de l'accélération verticale
- Interprétation des mesures grâce à un logiciel

Paramètre(s): **Etat fonctionnel**
- uni transversal

Description

- Poutre transversale pouvant être montée à l'avant du véhicule
- 5 points de mesure

APPAREIL: 690 DNC Road Profilometer	PAYS: Etats-Unis

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- uni longitudinal

Description

- Mesure de l'uni longitudinal au moyen d'un capteur optique (résolution: 0.25 mm) et d'un accéléromètre par voie de roulement
- Calcul automatique d'un indice d'uni (à choix)

Paramètre(s): **Etat fonctionnel**
- uni transversal

Identification
- dévers
- déclivités

Description

- Sur la base des mesures des deux voies de roulement, un logiciel permet de calculer
  - la profondeur d'ornière
  - le dévers
  - les déclivités

APPAREIL: PURD II	PAYS: Canada

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- uni longitudinal

Description

- Mesure de l'uni au moyen d'un accéléromètre
- Vitesse, max. 90 km/h
- Longueurs d'onde de 2.5 cm à 90 m
- Logiciel permettant de calculer le Present Serviceabilty Index (PSI) ainsi que des informations statistiques (moy., min., max., écart type) par section

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- dégradations de surface

Description

- Clavier permettant à l'opérateur de coder:
  - 20 types de dégradation
  - 3 degrés de sévérité
  - 5 niveaux d'étendue
  - plus 8 touches pour des évènements spéciaux
- Logiciel pour le calcul du Pavement Condition Rating (PCI) par section

APPAREIL: High-speed road monitoring system	PAYS: Royaume-Uni

Paramètre(s): Etat structurel
Etat fonctionnel
- uni longitudinal

Description

- 4 capteurs laser fixés sur le châssis d'une remorque permettent de mesurer les variations de distance châssis-chaussée
- Longueurs d'onde mesurées: de 0.1 à 100 m
- Encombrement de la remorque:
  - longueur 4.5 m
  - largeur 1.8 m
- Vitesse: 45 km/h

Paramètre(s): Etat fonctionnel
- uni transversal

Description

- La variation de la hauteur de l'axe des roues de la remorque est mesurée au moyen de 3 capteurs laser
- Le système donne une valeur moyenne de l'ornière sur une distance de 20 m
- La répétabilité, établie sur 20 km, est de moins de 1.5 mm pour 80 % des mesures

APPAREIL: Gerpho	PAYS: France

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- dégradations de surface

Description

- Caméra fixée à l'extrémité d'un mât à l'avant d'une fourgonnette
- Hauteur de la caméra: 3.5 m
- Système d'éclairage de la chaussée
- Prise de vue en continue asservie à la vitesse du véhicule
- Vitesse, env. 30 km/h
- Utilisation de nuit uniquement
- Largeur du relevé, > 4 m
- Interprétation et mémorisation dans un ordinateur par observation visuelle du film et encodage manuel du type et de l'importance des dégradations

APPAREIL: Analyseur de profil en long (APL)	PAYS: France

Paramètre(s): **Etat structurel**
Etat fonctionnel
- uni longitudinal

Description

- Remorque tractée par un véhicule
- Vitesses: 72, 50 ou 21.6 km/h
- Roue palpeuse en contact avec le sol et suspendue à une poutre oscillante articulée sur un châssis lesté
- Mesure des déplacements angulaires de la poutre sous l'effet des mouvements verticaux de la roue grâce à un capteur de déplacement angulaire
- Plage de mesure:
  - amplitude ± 100 mm
  - longueur d'onde 0.5 - 20 m
    1 - 50 m
    (selon la vitesse)

APPAREIL: Orniéromètre	PAYS: France

Paramètre(s): Etat fonctionnel
- uni transversal

Description

- Remorque tractée par un véhicule
- Vitesse, env. 30 km/h
- Système de mesure: cinq roulettes (entre les deux roues porteuses)
- Largeur de mesure: 1.6 m
- Pas de mesure: 0.25 m
- Profondeur d'ornière relative calculée tous les 10 ou 20 m
- Pas de référence horizontale

APPAREIL: Dynamisches Querprofil-Messgerät (DQM-2)	PAYS: Suisse

Paramètre(s): Etat fonctionnel
- uni transversal

Description

- Remorque (longueur 6 m) tractée par une fourgonnette
- Un flash, situé à l'arrière de la remorque, projette une mince bande lumineuse sur la chaussée
- Une caméra vidéo, située à l'avant de la remorque, permet de photographier cette bande
- Une plate-forme gyroscopique donne une référence horizontale
- Vitesse, max. 80 km/h
- Largeur relevée: 4.5 m
- Pas de mesure: 2 profils/seconde, en règle générale un profil tous les 25 m
- Profondeur max. d'ornière: 230 mm, précision: 0.3 mm
- Un logiciel permet d'analyser l'image et, en tenant compte du dévers, de dessiner le profil, de calculer la profondeur d'ornière et la profondeur d'eau théorique

APPAREIL: Relevé dynamique de la surface de la chaussée	PAYS: Suisse

Paramètre(s): Etat fonctionnel
- uni transversal

Description

- Camion léger
- Méthode de mesure: moiré de projection. Un trame est projetée sur la chaussée. Cette projection est superposée à un réseau témoin. Cette superposition crée des franges d'interférence qui permettent de mesurer les déformations de la chaussée.
- Mesure du dévers grâce à un pendule, précision 0.5 %
- Vitesse, moy. 30 km/h (max. 50)
- Utilisation de nuit uniquement
- Largeur relevée: 3.3 m
- Pas de mesure: en continu
- Profondeur max d'ornière: 230 mm, précision: 0.3 mm
- Un logiciel permet d'analyser l'image et, en tenant compte du dévers, de dessiner le profil, de calculer la profondeur d'ornière et la profondeur d'eau théorique pour les profils désirés.

APPAREIL: Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM)	PAYS: Rayaume-Uni

Paramètre(s): Etat fonctionnel
- qualité antidérapante

Description

- Camion équipé d'une roue de mesure située dans l'axe de la voie de roulement droite, d'une citerne et d'un système d'arrosage
- Angle de la roue de mesure avec la direction de déplacement: 20 °
- Vitesse, env. 60 km/h
  6'000 mesures à l'heure
- Mesure: coefficiemt de frottement tranversal (CFT) moyen sur 10 m
- Un logiciel permet d'obtenir des tableaux, des histogrammes, des cartes avec des moyennes et leur écart type

APPAREIL: Skiddomètre BV 11	PAYS: Suède

Paramètre(s): Etat fonctionnel
- qualité antidérapante

Description

- Remorque tractée par un véhicule muni d'une citerne
- Roue de mesure dans l'axe du véhicule entre les deux roues porteuses de la remorque
- Mesure roue bloquée ou taux de glissement variable
- Vitesse > 80 km/h
- Pas de mesure: plusieurs dizaines de mètres