



Projet National de recherche et développement

I

RAPPORT DE RECHERCHE / LIVRABLE

Étude sur les indices structurels

Auteur(s) / Organisme(s) :

Anna Maria VARGA – EGIS

Philippe LEPERT - Logiroad

Thème de rattachement :

Thème 2 - Caractérisation des chaussées

DVDC/R/012

LC/17/DVDC/26-29

Juin 2018

Site internet : www.dvdc.fr

Plateforme collaborative : www.omnispace.fr/dvdc

Président : Dominique JAUMARD

Directeurs : Christine LEROY et Simon POUGET

Gestion administrative et financière : IREX (www.irex.asso.fr), 9 rue de Berri 75008 PARIS, contact@irex.asso.fr

Sommaire

Sommaire	2
1 Résumé	3
2 Introduction	5
3 Les indices structurels utilisés en France	6
3.1 La note structurelle de l'IQRN (routes nationales).....	6
3.1.1 Principe de calcul de la note Patrimoine	6
3.1.2 Discussion	7
3.2 La note structurelle de l'IQRA (autoroutes concédées)	7
3.2.1 Principe de calcul de la note Patrimoine	7
3.2.2 Discussion	8
3.3 Les indices structurels des collectivités locales.....	8
3.3.1 Les départements : principe de calcul de la note Patrimoine.....	8
3.3.2 Discussion des approches des départements.....	9
3.3.3 Les Métropoles : principe de calcul de la note Patrimoine	9
3.3.4 Discussions.....	10
3.3.5 Les communautés de communes : principe de calcul de la note Patrimoine	10
3.3.6 Discussions.....	11
4 Les approches étrangères	11
4.1 L'exemple allemand.....	11
4.1.1 Stratégie d'évaluation du réseau fédéral	11
4.1.2 Méthode d'évaluation	12
4.1.3 Le calcul des notes	14
4.2 L'approche du projet européen COST 354	15
4.2.1 L'action COST 354	15
4.2.2 La démarche générale.....	15
4.2.3 Indice structurel	16
4.2.4 Discussion	16
4.3 La vision de l'AIPCR.....	17
4.3.1 Réflexion du Comité Technique D1	17
4.3.2 Discussions.....	17
4.4 Les indices américains	17
4.4.1 Pavement Condition Index	18
4.4.2 L'indice de viabilité, PSI (Present Serviceability Index).....	18
4.4.3 Discussion	20
5 Conclusions	21
6 Références	22

1 Résumé

Résumé en français

Le projet DVDC est un projet national français de recherche collaborative qui vise à optimiser la planification et le dimensionnement des travaux d'entretien de chaussées, et à développer des méthodes de qualification de l'état et de la durée de vie des chaussées. Ce projet est circonscrit aux méthodes et indicateurs applicables en France et dans des pays similaires.

Les méthodes d'auscultation des réseaux routiers et l'interprétation des données d'auscultation pour définir des indicateurs pertinents constituent l'un des thèmes principaux du projet DVDC. Il convient donc de faire le point sur ces évolutions et d'en déduire les progrès qui sont aujourd'hui possibles dans l'évaluation de l'état structurel des chaussées. Le présent rapport traite de la première partie de cette tâche : faire le point sur les indices actuels d'état structurel des chaussées. Il n'était bien sûr pas possible d'être exhaustif, mais différentes approches entrant dans le périmètre défini ci-dessus ont été analysées : les réseaux nationaux français (RN et autoroutes concédés), les réseaux locaux (départements, villes, communes), les réseaux étrangers comparables (Allemagne). On a également pris en compte des réflexions et études conduites sur le même sujet aux plans européen (projet COST 354) et international (AIPCR, indices américains).

A ce stade de l'analyse, il apparaît une certaine diversité dans ces approches, et dans les méthodes de calcul d'indices d'état structurels. Derrière cette diversité, certaines grandes constantes se distinguent, notamment :

- Tous les indices structurels s'appuient d'abord sur le traitement des dégradations de surface pertinentes : fissuration de fatigue et déformations du profil en travers ;
- Certains indices prennent en compte l'uni longitudinal, d'autres pas ;
- Certains indices prennent en compte la déformabilité de surface (déflexion), d'autres pas ;

Par ailleurs, il existe deux grandes familles de méthodes de calcul des indices structurels à partir des indicateurs évoqués ci-dessus :

- Les méthodes les plus répandues combinent ces indicateurs dans une somme pondérée ; il en existe des variantes, comme les méthodes de pénalisation
- Les méthodes technico-financières, qui passent par une analyse des dégradations pour déterminer des travaux à faire et chiffrent ensuite ces travaux pour en déduire une note ; on n'a trouvé ce type de méthodes qu'en France (IQRN, IQRA).

Abstract

The DVDC project is a French collaborative research project which aims at optimizing the planning and design of pavement maintenance works and at developing methods for qualifying the condition and the service life of pavements. This project is limited to methods and indicators applicable in France and similar countries.

The methods of survey of road networks and the interpretation of monitoring data to define relevant indicators are one of the main themes of the DVDC project. It is therefore necessary to consider these evolutions and to deduce from them the progress that is today possible in the evaluation of the structural condition of pavements. This report deals with the first part of this task: considering current indices of pavement structural condition. Of course, it was not possible to be exhaustive, but different approaches within the scope defined above were analysed: the French national networks (RN and conceded highways), the local networks (departments, cities, municipalities), comparable foreign networks (Germany). We have also taken into account reflections and studies conducted on the same subject at European (COST 354 project) and international (PIARC, US indices) levels.

At this stage of the analysis, there appears a certain diversity in these approaches, and in the methods for calculating structural condition indices. Behind this diversity, some great constants stand out, including:

- All structural indices rely first on the treatment of relevant surface distresses: fatigue cracking and transverse profile deformations;
- Some indices take into account longitudinal profile, others do not;
- Some indices take into account surface deformability (deflection), others not;

In addition, there are two main families of methods for calculating structural indices based on the indicators mentioned above:

- The most common methods combine these indicators in a weighted sum; there are variants, such as penalization methods;
- The technico-financial methods, which go through an analysis of the degradations to determine works to do and then encrypt these works to deduce a note; these methods have only been found in France (IQRN, IQRA).

2 Introduction

Le projet DVDC est un projet national français de recherche collaborative qui vise à optimiser la planification et le dimensionnement des travaux d'entretien de chaussées, et à développer des méthodes de qualification de l'état et de la durée de vie des chaussées. Ce projet est circonscrit aux méthodes et indicateurs applicables en France et dans des pays similaires. Il ne prend donc pas en compte les méthodes d'évaluation des réseaux des pays subtropicaux ou équatoriaux (méthode VIZIR, Vizirette) et les indicateurs qui sont essentiellement utilisés dans ces contextes, et jamais en France (IRI par exemple).

Les méthodes d'auscultation des réseaux routiers et l'interprétation des données d'auscultation pour définir des indicateurs pertinents constituent l'un des thèmes principaux du projet DVDC [1]. On sait, en effet, que les méthodes d'auscultation ont beaucoup évolué ces dernières années de même que les appareils de mesure, grâce en particulier à des progrès importants en matière de capteurs, de méthodes de mesure et de traitements informatique des résultats. Il convient donc de faire le point sur ces évolutions et d'en déduire les progrès qui sont aujourd'hui possibles dans le recueil des informations pertinentes pour évaluer l'état structurel des chaussées.

Par ailleurs, si aujourd'hui différentes méthodes d'évaluation structurelle existent, notamment la méthodologie IQRN déployée sur le Réseau Routier National, aucun indice « standard » permettant une comparaison de l'état de différents réseaux routiers n'a été défini. Il reste donc à définir des indices structurels adaptés aux besoins des gestionnaires, contribuant à une gestion optimisée de leur réseau routier.

Pour atteindre ces objectifs, ce thème a été organisé autour de trois sujets :

- ▶ Retours d'expérience sur la connaissance de l'état du réseau ;
- ▶ Méthodes de mesure et auscultation in situ ;
- ▶ Indices structurels.

Ce rapport s'inscrit dans les productions attendues du troisième sujet, dont l'objectif est de définir des indicateurs structurels adaptés aux besoins des gestionnaires. Il considère les méthodes de calculs d'indices d'état structurel utilisés dans des contextes et sur des réseaux français ou similaire, entrant dans le périmètre du projet tel qu'il a été précisé ci-dessus. Il ne prétend évidemment pas à l'exhaustivité, mais s'efforce plutôt :

- D'identifier des cas représentatifs en France ou dans des pays proches (Allemagne, USA)
- De s'appuyer sur d'autres travaux qui ont déjà abordé la question des indices, structuraux ou autres (COST 354, AIPCR).

3 Les indices structurels utilisés en France

On appelle indice structurel, ou note structurelle, une variable numérique réelle, prenant valeur sur une certaine plage $[V_d ; V_i]$ et variant continuellement sur cette plage en fonction de l'état de la structure des chaussées. Cette notion d'« état structurel » demanderait à être précisée. A ce stade, nous emploierons cette expression pour faire référence à la capacité d'une chaussée à supporter le trafic qui lui est appliqué sans se dégrader de façon visible et rapide.

Il existe différentes approches pour définir l'indice structurel. Rien que dans notre pays, chaque gestionnaire définit son indice structurel. L'Etat, gestionnaire des routes nationales, a défini son indice, appelé Note Patrimoine IQRN (Image Qualité des Routes Nationales) au début des années 90. L'indice IQRN n'est toutefois pas généralisé à l'ensemble des gestionnaires. A titre d'exemple, les sociétés concessionnaires d'autoroutes ou certains départements ont défini leur propre indice structurel.

3.1 La note structurelle de l'IQRN (routes nationales)

L'IQRN est une opération d'évaluation annuelle des chaussées des routes nationales [2]. Préparée en 1992, elle a été lancée en 1993 à titre expérimental. A partir de 1994, elle est devenue systématique. Elle consiste à recueillir l'état des dégradations de surface sur un tiers du réseau chaque année (ainsi, le réseau entier est couvert tous les 3 ans) et à calculer une note de Surface, une note Patrimoine, et une note Globale par section de 200 mètres, chaque année. En 2008, la méthode de calcul des notes, notamment de la note Patrimoine a été révisée pour s'appuyer sur un mode de relevé de dégradations (M2) plus détaillé que celui utilisé de 1993 à 2007 (M3). Un travail est aujourd'hui en cours pour définir de nouveaux indicateurs (IQRN 3D) mais aucune communication n'a, à la date de l'écriture de ce rapport, été faite sur ce sujet.

3.1.1 Principe de calcul de la note Patrimoine

Le principe de calcul de la note Patrimoine respecte trois phases :

- ▶ Définition des travaux conventionnels à faire pour remettre la chaussée dans un état structurel quasi-neuf (pour une durée de dimensionnement de 15 ans) ; ces travaux ont été estimés une fois pour toute en 1992, par un panel d'experts du Réseau Scientifique et Technique (RST) du Ministère en charge du Réseau Routier National (RRN) ; Il est exprimé, en centimètres de béton bitumineux (BB) dans des tableaux croisant les déformations transversales et les fissurations relevées lors de l'auscultation ;
- ▶ Chiffrage de ces travaux sur la base d'un coût unitaire conventionnel du centimètre de BB, tel qu'estimé en 1993 ;
- ▶ Calcul de la note par la formule $N_p = 20 * (1 - \text{coût de remise à neuf/coût maximal de remise à neuf})$; le coût maximal de remise à neuf correspond à celui d'un renforcement d'une chaussée à assise traitée au liant hydraulique totalement ruinée et supportant un trafic $T0^+$ (TMJA PL = 2000 PL/j) ; il a été conventionnellement établi au coût de 20 centimètres de Grave Bitume (20 GB) recouvert de 8 centimètres de BB.

Par cette procédure, a été établie en 1992 une série de tableaux qui donnent une note Patrimoine à chaque section de route en fonction de son état de dégradation structurelle (déformations, fissurations).

L'état structurel d'une chaussée, tel qu'estimé à partir des travaux de remise à neuf, dépend naturellement du type d'assise et du trafic. Une série de tableaux a donc été produite, à raison d'un tableau par doublet [type de structure ; classe de trafic].

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Note moyenne des chaussées du réseau routier national	16,8	16,5	16,4	16,4	16,4	16,3	16,3

Tableau 1 - Évolution de la note globale moyenne des chaussées du réseau, source [8]

On notera que la mesure de la capacité portante n'intervient pas dans le calcul de la Note Patrimoine, car il a été estimé qu'une détérioration de la structure de chaussée se traduirait par l'apparition des dégradations de surface bien avant qu'elle n'affecte de façon mesurable la déflexion sur la chaussée.

3.1.2 Discussion

Le principe de la note est basé sur des dire d'expert, c'est-à-dire que les travaux de remise à neuf ont été définis à dire d'expert, et vérifiés ensuite sur différents cas pris de façon aléatoire. De ce fait, cette méthode est mieux cadrée que les méthodes par moyenne pondérée, le chemin entre les dégradations et la note est plus traçable.

Une des limites de la note patrimoine est l'utilisation de son échelle de valeur. Une chaussée en très mauvais état et donc éligible à la réhabilitation aura une note inférieure à 13/20. Or, pour beaucoup, en référence au système « scolaire » une note de 13/20 est globalement « bonne ». Cette distorsion a été atténuée en créant une série de 5 classes d'état structurel, allant de très mauvais (note ≤ 13) jusqu'à excellent (note = 20).

Un autre aspect dont il faut avoir conscience est que l'élaboration de cette méthode est assez lourde, et qu'il en va de même de sa révision suite à un changement d'indicateurs élémentaires en entrée. Cela est apparu très clairement lorsqu'il a fallu revoir la méthode de calcul des notes pour la fonder sur un relevé M2 alors qu'elle était jusque-là fondée sur un relevé M3.

3.2 La note structurelle de l'IQRA (autoroutes concédées)

Dans le cadre des contrats de plan, la Direction des Infrastructures des Transports (DIT) demande à l'ensemble des sociétés concessionnaires d'autoroutes (SCA) de lui communiquer annuellement des indicateurs sur l'état de leur patrimoine chaussées.

La définition de l'indicateur structure Image Qualité du Réseau Autoroutier (IQRA) est directement issue de la méthodologie de calcul de l'IQRN présentée ci-avant. En s'inspirant de la méthode utilisée pour les routes nationales, l'indicateur IQRA Structure prend en compte certaines modifications selon les spécificités du réseau concédé.

3.2.1 Principe de calcul de l'IQRA structure

L'indicateur IQRA Structure est destiné à apprécier la qualité du réseau autoroutier du point de vue de l'état de la structure de la chaussée.

Le principe de calcul qui a été utilisé pour la mise au point de l'IQRA structure est similaire à celui de l'IQRN :

- ▶ ;
- ▶ Détermination et estimation de solutions conventionnelles de travaux pour remise de la chaussée à l'état de référence ;
- ▶ Comparaison à un cout maximal de travaux de réhabilitation correspondant à la mise en œuvre de plus de 30cm de couches d'assises/liaison

- ▶ Détermination d'une note sur 20.

Cette méthodologie a ainsi conduit à l'établissement d'un barème permettant d'affecter une note IQRA structure à une chaussée en fonction de la nature des travaux réalisés.

Les chaussées en béton, les chaussées évolutives et progressives ne font pas partie de ce type d'évaluation.

Pour prendre en compte les spécificités des autoroutes, quelques adaptations ont été effectuées : l'indicateur est défini par section homogène plutôt que par section de 200 m, Seule la voie lente est concernée. Idem RRN non concédé

3.2.2 Discussion

Les sociétés concessionnaires d'autoroutes fournissent annuellement le pourcentage de réseau présentant une note ≥ 14 .

3.3 Les indices structurels des collectivités locales

Il existe en France quatre types de collectivités locales qui gèrent des réseaux routiers : les départements, les métropoles, les collectivités de communes ou communautés d'agglomération, et enfin, les communes.

3.3.1 Les départements : principe de calcul de la note Patrimoine

Aujourd'hui, les départements gèrent près de 370 000 km de routes. Si la plupart de ces routes supportent un trafic local assez léger, les départements gèrent aussi des routes dont le trafic est assez fort, autant que certaines routes nationales par exemple.

L'une des premières tentatives de notation structurelle des chaussées départementales secondaires a été faite par le RST à la fin des années 90, lorsqu'il a développé le système IQRD (Image Qualité des Routes Départementales) 0. Celui-ci produisait deux notes :

- L'une structurelle, calculée à partir d'un relevé visuel de dégradations de surface
- L'autre de surface, à partir d'une double mesure de profil, longitudinal et transversal.

Le principe de calcul de la note structurelle était identique à celui de la note Patrimoine IQRN, mais à partir d'un relevé (M4) plus sommaire que celui mis en œuvre dans l'IQRN (M3 puis M2). Le principe de la note de surface était un peu plus original. Il consistait à calculer à partir des profils longitudinaux mesurés avec l'APL (ou autre appareil qui relève le profil en long de la chaussée), et transversaux mesurés avec le TUS (ou autre appareil qui relève le profil en travers de la chaussée) la quantité de reprofilage nécessaire pour aplanir la route et sur la base, la note. L'IQRD a été très peu utilisé en tant que système de notation, en revanche le principe de calcul de la quantité de reprofilage a connu un succès plus marqué en tant que moyen de programmation de travaux.

Plusieurs départements (par exemple : CD 31, CD 39, CD 54...) ont adopté le principe de notation de l'IQRN, du moins en ce qui concerne la note Patrimoine, car le calcul de la note de surface de l'IQRN faisant appel à la mesure d'adhérence, est particulièrement coûteux sur ces réseaux. Ce choix est assez cohérent avec le fait que ces départements appliquent la démarche de gestion rationnelle de l'entretien, incluant l'évaluation de leur état, sur leurs routes principales, dont la structure et le trafic est relativement similaire à ceux des routes nationales.

D'autres départements (par exemple : CD 33, CD 60, CD 91...) ont opté soit pour une méthode de notation élaborée en interne, soit pour une méthode de notation proposée par leur prestataire chargé de l'auscultation du réseau. Dans la plus grande part des cas, ces méthodes sont fondées sur des moyennes de l'extension des dégradations, pondérées par la gravité de celle-ci. Cette pondération est faite à dire d'experts.

3.3.2 Discussion des approches des départements

Même s'il est assez facile de voir les avantages que procurerait – au niveau national en tout cas – la standardisation d'un ou des indices structurels, il n'existe pas forcément de volonté de procéder ou d'accepter cette standardisation dans tous les départements, du moins aujourd'hui. Il apparaît toutefois un consensus : l'évaluation des routes structurantes ne s'appuie pas sur les mêmes relevés de dégradations et les mêmes indices structurels que celle des routes secondaires. Le contexte et les enjeux sont différents, même si ce constat ne doit pas entraîner un jugement de valeur sur l'importance patrimoniale de ces différentes routes.

Au-delà de cela, et dans l'hypothèse où la volonté de standardisation l'emporterait, la méthode de calcul de l'indice structurel serait, nécessairement et faute de davantage de connaissance, basée sur des dires d'experts. L'approche technico-financière adoptée pour bâtir l'IQRN semble présenter l'avantage d'offrir un cadre plus clair pour faire converger les avis d'experts qu'une simple méthode de moyenne pondérée. Répondre à une série de questions telles que « sur une section présentant tel et tel type de dégradations, avec telle extension et telle sévérité, que faut-il faire ? » est sans doute plus concret que de dire « de façon générale, de quel poids doit peser telle dégradations dans la note Patrimoine ? ». Les réponses à la première série de questions semblent donc plus fiables que celles à la seconde question. Il faut néanmoins conserver à l'esprit que l'effort pour refonder un indice de type technico-financier est sans doute plus lourde que pour adapter un indice empirique.

Il faut enfin considérer que la standardisation de la méthode de calcul d'un indice structurel implique une certaine standardisation – qui ne veut pas dire unicité – de la méthode de recueil d'informations. Cette dernière doit en effet produire au moins les informations nécessaires au calcul de l'indice structurel. Pour certains départements, qui se sont déjà lancés dans l'auscultation systématique, voire périodique, de tout ou partie de leur réseau, le problème de la continuité risque de se poser, et de freiner leur adhésion à toute forme de standard.

3.3.3 Les Métropoles : principe de calcul de la note Patrimoine

L'organisation administrative de notre pays est en plein changement. L'un des aspects de ce changement, c'est la création de grandes métropoles qui regroupent dans une même structure une ville et les communes qui forment son réservoir humain. Parmi les compétences transférées à cette métropole figurent la gestion des voiries. Les réseaux gérés par les métropoles atteignent couramment plusieurs milliers de kilomètres. Dans de nombreux cas, ce réseau se voit complété par le transfert de certaines sections de routes départementales pénétrant dans l'agglomération.

La notation IQRN est inadaptée à une transposition à l'identique sur ce type de voiries. Une grande partie de cette voirie est située en zone agglomérée, et accueille donc des réseaux enterrés. Le comportement des chaussées, et donc leur mode de dégradation, est impacté par l'existence de ces réseaux : tranchées mal remblayées, dégradations d'émergence, dégradations de rive sont autant de dégradations spécifiques à prendre en compte dans le calcul de l'indice d'état structurel. Par ailleurs, les travaux à faire pour remettre à neuf une section urbaine ne sont pas toujours les mêmes que ceux applicables à une section dans le même état mais en zone rurale. Ainsi, en agglomération, il n'est pas possible de répandre une couche par-dessus la chaussée existante, en raison de problème de seuil (trottoirs, émergences...). Il faudra fraiser, voire décaisser, mettre des matériaux en décharge, etc. ce qui élèvera le coût de l'opération, comparée à une section rurale.

Les voies qui ne sont pas en zone agglomérée sont, pour la plupart, des routes de desserte de localités encore rurales, avec un trafic lourd très faible, voire inexistant, et des structures essentiellement non traitées. Sur ces sections, également, l'application d'un système tel que l'IQRN n'est pas approprié. Un système tel que celui qui s'appliquerait sur les routes départementales secondaires ou sur les voiries communales pourrait convenir.

Aujourd'hui, les Métropoles qui lancent un programme d'évaluation structurelle de leur voirie sont confrontées à l'absence de tout système de notation pertinent et éprouvé. Elles sont donc amenées, par la force des choses, à bâtir leur propre méthode de calcul d'indice structurel. Ces méthodes sont pratiquement toujours fondées sur une moyenne pondérée des indicateurs de dégradations de surface. Ainsi en va-t-il de l'indice structurel utilisé par Rennes Métropole 0, et repris dans différents appels d'offres :

$$\text{Taux de dégradation} = (2 \cdot \text{ORN_STR} + 2 \cdot \text{AFF_H_R} + 2 \cdot \text{AFF_RI} + 0.7 \cdot \text{P_FT} + 3 \cdot \text{F_BDR} + 0.5 \cdot \text{P_DEG_TRAN_T} + 0.5 \cdot \text{DEG_TRAN_L} + 0.3 \cdot \text{P_RACINES} + 0.2 \cdot \text{REP_LOC}) / 6$$

Avec

ORN_STR :	Orniérage structurel	AFF_H_R :	Affaissement hors rive
AFF_RI :	Affaissement de rive	F_BDR :	Fissure dans les bandes de roulement
P_DEG_TRAN_T :	% tranchées transversales dégradées	DEG_TRAN_L :	% tranchées longitudinales dégradées
P_RACINES :	% racines déformant la chaussée	REP_LOC :	Réparations localisées

Taux de dégradation	0 à 5 %	5 à 10 %	10 à 50 %	50 à 100 %
Note de structure	1	2	3	4
Etat	Bon	Moyen	Mauvais	Très Mauvais

Tableau 2 - Note de structure selon le taux de dégradation utilisé par Rennes Métropole

D'autres systèmes de notation existent sans doute, notamment dans les départements très urbanisés comme ceux de la petite couronne parisienne (92, 93, 94).

3.3.4 Discussions

L'évaluation structurelle des chaussées métropolitaines est un vrai enjeu d'avenir. C'est en même temps un problème plus complexe que sur les réseaux interurbains et ruraux, en raison du contexte (présence de réseaux enterrés) et des contraintes (problèmes de seuils) qui s'y appliquent.

On peut dire, à propos des métropoles, la même chose que ce qu'on disait à propos des départements : on voit bien l'intérêt d'un indice structurel standardisé, mais en même temps, il n'y a pas pour autant une volonté locale en faveur de cette standardisation.

Si toutefois la standardisation apparaissait comme une évolution nécessaire, on peut là aussi prévoir qu'une approche de type technico-financière serait la plus à même de déboucher sur une méthode fédératrice et fiable.

3.3.5 Les communautés de communes : principe de calcul de la note Patrimoine

L'autre grand changement qui va, à terme, transformer notre paysage administratif, c'est le regroupement de communes rurales en communautés de communes, ou en communauté d'agglomération lorsqu'elles « entourent » une agglomération de taille moyenne. Aujourd'hui, les compétences de voirie n'est pas toujours rattachée à la communauté de communes, ou alors, parfois, partiellement. On peut toutefois accepter l'idée de traiter ensemble les réseaux des communes et des communautés de communes. Nous parlerons de réseaux communaux.

On peut poser comme spécificité que les réseaux communaux sont largement composés de chaussées traditionnelles (i.e. à assise non traitée) supportant un trafic peu intense, et comportant peu de poids lourds. En revanche, ils sont empruntés par des engins agricoles qui peuvent être très agressifs. L'évaluation de l'état structurel de ces réseaux fait donc sens.

Il n'existe pas de méthode de calcul d'indices structurels bien établie dans notre pays : cette problématique est émergente. Toutefois, elle représente un besoin qui, à terme, pourrait être important. Une communauté de communes a vocation, à terme, de disposer de l'ensemble de la compétence voirie, représentant plusieurs centaines de kilomètres à chaque fois et un budget très significatif. En l'absence d'un exécutif fort, les tensions politiques sur les choix de gestion des routes seront pesantes. Seule une argumentation technique forte pourra offrir à ces choix le minimum de rationalité nécessaire au bon emploi des budgets routiers.

Actuellement, les quelques cas connus de campagnes d'auscultation d'un réseau ayant débouché sur une notation d'état structurel se sont appuyés sur une méthode de pénalisation, assez semblable à celle de la moyenne pondérée des dégradations. Le principe de cette méthode est d'initialiser la note à sa valeur maximale (état structurel excellent) et de lui retirer ensuite des pénalités en fonction des dégradations présentes sur la section. Chaque pénalité pèse d'autant plus que la dégradation correspondante traduit une déficience structurelle problématique. On peut reprocher à cette méthode comme à celle de moyenne pondérée de « mélanger les choux et les carottes » sans vrai fondement scientifique. Ainsi, si une section A présente une note un peu plus mauvaise qu'une section B, cela ne signifie pas nécessairement que l'entretien à faire sur A ne sera qu'un peu plus cher que sur B.

3.3.6 Discussions

Sur ce marché émergent que sont les communes ou les communautés de communes, il n'y a pas, en France, de systèmes bien établis pour calculer des indices d'état structurel pertinents. Le risque est alors de voir émerger des méthodes qui présentent une vision faussée de l'état du réseau, d'autant qu'il y a nécessairement moins de technicité spécifiquement chaussée dans les communes que dans les autres collectivités locales en raison, simplement, de la taille réduite des équipes techniques et du large éventail d'activités qu'elles doivent assumer.

A tout le moins, une réflexion sur les indicateurs techniques réellement utiles pour refléter l'état structurel et sur le poids qu'il convient de leur attribuer serait la bienvenue. En outre, le fait que peu de communautés de communes se sont aujourd'hui engagées dans cette voie ouvre la perspective d'une adoption plus facile de ces règles.

4 Les approches étrangères

4.1 L'exemple allemand

4.1.1 Stratégie d'évaluation du réseau fédéral

En Allemagne, l'évaluation de l'état des routes fédérales est confiée aux Lander sous la tutelle du Ministère Fédéral. L'auscultation et la notation (ZEB) de ces grandes routes se font tous les 4 ans régulièrement depuis 1992. Ce cycle de 4 ans correspond à une campagne de mesure, pour laquelle le territoire de l'Allemagne a été divisé d'une part en une zone « Nord » et une zone « Sud », d'autre part en autoroutes (BAB) et en routes fédérales (Bstra). En d'autres termes, lors d'une campagne de mesure, ce sont les autoroutes (BAB) dans la zone "Sud" qui sont auscultées la première année, la deuxième année les autoroutes (BAB) dans la zone "Nord", la troisième année les routes fédérales (Bstra) dans la zone "Sud" et la quatrième et dernière année, les routes fédérales (Bstra) dans la zone "Nord".

La procédure de passation des marchés TP 1-3 s'effectue une fois par an pour l'année suivante. On choisit chaque année un Land responsable des mesures, qui s'occupe, au nom des autres Länder participants, de toutes les démarches organisationnelles et juridiques et les prépare pour eux. Outre la gestion de la ZEB et la direction du projet partiel TP 4, le BAST a été chargé de l'assurance qualité au niveau de la ZEB et des données relevées. Cette assurance-qualité comporte non seulement la gestion de l'assurance qualité, des examens de contrôle, d'aptitude psychotechnique et des essais de fonctionnement, mais également la formation continue des conducteurs, les échanges d'expérience réguliers ainsi que le perfectionnement technique et l'optimisation des méthodes et de la technique de mesure.

4.1.2 Méthode d'évaluation

Les données d'état relevées et traitées dans le cadre de la ZEB servent en premier lieu de base pour la programmation de travaux d'entretien programmés et de réhabilitation. Dans ce cadre, l'objectif principal de l'évaluation de l'état des chaussées est défini comme suit : « Maintenir un état routier garantissant à l'utilisateur un comportement de la chaussée conforme et une sécurité maximale tout en assurant des coûts macroéconomiques réduits et une compatibilité environnementale maximale ».

Cet objectif s'exprime concrètement dans la pratique par :

1. Un indicateur **Usage** pour l'utilisateur, caractérisant la qualité de l'infrastructure des grandes routes en vue du comportement de la chaussée (viabilité) et de la sécurité routière,
2. Un indicateur **Patrimoine** pour l'exploitant en charge de la chaussée, décrivant la qualité du patrimoine existant de l'infrastructure des grandes routes en vue d'une intervention réalisée à temps, et économiquement optimale

Sur la base de ces indicateurs partiels Usage et Patrimoine, on peut calculer un indicateur Global. L'indicateur Global est l'indicateur partiel le plus mauvais des deux.

Afin de tenir compte des objectifs des indicateurs Usage et Patrimoine, on sélectionne les paramètres d'état significatifs à partir des informations relevées lors des campagnes de mesures de la ZEB (tableau ci-dessous). A noter que l'indicateur de l'uni longitudinal, LWI, cité dans le groupe de l'uni longitudinal n'entre actuellement pas dans le calcul des indicateurs partiels et de l'indicateur global.

Groupe de caractéristiques	Caractéristique d'état de la chaussée	Grandeur d'état	Symbole
Uni longitudinal	Défaut général d'uni	Mesure du défaut d'uni, densité spectrale des hauteurs du défaut d'uni $\Phi_h(\Omega_0)$ [cm ³]	AUN
		Indicateur de l'uni longitudinal [-]	LWI ¹
Uni transversal	Orniérage	Valeur maximale à partir des valeurs moyennes de la profondeur d'ornièrisme de droite et de gauche [mm]	MSPT
		Valeur maximale à partir des valeurs moyennes de la profondeur d'eau fictive de droite et de gauche [mm]	MSPH

Rugosité	Adhérence	Coefficient de frottement transversal - corrigé par rapport aux vitesses de 40, 60 ou de 80 km/h valeur moyenne [-]	GRI40 GRI60 GRI80
Caractéristiques structurelles (surface), asphalte	Faïençage et accumulation de fissures	Faïençage et accumulation de fissures, pourcentage de la surface touchée [%]	NRI
	Réparations localisées	Réparations, pourcentage de la surface touchée [%]	FLI
Caractéristiques structurelles (surface), béton	Fissures longitudinales et transversales	Fissures longitudinales et transversales, longueur moyenne [m]	LQRL
		Fissures longitudinales/transversales, pourcentage des dalles touchées [%]	LQRP
	Cassures d'angle	Cassures d'angle, nombre moyen [-]	EABF
		Cassures d'angle, pourcentage des dalles touchées [%]	EABP
	Epaufures	Epaufures, longueur moyenne[m]	KASL
		Epaufures pourcentage des dalles touchées [%]	KASP

Tableau 4 – Indicateurs d'état pris en compte dans la méthode allemande d'évaluation

Pour pouvoir calculer l'indicateur usage et l'indicateur patrimoine, les grandeurs physiques d'état (avec indication de dimensions) sont converties en valeurs d'état adimensionnelles. Pour cela, on utilise une échelle de valeurs allant de 1,0 à 5,0 avec une appréciation de la valeur (1,0 = "très bien", 5,0 = "très mauvais"). La Figure ci-dessous montre schématiquement la conversion des grandeurs d'état en valeurs d'état. Trois points fixes sur l'échelle des valeurs sont particulièrement importants :

- Le premier point fixe correspond à la valeur d'état 1,5. Concernant les caractéristiques de l'uni, cette valeur de 1,5 correspond aux tolérances pour la réception.
- Le seuil d'alerte (valeur d'état 3,5) correspond à un état qui va déclencher l'analyse des causes de l'aggravation de l'état de la chaussée et la programmation d'éventuelles mesures appropriées.
- Le seuil d'intervention (valeur d'état 4,5) correspond à un état qui devrait, en règle générale, déclencher des travaux d'entretien ou des restrictions de la circulation.

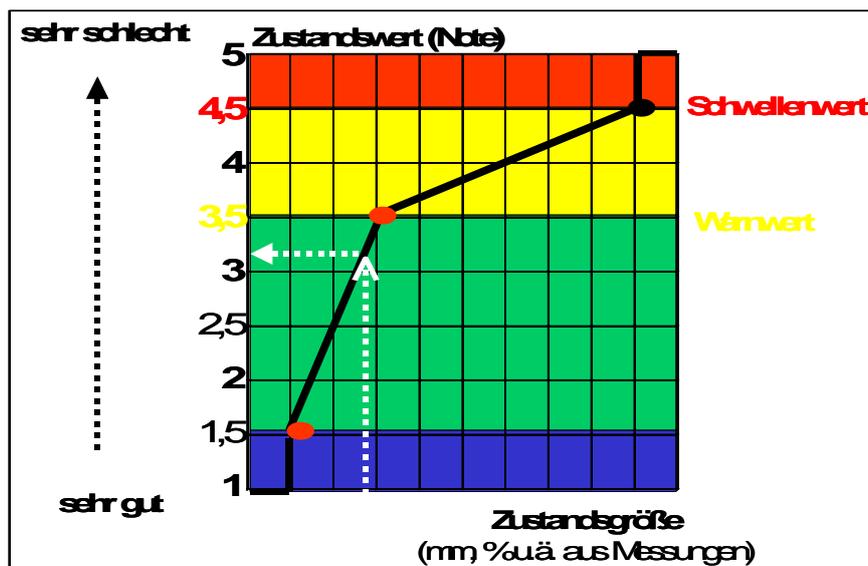


Figure 1 : Normalisation des grandeurs d'état afin de les convertir en valeurs d'état (sch\u00e9ma)

4.1.3 Le calcul des notes

Le syst\u00e8me allemand repose sur le calcul de trois notes : une note Patrimoine, une note Usage et une note Globale. En r\u00e9alit\u00e9, la note Patrimoine pr\u00e9sente deux composantes : surface (rev\u00eatement) et structure (assise).

Le calcul de l'indicateur patrimoine (surface) tient compte des param\u00e8tres suivants :

- La plus faible des deux valeurs d'\u00e9tat pour l'uni longitudinal et l'uni transversal (valeur maximale de ZWAUN et ZWSPT),
- Les valeurs d'\u00e9tat pour les fissures (ZWNRI) et les r\u00e9parations localis\u00e9es (ZWFLI) pour les chauss\u00e9es bitumineuses,
- Les valeurs d'\u00e9tat pour les fissures longitudinales/transversales (ZWLQR), cassures d'angles (ZWEAB) et \u00e9paufrures (ZWKAS) pour les chauss\u00e9es en b\u00e9ton.

La note patrimoine (structure) tient compte des param\u00e8tres suivants :

- Les facteurs d'\u00e9quivalence pour les couches en place,
- Les \u00e9paisseurs des couches,
- L'ann\u00e9e de pose de chaque couche,
- Le module de d\u00e9formation caract\u00e9risant la rigidit\u00e9 de la plate-forme (valeur EV_2 en MN/m^2),
- La charge actuelle due au trafic lourd (TMJ-TL), c'est-\u00e0-dire, le trafic moyen journalier des v\u00e9hicules avec un poids total admissible sup\u00e9rieur \u00e0 3,5 t avec ou sans remorque, des ensembles articul\u00e9s avec semi-remorque et des autocars comprenant plus de 9 places assises (y compris la place du chauffeur). La charge due au trafic lourd (TMJ-TL) est prise en compte sous forme de „cat\u00e9gories de v\u00e9hicules“.

Le calcul de l'indicateur patrimoine (surface) se fait selon la formule :

$$TWSUB = 1 + \ln(1 + 0,0028 \cdot ISUB^{2,14})$$

Avec :

$$ISUB = [\text{Max}(ZWAUN, ZWSPT) - 1] \cdot g_1/4 + [ZWNRI - 1] \cdot g_2/4 + [ZWFLI - 1] \cdot g_3/4$$

Avec les poids suivants :

$$g_1 = 25 \text{ (attribu\u00e9 \u00e0 la plus faible valeur d'uni longitudinal et de profondeur d'orni\u00e8re),}$$

- $g_2 = 50$ (pour la valeur d'état ZWNRI caractérisant les fissures)
 $g_3 = 25$ (pour la valeur d'état ZWFLI caractérisant les réparations localisées).

La note Usage couvre les deux objectifs partiels : la sécurité du trafic routier et la viabilité, elle caractérise donc la qualité du produit proposé à l'utilisateur. Son calcul prend en compte les paramètres suivants :

- La plus faible valeur d'état pour l'uni longitudinal et transversal (la valeur maximale résultant de ZWAUN et ZWSPT),
- Les valeurs d'état pour la hauteur d'eau virtuelle (ZWSPH),
- Les valeurs d'état pour l'adhérence ZWGRI.

Le calcul de l'indicateur usage pour les chaussées en bitume et en béton se fait de la manière suivante :

- $TWGEB = 1 + \ln(1 + 0,0028 \cdot IGEB^{2,14})$

Avec :

$$IGEB = [\text{MAX}(ZWAUN, ZWSPT) - 1] \cdot g_1/4 + [ZWSPH - 1] \cdot g_2/4 + [ZWGRI - 1] \cdot g_3/4$$

Avec les poids :

$g_1 = 25$ (attribué à la plus faible valeur pour l'uni longitudinal et la profondeur d'ornièrre),

$g_2 = 25$ (pour la valeur d'état ZWSPH de la profondeur d'eau fictive)

$g_3 = 50$ (pour la valeur d'état ZWGRI de l'adhérence)

4.2 L'approche du projet européen COST 354

4.2.1 L'action COST 354

L'objectif principal de l'action COST 354 "Indices de performance des chaussées routières" 0 était d'uniformiser, au niveau européen, la définition d'indices de performance des chaussées, en considérant aussi bien les besoins des usagers que ceux des opérateurs routiers. Des indicateurs de performance furent donc définis pour différents types de structures de chaussées et pour différentes catégories de routes. Le projet se déroulait en 2005-2006.

4.2.2 La démarche générale

Dans un premier temps, un ensemble de paramètres techniques (PT) élémentaires a été identifié, par enquêtes ou par interviews, pour décrire les propriétés physiques de la chaussée : uni longitudinal, uni transversal, macrotecture, frottement, capacité portante, fissuration, défauts superficiels, bruit, pollution de l'air. Chacun de ces paramètres résulte soit d'une mesure effectuée par un appareil dédié (par exemple profondeur de l'ornièrre, valeur de frottement, etc.), soit d'un recueil par d'autres formes de relevé (par exemple, les fissures, les défauts de surface).

- En ce qui concerne les mesures, des fonctions de transfert sont proposées qui convertissent les paramètres mesurés en indicateurs techniques (IT) adimensionnels, dont les valeurs varient de 0 à 5. Pour chaque mesure recensée, le projet propose une ou plusieurs fonctions selon le type de chaussée et la catégorie de route. Chacun peut, toutefois, développer sa propre formule en fonction de la mesure dont il dispose.
- En ce qui concerne les relevés, et dans la mesure où les fissures ou les défauts de surface englobent tous les deux différents types de dégradations, il a été choisi de développer des indicateurs techniques « pré-combinés » qui associent par le biais de formules proposées par le projet les différentes formes de fissuration (fissures longitudinales, transversales, faïençage...) en un paramètre technique de fissuration, et de même, les différentes formes de dégradations superficielles (arrachements, ressuyages, nids de poule...) en un paramètre technique de dégradations superficielles.

Une fonction de transfert est appliquée à ces paramètres pour obtenir les indicateurs techniques adimensionnels prenant valeurs dans l'intervalle [0 ; 5].

Dans un second temps, à partir de ces indicateurs techniques, le projet s'est efforcé d'élaborer quatre indices de performance combinés, dérivés des IT élémentaires et des IT pré-combinés, qui représentent des aspects importants de la performance des chaussées, adaptés aux usagers de la route et aux opérateurs routiers : indice de sécurité, indice de confort, indice structurel et indice environnemental. Le rôle de chaque indice de performance est de caractériser la contribution de la structure et de l'état de chaussée à la performance de celle-ci. Il est à noter qu'il n'était pas dans l'intention du projet de produire des indices « globaux » de la sécurité routière, du confort de l'utilisateur et de l'impact environnemental, qui sont influencés par de nombreux facteurs hors du champ d'application de ce projet. Le projet propose deux formules pour combiner les IT aux fins de produire un indice de performance. Il s'agit, dans les deux cas, de méthodes de pondération.

4.2.3 Indice structurel

En ce qui concerne l'indice structurel, le projet recommande de retenir les indicateurs techniques suivants : 1) capacité portante ; 2) fissuration ; 3) orniérage et 4) déformations longitudinales. Pour chacun de ces indicateurs, il propose des fonctions de transfert à appliquer à des mesures ou relevés. Ces fonctions s'appliquent :

- Pour la capacité portante, au SCI_{300} (« Surface Curvature Index) ;
- Pour l'orniérage, à la profondeur d'ornière ;
- Pour l'uni, à l'IRI.

L'indicateur de fissuration est déduit par une fonction de transfert d'une somme (majorée à 100%) de l'extension des fissures longitudinales, transversales (précisément de retrait hydraulique) et du faïençage.

4.2.4 Discussion

Le projet COST 354 propose une méthode de moyenne pondérée pour calculer un indice structurel. Celui-ci se fonde sur la déflexion, la fissuration, l'orniérage et les déformations du profil longitudinal. On peut, à plusieurs titres, s'interroger sur ces propositions. Par exemple :

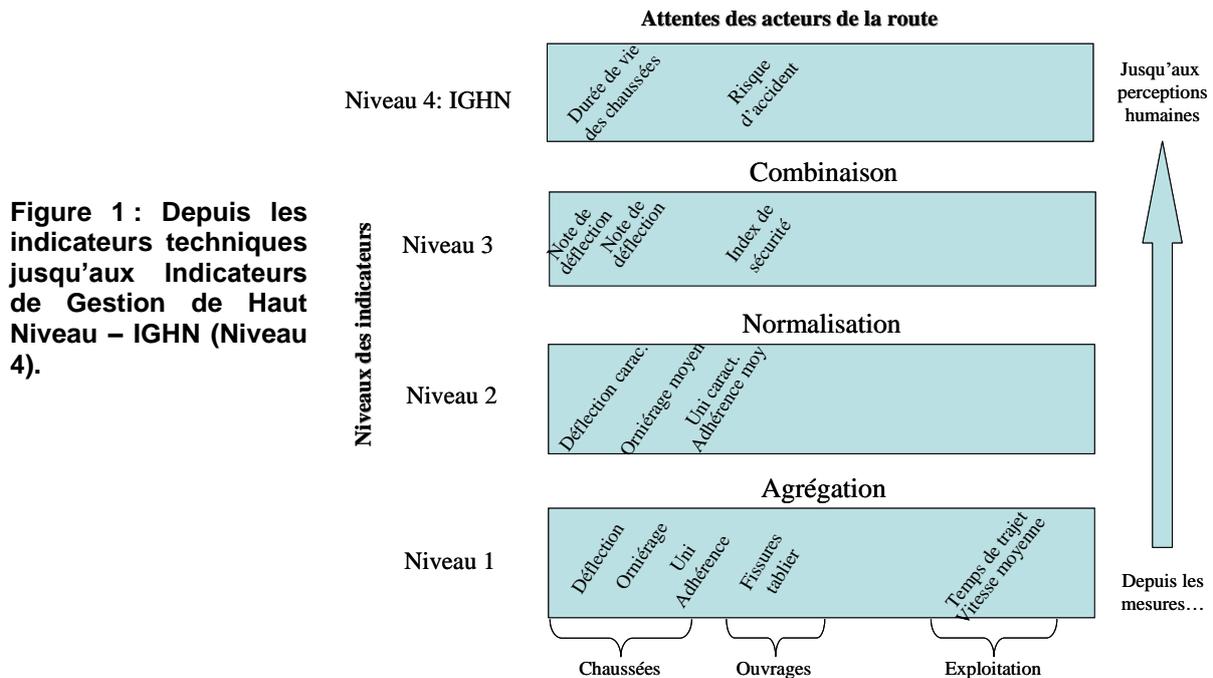
- La déflexion est proposée comme un critère essentiel de l'évaluation structurelle. Or on sait que dans de nombreux pays, la déflexion n'est plus considérée comme appropriée. C'est le cas sur les réseaux principaux en France, mais aussi au Royaume Uni, en Allemagne, etc. L'argument principal pour l'abandon de la déflexion en évaluation structurelle est que, sur la plupart des chaussées à assise traitée, les dégradations de surface apparaissent avant une modification sensible de la déflexion. Et sur les autres chaussées, la sur-consolidation due au trafic lourd peut aller à l'inverse d'une hausse de la déflexion.
- Le calcul d'un indicateur technique de fissuration qui associe toutes les formes de fissuration est-il acceptable ? Peut-on mêler indistinctement les fissures de fatigue (longitudinales dans les bandes de roulement), les fissures de retrait hydraulique (transversales), le faïençage de fatigue (dans les bandes de roulement) ou encore le faïençage thermique (généralisé) ?

La prise en compte de propositions formulées par le projet COST 354 dans le contexte français doit donc s'accompagner d'une sérieuse analyse critique de celles-ci.

4.3 La vision de l'AIPCR

4.3.1 Réflexion du Comité Technique D1

Lors de l'exercice 2003 – 2007, le Comité Technique D1 « Gestion du Patrimoine Routier » a conduit un travail d'investigation et de réflexion sur les « Indicateurs de Gestion de Haut Niveau » (IGHN). Il définit, dans la figure 1 de son rapport [6], présenté ci-dessous, la position des différents types d'indicateurs et indices.



Il est clair, d'après cette figure, que les IGHN du CT AIPCR sont assimilable à ce que nous nommons dans ce rapport, les indices de performance.

Le travail du CT AIPCR D1 s'est organisé en trois questions :

- Quels sont les différents acteurs (stakeholders) de la route ?
- Quelles sont leurs attentes vis-à-vis du réseau routier ?
- Quels indicateurs existent pour mesurer la réponse des réseaux à ces attentes ?

4.3.2 Discussions

On peut s'étonner que le rapport ne mentionne pas explicitement d'indices d'état structurel. En réalité, ceux-ci sont sous-jacents, au moins aux indicateurs sur la durée de vie moyenne du patrimoine et la valeur patrimoniale. Si ces deux indicateurs répondent en effet plus directement aux questions dont se soucient les maîtres d'ouvrage, ils sont en relation étroite avec l'état du patrimoine. Il n'y a toutefois pas d'explicitation directe d'un indice structurel dans le rapport de l'AIPCR D1.

4.4 Les indices américains

Le système américain d'évaluation et de suivi des chaussées repose principalement sur un index : le PCI (Pavement Condition Index = Index d'état des chaussées)).

4.4.1 Pavement Condition Index

Le PCI est un index numérique utilisé pour restituer l'état général des chaussées [7]. Il est largement utilisé en gestion des routes. Le processus de recueil de données et de calcul de l'index a été normalisé par l'ASTM pour les chaussées routières et aéroportuaire. Il s'agit de la norme ASTM D6433 – 11 : "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys". La méthode est basée sur un relevé visuel des types, de l'extension et de la gravité des dégradations de surface des chaussées. Le résultat de l'analyse est une valeur numérique entre 0 et 100, 100 représentant la meilleure condition possible et 0 représentant la pire condition possible.

Le catalogue de dégradations de chaussée considérées pour calculer l'index est extrêmement complet :

- L'uni longitudinal
- Le faïençage
- Le ressuage
- La fissuration en blocs
- Les déformations
- Les bourrelets
- Les affaissements
- Les fissurations de rive
- Les dégradations et remontées de joints
- Les décalages d'accotements
- Les fissures longitudinales et transversales
- Les "rustines" et les tranchées
- Le glaçage
- Les nids de poule
- L'orniérage
- Les arrachements
- Les gonflements
- Etc.

Ceci explique que la norme précise que si, pour les petits réseaux, l'inspection peut être systématique, en revanche, pour les réseaux plus larges, on doit procéder par échantillonnage. Schématiquement, la procédure d'obtention du PCI est la suivante :

- Le type, l'étendue et la gravité de la dégradation de chaussée dans chaque section sont enregistrés (selon la méthode ASTM Standard D 5340).
- Le PCI de chaque section est calculé en utilisant une méthode de pénalisation. L'index est initialisé à 100. Partant des valeurs d'extension ou de densité de dégradations, des pénalités sont calculées et soustraites de 100 pour donner la valeur PCI.

4.4.2 L'indice de viabilité, PSI (Present Serviceability Index)

La notion de qualité d'usage de la route (indice de viabilité de la route) est utilisée dans le dimensionnement American, présenté dans le guide AASHTO [10].

L'indice PSI exprime à un moment précis de la durée de vie de chaussée la qualité de la chaussée. Il combine la qualité structurelle de la chaussée (présence de dégradations : fissuration, orniérage) et la qualité d'usage (le confort de conduite, liée à la valeur d'uni). La valeur dominante est l'uni.

Pour estimer la qualité d'usage des routes, l'indice de viabilité actuelle (PSI) a été développé. Il repose sur l'observation individuelle des usagers de la route. Cet index correspond au niveau de dégradations de la chaussée et leurs effets perçus par les usagers, il varie en fonction de la qualité globale de la chaussée entre 0 (niveau impossible) à 5 (niveau excellent).

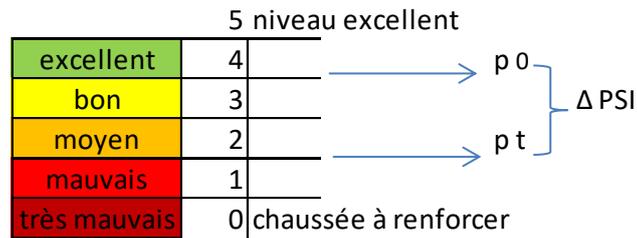


Figure 2 – Classes de l'indice de viabilité

La valeur **p_t** désigne la qualité minimum, qui est encore acceptable à la fin de la durée de vie de la chaussée, avant que le renforcement ou la réfection de la couche de roulement de la section soit nécessaire. Elle est choisie en fonction du type de la voie (autoroute principale : >2,5 ; autoroute secondaire : 2, ...).

Les seuils ont été obtenus à partir des essais routiers AASHO, effectués sur les circuits de test. Les usagers ont estimé le niveau acceptable du confort de conduite sur les différentes sections. Le tableau suivant présente les résultats obtenus lors des essais AASHO :

P _t indice de viabilité final	Pourcentage des usagers qualifiant la qualité inacceptable
3.0	12%
2.5	55%
2.0	85%

Tableau 3 – Relation p_t et niveau de qualité inacceptable, selon le Guide AASHTO [10]

La valeur **p₀** désigne la qualité minimum nécessaire à la construction. Elle est fixée selon le type de la chaussée (chaussée souple : 4,2 ; chaussée rigide : 4,5).

La valeur **ΔPSI** = diminution de l'indice de viabilité pendant la durée de vie de chaussées, elle est calculée avec la formule suivante : **ΔPSI = p₀ - p_t**.

Dans cette équation, l'écart admis par le concepteur pour les deux états dits initiaux et terminaux est mis en rapport avec les valeurs de référence qui sont 4,2 et 1,5 respectivement. Le p_t est une question d'objectif visé pour le dimensionnement qui doit être fixé par le concepteur ou l'administration routière.

L'index ΔPSI tient compte de l'effet :

- ▶ Du trafic ;
- ▶ Du gel-dégel ;
- ▶ Et des sols compressibles.

La figure de la page suivante présente l'évolution de la valeur PSI selon les différents effets mentionnés ci-avant :

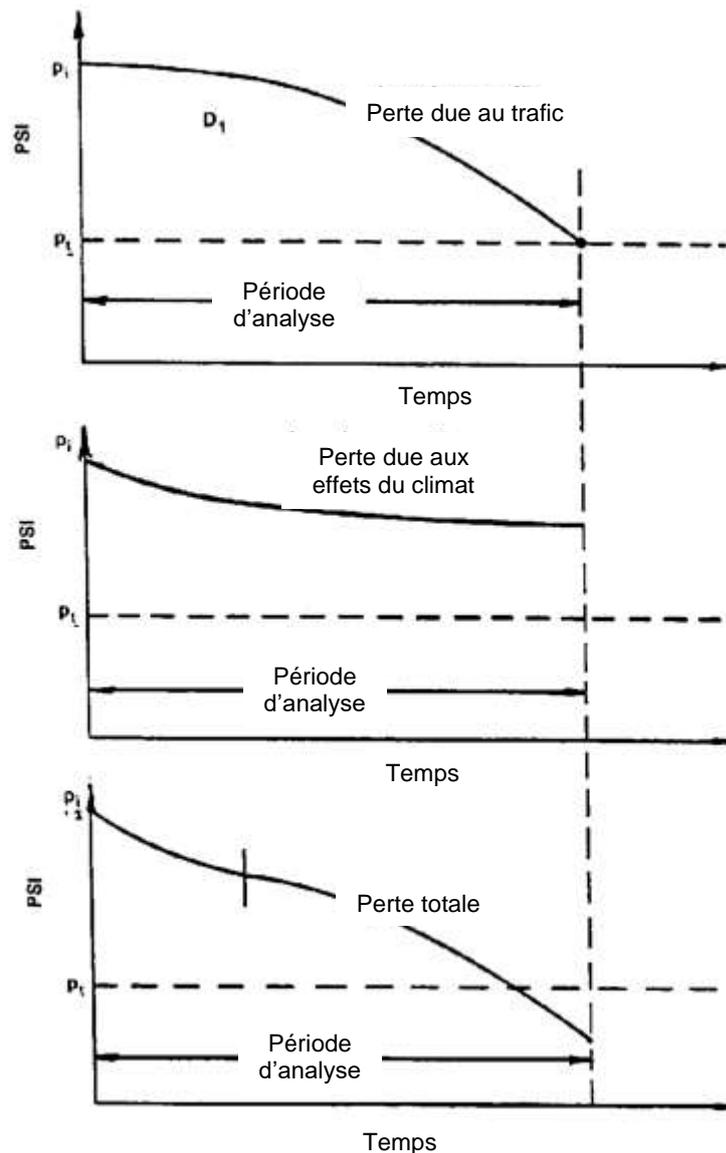


Figure 3 – L'évolution de la valeur PSI en fonction de l'âge de chaussée [[10]

4.4.3 Discussion

En France, l'évaluation des chaussées par échantillonnage a été écartée depuis toujours. Cela tient principalement à deux raisons :

- D'une part, les réseaux français sont très hétérogènes : les sols sont particulièrement variés, les types de chaussée et leur dimensionnement ne le sont pas moins ; les structures le sont encore plus du fait des entretiens survenus régulièrement ;
- D'autre part, la méthode par échantillonnage ne permet pas d'appliquer en aval, et en utilisant les mêmes données, un système d'aide à la programmation efficace. Ce n'est pas parce qu'une section témoin requiert une intervention dans un certain délai que toutes les sections similaires devront être traitées de façon identique.

Par ailleurs, on notera le caractère extrêmement exhaustif du relevé de dégradations requis pour calculer le PCI. On comprend que l'ASTM recommande de ne l'appliquer que sur des petits réseaux ou des sections témoins.

5 Conclusions

Le présent rapport fait le point sur les indices actuels d'état structurel des chaussées. Il n'était bien sûr pas possible d'être exhaustif, mais différentes approches entrant dans le périmètre défini pour le projet (contexte français ou analogue) ont été analysées : les réseaux nationaux français (RN et autoroutes concédés), les réseaux locaux (départements, villes, communes), les réseaux étrangers comparables (Allemagne). On a également pris en compte des réflexions et études conduites sur le même sujet aux plans européen (projet COST 354) et international (AIPCR, indices américains).

A ce stade de l'analyse, il apparaît une certaine diversité dans ces approches, et dans les méthodes de calcul d'indices d'état structurel. Néanmoins, derrière cette diversité, certaines grandes constantes se distinguent, notamment :

- Tous les indices structuraux s'appuient d'abord sur le traitement des dégradations de surface pertinentes : fissuration de fatigue et déformations du profil en travers ; c'est le cas de tous les indices répertoriés en France, c'est aussi les cas des indices allemands, du PSI, et des indices considérés par le projet COST 354 et le document de l'AIPCR ; on pourrait sans aucun doute étendre cette remarque à tous les indices connus s'appliquant aux réseaux comparables (pays européens, notamment)
- Certains indices prennent en compte l'uni longitudinal, d'autres pas ; deux critères semblent jouer dans ce choix :
 - La pertinence accordée à ce critère, pertinence qui dépend dans une grande mesure de l'indicateur choisi pour caractériser l'uni, et du type de chaussée qu'on caractérise ; s'il est exact que sur les chaussées à assise non traitée, les indicateurs classiques (CAPL, NBO) sont pertinents, et qu'ils ne le sont pas sur les chaussées à assise traitée, de nouveaux développements tendent à montrer que d'autres formes de traitement de l'uni longitudinal (QSPO, par exemple) sont porteurs d'informations structurelles sur ces assises ;
 - Le coût ou la difficulté à mettre en œuvre la mesure de ce paramètre ; toutefois, l'émergence de technologies qui permettent de mesurer l'uni sans contrainte opérationnelles fortes (notamment sur la vitesse) et l'arrivée des véhicules multifonction change considérablement la donne ;
- Certains indices prennent en compte la déformabilité de surface (déflexion), d'autres pas ; Depuis une trentaine d'années, cet indicateur qui était au centre des calculs d'indice structurel en ont disparu. Les principales raisons évoquées sont :
 - La déflexion est plus sensible à des facteurs non structuraux (température de la chaussée, état hydrique, sur-compactage du au trafic, etc.) qu'à l'état structurel proprement dit, du moins lorsque celui-ci est bon, moyen ou médiocre ;
 - La déflexion devient sensible à l'état structurel lorsque celui-ci atteint une situation grave ; or, dans ces cas, les dégradations de surface ont évolué bien avant que la déflexion ait montré une variation sortant des plages de variation « normales ».

Par ailleurs, il existe deux grandes familles de méthodes de calcul des indices structuraux à partir des indicateurs évoqués ci-dessus :

- Les méthodes les plus répandues combinent ces indicateurs dans une somme pondérée ; il en existe des variantes, comme les méthodes de pénalisation ; le PSI en est un exemple, de même que plusieurs méthodes appliquées sur les réseaux locaux en France ;
- Les méthodes technico-financières, qui passent par une analyse des dégradations pour déterminer des travaux à faire et chiffrent ensuite ces travaux pour en déduire une note ; on n'a trouvé ce type de méthodes qu'en France (IQRN, IQRA).

6 Références

- [1] « Le projet Durée de Vie des Chaussées », V. HARDOUIN, Revue RGRA n°938 – Juillet / Août 2016
- [2] "Evaluation du Réseau français de routes nationales basée sur le relevé de dégradations de surface", Ph. LEPERT, M.-T. GOUX, 4ème Congrès International de la route, Rabat, 2 Juin 1994
- [3] « Evaluer l'état des routes secondaires : pourquoi et comment », Ph. LEPERT, A. RIOUALL, N. FREITAS, Bulletin de Liaison des LPC n° 226, Mai-Juin 2000, pp. 3-12
- [4] Coopération franco-allemande : **Thème 4 « Les systèmes de gestion des routes »**

- [5] « Performance Indicators for Road Pavements - Final Report », www.cost.esf.org, July 2008, COST action n° 354
- [6] « Indicateurs de Gestion de Haut Niveau – Rapport », AIPCR, CT D1, Novembre 2011
- [7] "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys", ASTM D6433 – 11 ;
- [8] Rapport d'information n° 458 (2016-2017) de M. Hervé MAUREY, fait au nom de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable, déposé le 8 mars 2017 ;
- [9] Les relations entre l'état et les sociétés concessionnaires d'autoroutes, rapport Cour des comptes, juillet 2013 ;
- [10] AASHTO guide for design of pavements structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993 ;
- [11] Mandat de recherche VSS 2004/703 sur demande de l'Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)- Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées Novembre 2012 ;
- [12] Directives pour la mesure de l'uni des routes et l'étalonnage des appareils, rapport de la Banque Mondiale, Sayers, Gillespie, Patterson, 1986