

Application du modèle GiRR pour la programmation de travaux d'entretien au Monténégro

Pierre JOUBERT,
François BRILLET*,
Daniel MEIGNEN

Laboratoire central des ponts et chaussées

■ RÉSUMÉ

Le LCPC est intervenu en appui du bureau d'études BCEOM pour mettre en place un système de gestion de l'entretien des chaussées pour le compte de la direction des Routes du Monténégro. L'étude a porté sur les 1 827 km du réseau national de ce pays. Les interventions du LCPC ont porté sur la création d'une banque de données routières, son alimentation et son analyse par des méthodes statistiques et cartographiques, puis sur l'application de logiciels spécialisés : le modèle HDM-4 (*Highway Development and Management*) pour l'optimisation technique, économique et budgétaire des stratégies d'entretien, et le logiciel LCPC GiRR (gestion intelligente des réseaux routiers) pour la programmation pluriannuelle des travaux. À cette occasion, GiRR a été traduit en anglais et des grilles de décisions propres au contexte ont été mises au point. La méthode VIZIR, créée par le LCPC pour les réseaux à faible trafic, a servi de base aux relevés visuels, à la notation d'état des chaussées et à l'application des grilles de décision.

Application of the *GIRR* model for scheduling maintenance work in the republic of Montenegro

■ ABSTRACT

The LCPC Laboratory has backed up the BCEOM consultant in a project to implement a pavement maintenance management system on behalf of Montenegro's Roads Directorate. This study has involved the 1,827 km of the national Montenegrin network. LCPC's work have focused on creating a road databank, providing input, performing analyses by means of statistical and cartographic methods, and then setting up specialized software applications, i.e. : the HDM-4 (Highway Development and Management) model for the technical, economic and budgetary optimization of maintenance strategies ; and the LCPC-GiRR package for the multi-year works program. For this occasion, GiRR (gestion intelligente des réseaux routiers) was translated into English and decision grids specific to the given context were designed. The VIZIR method, created by LCPC for low traffic networks, served as the basis for the visual inspections, pavement state condition assessment and decision grid applications.

* AUTEUR À CONTACTER :

François BRILLET
francois.brillet@lcpc.fr

INTRODUCTION

■ Les outils de gestion de l'entretien des chaussées

Parmi les actions réalisées par le LCPC à l'étranger dans le cadre des appuis aux bureaux d'études, les outils de gestion de l'entretien des chaussées ont, depuis une vingtaine d'années, joué un rôle particulièrement important. Ces actions se sont déroulées dans de nombreuses régions du monde [1, 2] et leur nature a connu une évolution parallèle à celle des techniques disponibles, tant pour les moyens de mesure que pour le traitement de l'information.

La mise en place d'un système de gestion de l'entretien des chaussées (appelé communément PMS pour *Pavement Management System*) comporte en fait diverses étapes concernant la collecte, le stockage et l'exploitation de données :

- identification des sections du réseau,
- relevés de terrain (géométrie et dégradations),
- mesure des indicateurs d'état (uni, déflexion),
- caractérisation des sols et matériaux en place,
- collecte de données diverses (trafic, historique des structures de chaussée, etc.),
- mise en banque des données,
- production de documents graphiques synthétiques (cartes, schémas d'itinéraires),
- diagnostic de l'état du réseau,
- choix des stratégies techniques et budgétaires à long terme,
- choix des solutions d'entretien,
- définition des programmes de travaux à court terme.

Suivant les contrats, le LCPC a été mis à contribution pour tout ou partie de ce schéma ; pour l'étude décrite ici, l'action du LCPC a porté sur tous les points, à l'exception des mesures de déflexion et des sondages.

■ Le contexte du Monténégro

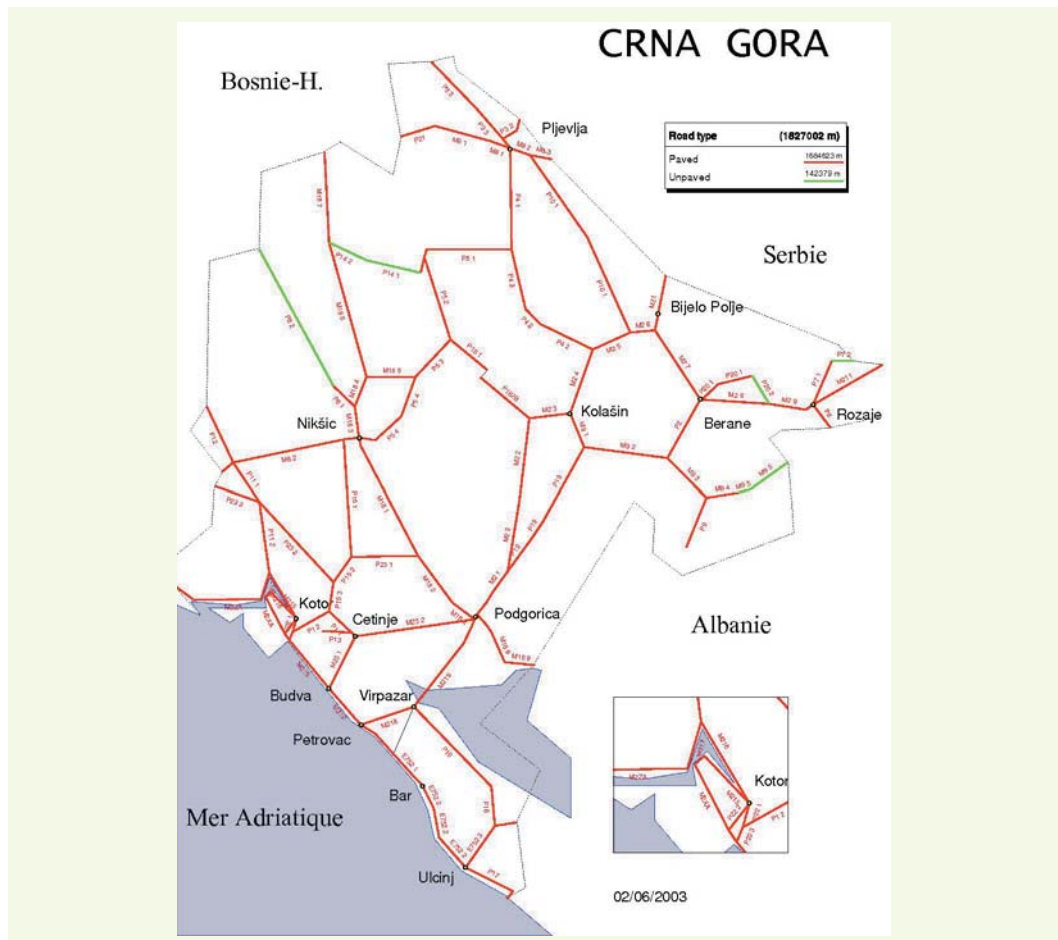
L'étude du réseau routier du Monténégro se situe dans le cadre d'une « étude de faisabilité », financée par l'Agence européenne de reconstruction (EAR) et confiée au bureau d'études BCEOM (société française d'ingénierie) à la suite d'un appel d'offres international ; outre le LCPC et le BCEOM, cette étude faisait appel au consultant danois COWI, chargé des mesures de déflexion, ainsi que de la réalisation et de l'exploitation des sondages. Le bénéficiaire de l'étude a été le département pour l'Entretien de l'infrastructure routière et ferroviaire (DMRRI = *Department for the Maintenance of the Road and Railway Infrastructure*), qui dépend du ministère des Affaires maritimes et des Transports. Pour des raisons historiques, cette administration est souvent désignée comme « direction des Routes » (*Road Directorate*). Cette étude s'est étalée sur presque un an, entre septembre 2002 et juillet 2003.

Le Monténégro (*Crna Gora*, littéralement « Montagne Noire ») est un pays qui, malgré sa taille (13 800 km² pour 615 000 habitants), a connu une histoire qui lui est propre : de royaume indépendant, il est devenu en 1919 une composante de la Yougoslavie. De 1991 à 2006, il est resté associé à la Serbie avant de s'engager sur la voie d'une nouvelle indépendance. Ce parcours lui a valu de participer à une économie étatisée, puis aux combats qui ont suivi l'éclatement de la Yougoslavie ; bien que relativement épargné par les destructions, le Monténégro a partagé avec la Serbie dix ans d'économie de guerre et d'embargo international, ce qui explique en grande partie l'état actuel de son économie et de son réseau routier.

Le réseau étudié (**figure 1**) totalise 1 827 km, dont 1 685 km revêtus. Les trafics sont dans l'ensemble faibles (moins de 1 000 véhicules par jour pour 1 180 km), en dehors des axes principaux qui sont :

- le débouché de la Serbie vers la mer, *via* Podgorica (capitale du Monténégro) ;
- la route côtière entre les principales zones touristiques (Herceg-Novi, Kotor et Budva) et le principal port (Bar) ;
- les liaisons entre la capitale et les deux autres grandes villes (Cetinje et Nikšić).

figure 1
Le réseau routier
du Monténégro.



Le trafic transfrontalier vers l'Est (Albanie) reste très faible, et celui vers l'Ouest (Bosnie-Herzégovine et Croatie) est loin d'avoir retrouvé son niveau d'avant la mise en place des frontières.

Le relief du pays est caractérisé par des montagnes moyennes, culminant à 2 500 m, et dont les directions de plissement, parallèles à la mer, constituent des obstacles à l'itinéraire nord-sud (**figure 2**), qui doit franchir de nombreux cols ; on note aussi la présence de nombreux tunnels, le plus souvent de faible longueur.

figure 2
La route M2 entre la
capitale et la mer.



Bien qu'un projet de réorganisation du réseau soit d'actualité, la nomenclature de celui-ci reste celle de l'ancienne Yougoslavie ; le réseau étudié se répartit en deux classes, les routes Magistrales (883 km, y compris la route Petrovać-Albanie, qui est désignée dans la banque de données par son numéro européen, E752) et les routes Provinciales (964 km).

La redistribution des flux de trafic fait que ce classement a perdu de sa pertinence ; de plus, le bornage est unique pour chaque itinéraire, avec pour conséquence des nombres à quatre chiffres sur les bornes kilométriques ; ainsi la route M2, entre les frontières italienne et bulgare, totalisait plus de 1 500 km et traversait successivement toutes les Républiques yougoslaves. D'où le principe choisi de traiter dans la banque de données chaque section de route comme un itinéraire indépendant, avec son propre bornage kilométrique (qui reste « fictif », car non matérialisé sur le terrain).

LE SYSTÈME D'INFORMATION ROUTIÈRE

■ Description générale

Les relevés sur le terrain ont été réalisés suivant la méthode VIZIR [3], avec un appareil VIZIROAD. Les mesures de déflexion ont été réalisées au *Falling Weight Deflectometer* (FWD), et les mesures d'uni à l'aide d'un *Bump Integrator* embarqué.

Les données sont stockées dans un système d'information structuré utilisant le logiciel ROUTEN [4].

Les données extraites de ROUTEN ont servi à alimenter les trois logiciels d'aide à la décision, chacun retenu pour ses performances particulières vis-à-vis de la fonction à mettre en œuvre :

- le modèle HDM (HDM-4, version 1.3) [5] a été utilisé pour faire une analyse technico-économique des scénarios possibles et déterminer *in fine* les niveaux optimaux des budgets d'entretien (module d'analyse de stratégies) ;
- GiRR-E (module d'évaluation et de suivi) [6] a servi à évaluer globalement l'état du réseau, notamment en distinguant l'état de la surface de celui de la structure ;
- GiRR-P (module de programmation) [6] a permis de déterminer un premier programme pluriannuel d'entretien précisant, par section de 200 m, les travaux à exécuter et les délais optimaux des interventions.

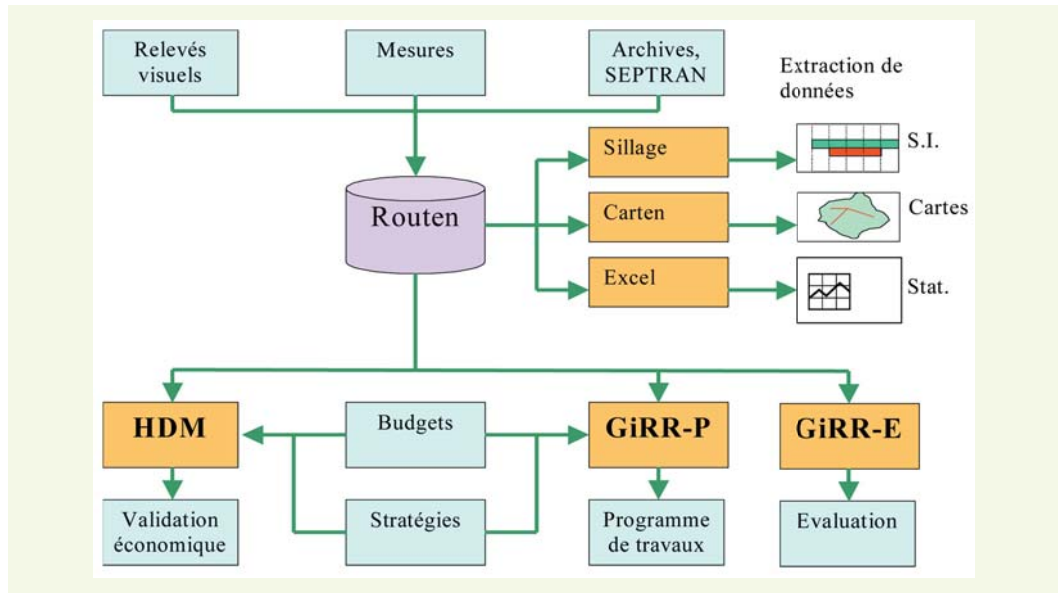
ROUTEN, GiRR-E et GiRR-P sont implantés au siège de la direction des Routes et peuvent être mis en œuvre chaque année pour la programmation de l'entretien.

Le système, dont les finalités sont clairement d'évaluer l'état du patrimoine routier, de bâtir une politique d'entretien et d'aider à la programmation des travaux qui en découle, est organisé autour d'un circuit (figure 3) dont le cœur est la banque de données routières (BDR).

Les outils « amont » sont constitués par :

- les appareils de relevé visuel ;
- un GPS (*Global Positioning System*) pour la mesure des coordonnées géographiques et leur exploitation (calcul des déclivités et sinuosités) ;
- un *Bump Integrator* pour la mesure de l'uni (valeurs exprimées en échelle IRI = *International Roughness Index*) ;
- un FWD pour la mesure et l'exploitation des déflexions ;
- le logiciel SEPTRAN pour l'exploitation des données de circulation ;
- en outre, certaines données disponibles sous forme écrite sont saisies directement dans la BDR (données sur les matériaux, l'historique des travaux, etc.).

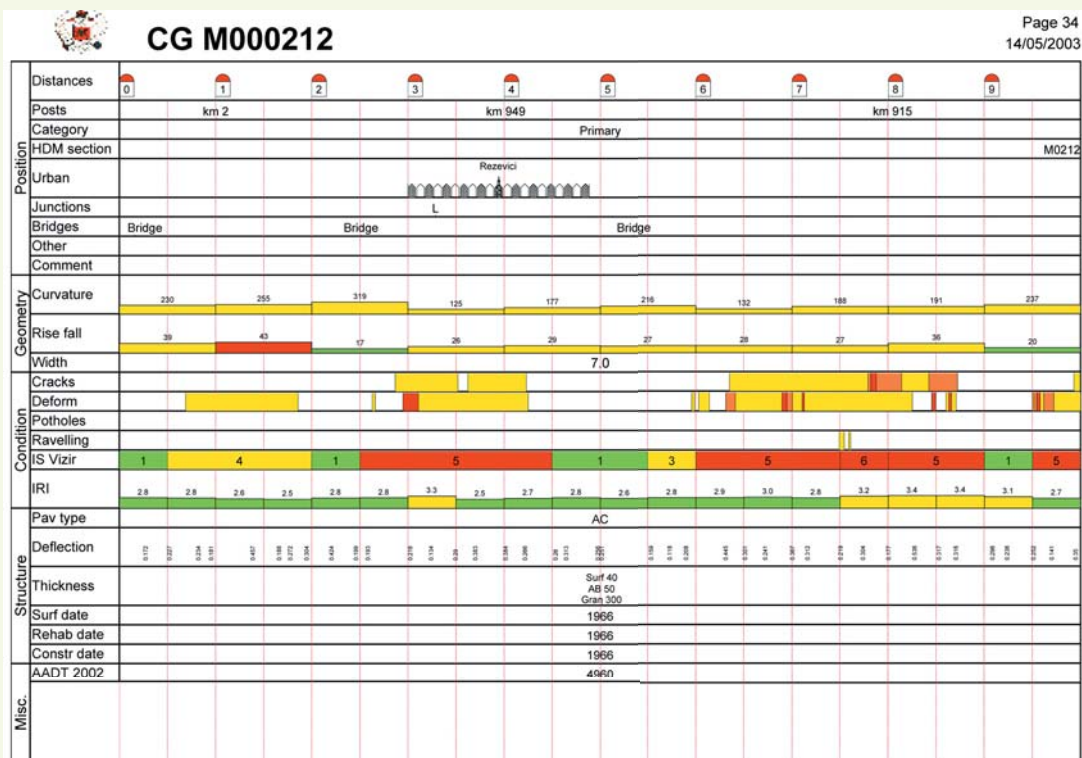
figure 3
Le circuit des données.



Les outils « aval » comprennent :

- les utilitaires graphiques SILLAGE [1] et CARTEN [1], qui restituent les données de la banque sous la forme de schémas d'itinéraires (figure 4) et de cartes (cf. figure 1) ; notons que ces outils ont été utilisés pour les besoins internes de l'étude, mais n'ont pas été mis à la disposition de la direction des Routes ;
- les fonctions graphiques et statistiques de MS-Excel ;
- les logiciels HDM, GiRR-E et GiRR-P, spécifiques au métier de gestion de l'entretien routier.

figure 4
Exemple de schéma
SILLAGE (route M2
section 12, km 0 à 10).



■ Gestion des données routières : ROUTEN

Le logiciel de gestion de la BDR est ROUTEN [4] (on note que, dans la majorité des études semblables, le logiciel VISAGE [1] a été utilisé, mais il n'est pas disponible en version Windows autrement qu'en langue française). Ce logiciel, réalisé par le Laboratoire régional des ponts et chaussées de Saint-Brieuc, utilise des fichiers de données au format CSV (*Comma Separated Values*) qui est également géré par MS-Excel, ce qui permet d'effectuer toutes les opérations permises par ce tableur directement à partir de la BDR : calculs statistiques, graphiques, copies et collages, etc.

Le principe de base de ROUTEN consiste à exploiter simultanément plusieurs fichiers de données, correspondant à autant de « rubriques » décrivant différentes natures de données ; chaque rubrique possède son propre découpage (par exemple l'indice d'uni est calculé tous les 500 m, mais une section de trafic peut être longue de 10 km ou plus ; *a contrario*, les dégradations de chaussée peuvent concerner une zone très courte, une dizaine de mètres par exemple). Cependant, tous les fichiers partagent un référentiel commun, contenu dans un fichier comportant la liste des routes et les points de repère qui les jalonnent, et qui est complété par un référentiel des coordonnées géographiques si l'on utilise CARTEN.

La **figure 5** montre un exemple de visualisation de données dans ROUTEN : les données d'une rubrique (en l'occurrence, « ALIGN » qui contient les paramètres du tracé) sont affichées comme dans un tableur, chaque ligne caractérisant une longueur donnée de route (ici 1 000 m) et chaque colonne une variable soit d'identification (nom de la route, repérage de début, repérage de fin, date de la mesure), soit de données (« CURV » pour « courbure » : sinuosité, « RF » pour « rise and fall » : déclivité). La première ligne de chaque itinéraire apparaît sur fond de couleur.

Si ROUTEN ressemble à un tableur, les fonctions qu'il comporte sont différentes. En effet, ROUTEN est conçu pour travailler parallèlement à MS-EXCEL et apporter des compléments propres au « métier » de gestion de données routières ; parmi ceux-ci, on peut citer :

- la vérification de la cohérence du repérage (qui détecte les erreurs telles que le chevauchement – plus d'une donnée de même nature pour un même point du réseau – ou les non-conformités par rapport au référentiel) ;
- le sectionnement dynamique (ou « ressectionnement ») qui permet de combiner dans un même fichier plusieurs « rubriques » sur la base d'un sectionnement commun (cette fonction est utilisée en particulier pour la création du fichier d'importation de HDM).

figure 5
Exemple d'affichage de données dans ROUTEN.

	ROAD	RPS	ABSS	RPE	ABSE	IONTI	YEAR	CURV	RF
1	CG E0752 1	0	0	1	0	10	2002	272.2	66
2	CG E0752 1	1	0	2	0	10	2002	328	37
3	CG E0752 1	2	0	3	0	10	2002	107.7	23.6
4	CG E0752 1	3	0	4	0	10	2002	583.6	23
5	CG E0752 1	4	0	5	0	10	2002	362.5	54.2
6	CG E0752 1	5	0	6	0	10	2002	532.1	53.8
7	CG E0752 1	6	0	7	0	10	2002	310.9	52.8
8	CG E0752 1	7	0	8	0	10	2002	370	58.8
9	CG E0752 1	8	0	9	0	10	2002	598.7	59.3
10	CG E0752 1	9	0	10	0	10	2002	186.5	37
11	CG E0752 1	10	0	11	0	10	2002	341.5	40.6
12	CG E0752 1	11	0	12	0	10	2002	93.4	39.4
13	CG E0752 1	12	0	13	0	10	2002	138.4	19.9
14	CG E0752 1	13	0	14	0	10	2002	96	19.7
15	CG E0752 1	14	0	15	0	10	2002	329.7	12.2
16	CG E0752 1	15	0	16	0	10	2002	101.2	14.9
17	CG E0752 1	16	0	17	0	10	2002	607.9	34
18	CG E0752 1	17	0	18	0	10	2002	82.1	26.5
19	CG E0752 1	18	0	19	0	10	2002	91.6	16.3
20	CG E0752 1	19	0	19	458	10	2002	68.1	5.8
21	CG E0752 2	0	0	1	0	10	2002	198	14.4
22	CG E0752 2	1	0	2	0	10	2002	31	14.4
23	CG E0752 2	2	0	3	0	10	2002	250.9	9

■ Les relevés de terrain

L'appareil associe plusieurs éléments (figure 6) :

- un ordinateur portable, équipé des logiciels de configuration, de saisie et d'exploitation des relevés ;
- deux claviers additionnels ;
- un odomètre branché sur le compteur de vitesse du véhicule ;
- un capteur GPS.

Les claviers latéraux peuvent être configurés selon les besoins : la figure 7 montre un exemple de configuration permettant de relever en un seul passage à gauche les éléments marquants du tracé (carrefours, agglomérations, ouvrages, etc.) et à droite les dégradations de chaussée.

Dans la présente étude, les dégradations de chaussée ont été relevées selon la méthode VIZIR [3] : chaque type de dégradation est repéré selon son niveau de gravité (1 à 3), et une note globale IS (de 1 à 7 selon un ordre croissant de gravité ; voir chapitre sur GiRR) est calculée par tronçon de 500 m. Le tableau 1 donne la liste des rubriques saisies, qui pour la plupart comprennent une donnée numérique et une donnée textuelle.

figure 6
L'appareil en action.



figure 7
Exemple de grille de saisie.

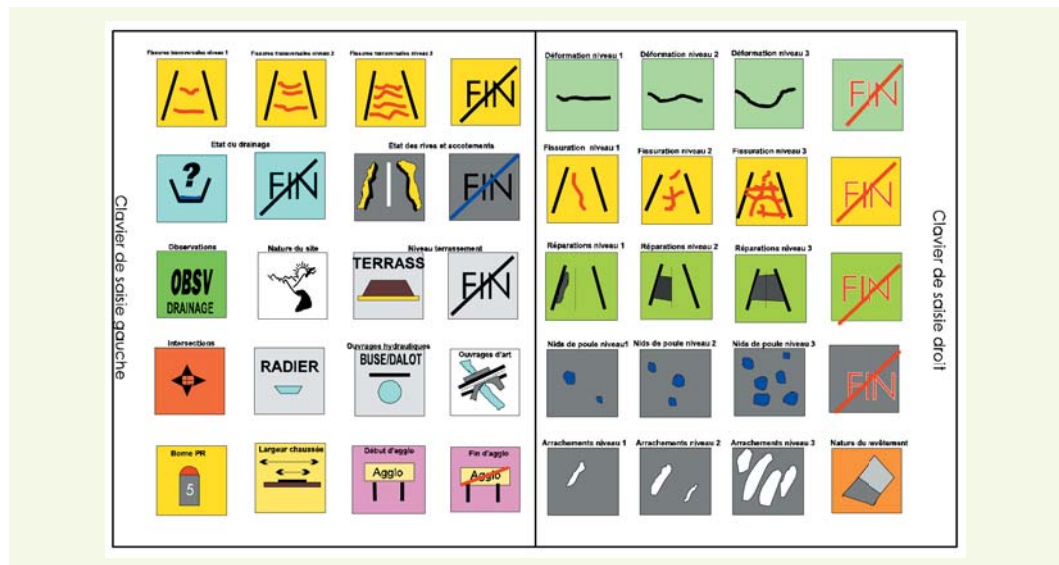


tableau 1
Liste des rubriques
relevées sur le terrain.

Rubrique	Numérique	Texte
Bornes	Numéro	Commentaire
Site	Code	Site
Intersections		Description
Accotement	Largeur	
Chaussée	Largeur	
Vitesse limite	Limite	
Nombre de voies	Nombre	
Aspect de surface		Aspect
Déformations/orniérage	Gravité	Commentaire
Fissuration	Gravité	Commentaire
Réparations	Gravité	Commentaire
Nids de poules	Gravité	Commentaire
Arrachements	Gravité	Commentaire
Nature couche de roulement		Type
Nature fossés	Code	Type
Agglomérations		Nom
Dentelle de rive	Gravité	Commentaire
Décalage accotement	Gravité	Commentaire
Pont	Longueur	Type
Commentaire 1		Commentaire
Commentaire 2		Commentaire
VIZIR	Indice	

L'appareil assure en outre les fonctions suivantes :

- calcul des paramètres de tracé (sinuosité et déclivité) pour chaque kilomètre à partir des coordonnées géographiques fournies par le GPS ;
- exploitation des données d'un longitudinal mesurées au *Bump Integrator* (appareil embarqué enregistrant les variations de distance entre l'essieu et la caisse du véhicule), fournissant un indice qui est converti en IRI selon une formule établie lors de la procédure d'étalonnage.

■ Les autres données de la banque

Les relevés de terrain servent d'abord à créer le référentiel (routier et géographique), puis à remplir les rubriques faisant l'objet des relevés et des exploitations propres à l'appareil. Les autres rubriques peuvent ensuite être saisies manuellement ou être importées *via* des fichiers produits par d'autres appareils (déflexions) ou logiciels (données de trafic).

› Structures et portance des chaussées

Les données structurelles proviennent de deux sources :

- les mesures réalisées au FWD,
- les constatations faites lors des sondages réalisés dans les chaussées.

Ce travail a été confié au bureau d'études danois COWI, et les données suivantes ont été importées dans la banque (rubrique « Structure ») :

- code indiquant le côté de la route concerné,
- déflexion FWD,
- module du sol calculé à partir de la mesure FWD,
- CBR (*California Bearing Ratio* = indice de portance) du sol calculé à partir de la mesure FWD,
- épaisseur de la couche de surface (mesurée lors des sondages),
- épaisseur des assises traitées au bitume (mesurée lors des sondages),
- épaisseur des assises non traitées (mesurée lors des sondages),
- CBR du sol mesuré sur des échantillons prélevés lors des sondages,
- SN (nombre structurel, égal à la somme des épaisseurs des couches de chaussée pondérées par un coefficient dépendant du matériau, selon les règles définies dans HDM).

› **Données historiques**

L'exploitation des archives disponibles a permis d'affecter à chaque section de route une date de construction, une date pour le dernier renforcement et une date pour la couche de surface.

› **Données sur les routes en terre**

Les routes en terre ont fait l'objet de prélèvements qui ont été analysés dans un laboratoire local, afin de déterminer la granulométrie et les limites d'Atterberg.

› **Données de trafic**

Le logiciel SEPTRAN, développé et appliqué par le BCEOM, a permis de fournir à la BDR les volumes de trafic de chaque section de route ; cet outil permet, à partir des données démographiques, des résultats d'enquêtes « origine-destination », et des niveaux de contrainte des itinéraires, de projeter le volume et la croissance future du trafic, pour différents scénarios de croissance économique. Ces volumes concernent le trafic total de l'année de référence (2002), ainsi que sa composition :

- voitures particulières,
- camionnettes,
- autobus,
- camions légers (2 essieux, moins de 3,5 tonnes),
- camions moyens (2 essieux, plus de 3,5 tonnes),
- camions à trois essieux,
- ensembles à plus de trois essieux.

Des projections de trafic à plusieurs échéances (2010, 2015 et 2025) et selon plusieurs hypothèses de croissance ont également été mises en banque.

Une répartition en « classes de trafic » a été établie, sur la base du trafic total 2002 et des limites suivantes :

- T0 au-dessus de 6 000 véhicules par jour,
- T1 entre 3 000 et 6 000,
- T2 entre 1 000 et 3 000,
- T3 entre 300 et 1 000,
- T4 entre 100 et 300,
- T5 au-dessous de 100.

› Données diverses

Le statut des routes (Magistral ou Provincial) ayant perdu de sa pertinence, un projet de hiérarchisation du réseau en trois niveaux (Primaire, Secondaire et Tertiaire), fondé sur les niveaux de trafic et les objectifs de desserte du territoire, a été établi. Une rubrique de la banque lui est dédiée.

■ Analyse des tendances générales

› Classement des routes

On dispose dans la banque de trois modes de classement des routes : le statut officiel, le projet de hiérarchisation (au sein duquel on a distingué les routes non revêtues, qui sont toutes « tertiaires »), et enfin les classes de trafic définies précédemment.

La **figure 8** montre que la plupart des routes « magistrales » sont classées en « primaires », et la plupart des « provinciales » en « tertiaires », la classe « secondaire » se répartissant entre les deux ; il reste cependant 88 km de routes magistrales classées en tertiaires (dont 35 km non revêtus) : il s'agit d'itinéraires autrefois structurants, mais qui ont perdu cette fonction (M8 vers la Bosnie et M9 vers le Kosovo).

La **figure 9** croise le classement hiérarchique avec les niveaux de trafic : si les niveaux T0 et T1 (plus de 3 000 v/j) appartiennent au réseau primaire, et si toutes les routes sont revêtues à partir de T2 (1 000 v/j), les niveaux T2 à T5 sont représentés dans les trois catégories ; cela est dû à l'existence d'itinéraires concurrents pour certaines liaisons, et au fait que le classement hiérarchique anticipe les effets de certains aménagements projetés.

figure 8

Répartition des routes entre statut et classement.

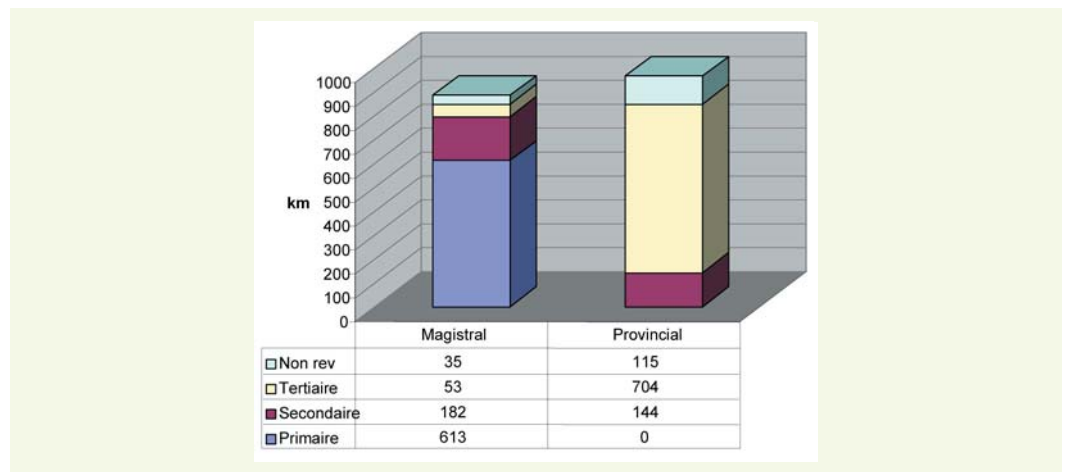
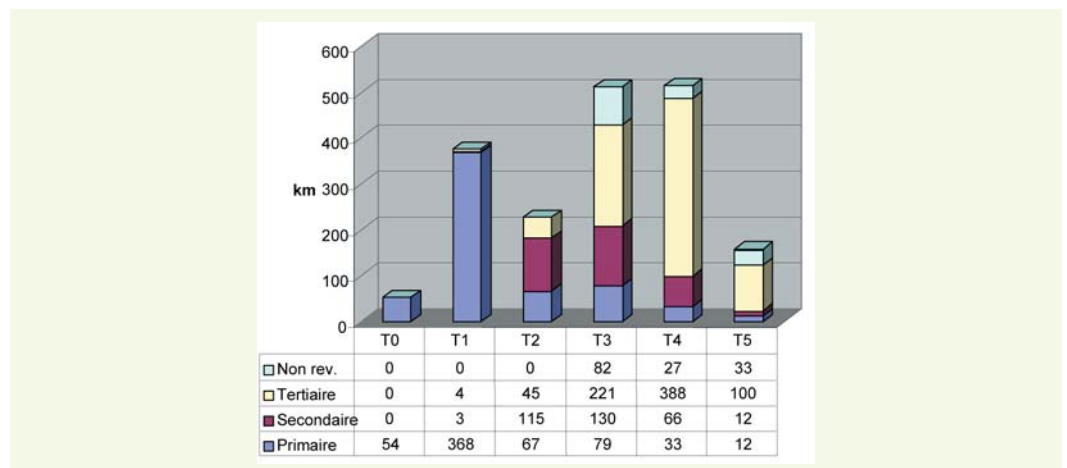


figure 9

Répartition des routes entre classement et niveaux de trafic.



› Structures de chaussées

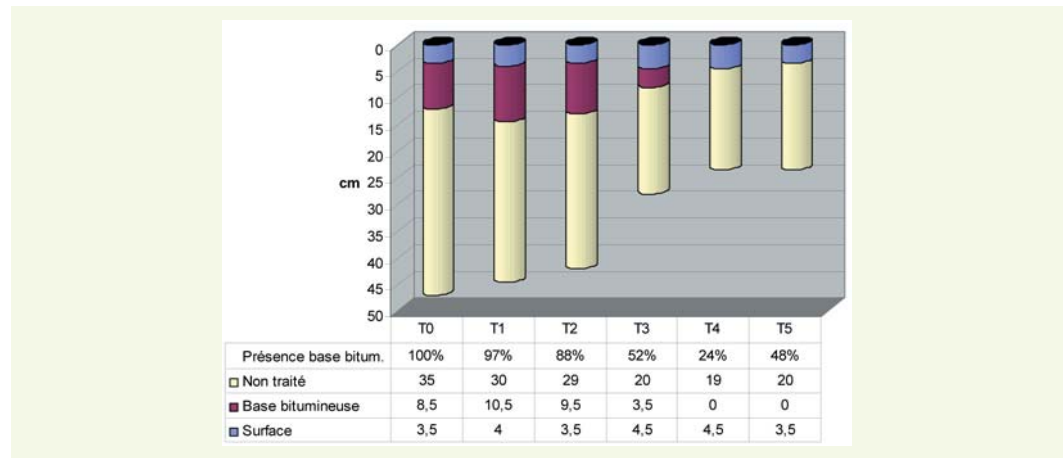
L'inventaire des structures repose sur deux sources de données : le « type de surface » relevé visuellement en continu et les épaisseurs mesurées lors des sondages ; selon le premier critère, les surfaces se répartissent entre :

- 142 km non revêtus (dont seulement 10 km relevés visuellement),
- 346 km en enduits superficiels,
- 1 339 km en enrobés (dont 251 km d'enrobés fins).

L'exploitation des épaisseurs par classe de trafic (**figure 10**) montre l'existence de deux types structuraux, qui se distinguent par la présence d'une couche de base bitumineuse (qui peut correspondre à l'accumulation de plusieurs couches de surface successives), et par le niveau de trafic (à partir de T3 – moins de 1 000 v/j – les bases bitumineuses deviennent rares).

La portance des sols étant relativement élevée (les sols rocheux ou graveleux prédominent, avec un CBR moyen de 48), les structures peuvent être considérées comme correctement dimensionnées dans l'ensemble.

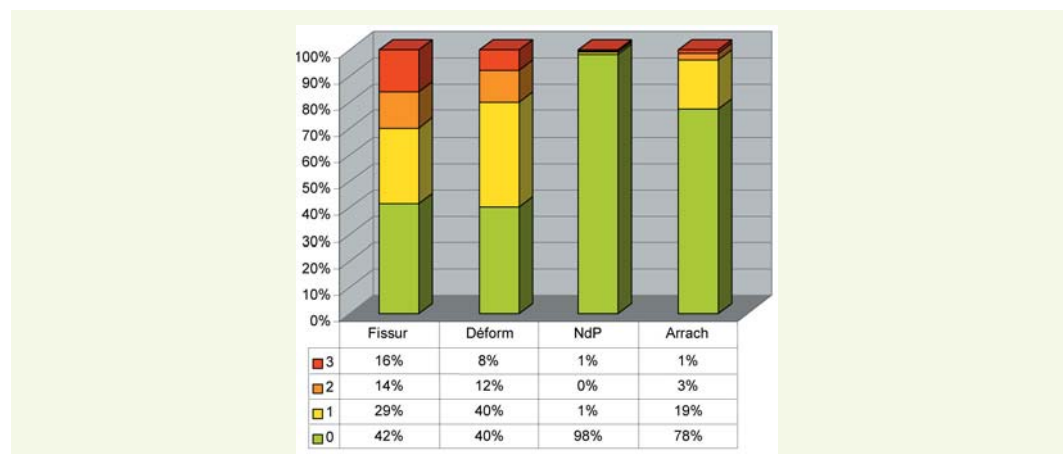
figure 10
Structures de chaussée
par classe de trafic
(médiane de la classe).



› Dégradations

Conformément à la méthode VIZIR, chaque dégradation est relevée en linéaire de chaussée, selon un barème comprenant quatre niveaux, de 0 (absence) à 3 (grave). La **figure 11** montre l'importance relative de ces dégradations sur l'ensemble du réseau revêtu (les réparations et défauts de rive ont aussi été relevés, mais concernent des longueurs assez faibles). On peut en déduire que, globalement, les fissures et déformations présentent une étendue comparable, qui est importante (respecti-

figure 11
Importance relative des
différentes dégradations.

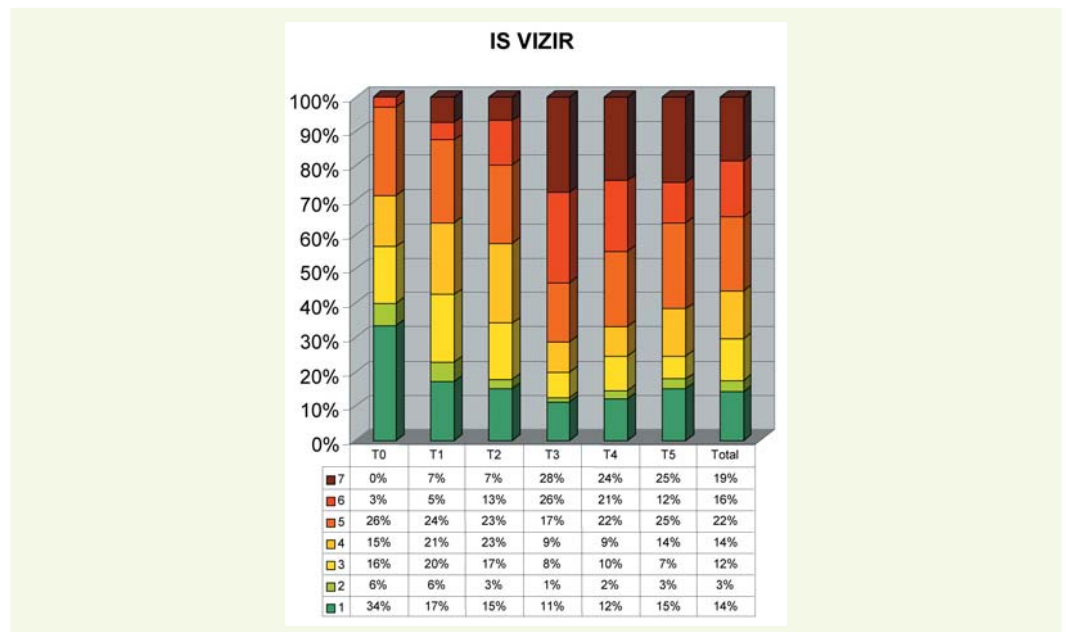


vement 58 et 60 % en linéaire) ; les nids de poules sont bien moins répandus, mais concernent tout de même 2 % du réseau, et la fréquence des arrachements peut être qualifiée de moyenne (22 %, dont 4 % de gravité supérieure à 1).

Les relevés de ces différentes dégradations permettent de calculer, par tronçon de 500 m, une note globale prenant en compte la gravité et l'étendue des déformations et des fissurations ; cette note globale, allant de 1 à 7 par niveaux croissants de gravité, est illustrée par la **figure 12**. Ce graphique peut paraître pessimiste par rapport au précédent, mais il convient de rappeler que les dégradations sont parfois repérées sur des zones très courtes, alors que la note globale est calculée tous les 500 m (par exemple, la note 1 attribuée à une section de 500 m signifie qu'elle présente moins de 50 m de longueur fissurée ou déformée, et qu'aucune de ces dégradations ne dépasse la gravité 1 ; on peut voir de tels exemples sur la **figure 4**).

Les notes sont, sur l'ensemble du réseau, réparties presque à égalité, avec cependant un excédent de notes 5 et un déficit de notes 2. Les notes 5 à 7 (celles qui, selon la méthode VIZIR, indiquent la nécessité d'un entretien immédiat) totalisent plus de la moitié (57 %) du réseau, alors que les notes 1 et 2 (absence ou quasi-absence de dégradations) en concernent seulement 17 %. La répartition des notes pour les différents niveaux de trafic montre un maximum de gravité pour la classe T3 (300 à 1000 v/j), cependant que les classes T0 et T1 (qui constituent l'essentiel du réseau primaire) sont en meilleur état.

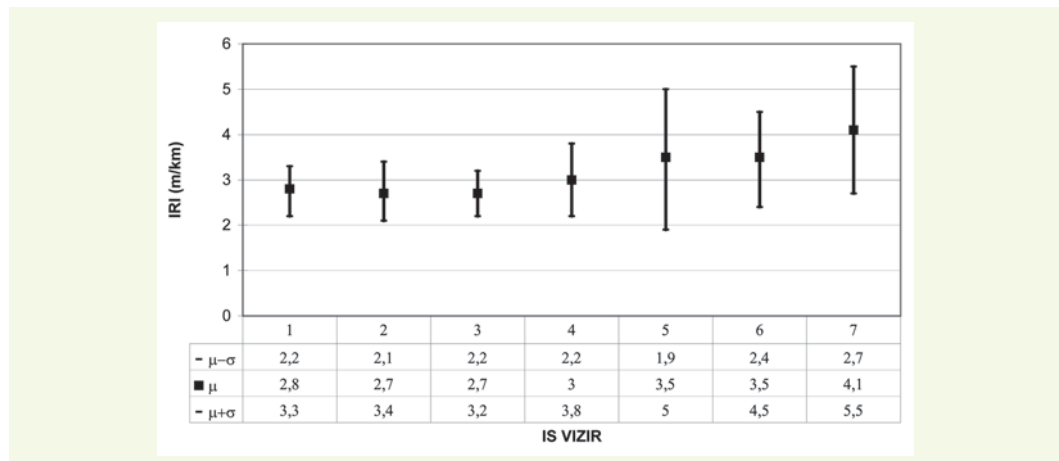
figure 12
Répartition des notes globales VIZIR selon les niveaux de trafic.



> Uni

L'uni longitudinal, mesuré au *Bump Integrator* et traduit dans l'échelle IRI, est également un élément important pour ce type de réseau. C'est l'uni qui sert de paramètre représentatif de l'état des routes pour déterminer les coûts subis par les usagers dans le modèle HDM, et il est donc un paramètre qui conditionne la rentabilité économique de l'entretien. Les valeurs d'uni mesurées au Monténégro sont concentrées entre 2 et 4 m/km, ce qui est assez inhabituel. La relation entre la note globale de dégradation et les valeurs d'uni, bien que peu significative, suit une règle assez classique (**figure 13**) : jusqu'à la note 3, la répartition reste la même et elle augmente ensuite régulièrement, cependant que la dispersion reste élevée (la présence de dégradations ne préjuge pas d'un mauvais uni, et réciproquement). L'uni des routes non revêtues, qui sont le plus souvent constituées de sols rocheux, est en revanche très mauvais et cette moyenne est probablement optimiste, compte tenu de l'impossibilité physique de la mesure sur certains itinéraires.

figure 13
Répartition de l'uni (IRI en m/km) en fonction de la note globale de dégradation (routes revêtues).



UTILISATION DU MODÈLE HDM

■ Le modèle HDM

Le modèle HDM [5] a été utilisé pour analyser les différents scénarios d'entretien sur le réseau routier et évaluer les besoins budgétaires. Les principes qui sont à la base de son fonctionnement sont les suivants :

- l'état d'une section de route est variable dans le temps : d'une part il se dégrade en fonction du climat, des caractéristiques de la section de route, du volume du trafic et des caractéristiques des véhicules qui y circulent, d'autre part on l'améliore par des travaux d'entretien ; des travaux d'aménagement peuvent également modifier les caractéristiques de la section ;
- l'état de la section de route, et le volume du trafic qui y circule, ont un impact direct sur la vitesse pratiquée par les usagers ;
- les coûts d'entretien et d'aménagement à la charge de l'organisme gestionnaire dépendent directement des travaux réalisés pour entretenir ou aménager les routes ;
- les coûts aux usagers (y compris le coût du temps passé) dépendent directement de l'état de la route, des vitesses pratiquées et du volume du trafic ;
- la somme des coûts « administration » et « usagers », et éventuellement des coûts « sociaux » (en coûts économiques) représente le coût total de transport pour la collectivité.

Le modèle met en œuvre ces principes en simulant tous les phénomènes sur la base d'un cycle annuel répété autant de fois qu'il y a d'années dans la période d'analyse, ici 20 ans, et calcule les quantités de ressources consommées et les coûts correspondants, avec et sans actualisation. Une analyse économique est ensuite réalisée afin de produire les indicateurs permettant d'éclairer les choix.

■ Les données HDM

Une étude HDM nécessite la fourniture de données d'entrée que l'on peut classer en cinq catégories :

- caractéristiques des sections de routes,
- caractéristiques des véhicules et du trafic,
- caractéristiques des opérations de travaux envisageables,
- coûts unitaires,
- définition des scénarios à comparer.

Pour les quatre premières catégories, les données sont à recueillir sur place et à éventuellement adapter pour se conformer au formalisme HDM, qui généralement se révèle différent de celui des données disponibles. La dernière catégorie résulte de l'application des règles de l'art de l'utilisation du modèle HDM, et concrétise des hypothèses à discuter avec les responsables auxquels l'étude HDM est destinée.

> Sections de routes

Dans l'étude réalisée avec HDM, une section de route est réputée être homogène, c'est-à-dire que chaque indicateur représente la valeur caractéristique de la section pour la grandeur considérée, qui sera seule prise en compte dans la modélisation des phénomènes qui se produisent sur cette section. Ceci conduit à des sections de longueur variable (plusieurs kilomètres), nettement supérieure à celle des sections analysées par GiRR.

Les sections de routes ont été déterminées à partir des données stockées dans la base ROUTEN. Le découpage du réseau a été réalisé par les ingénieurs, au vu des données de trafic, de géométrie, de structure et d'état. Deux modélisations ont été réalisées.

a) Matrice de réseau

Cette première approche utilise une classification, fondée sur les paramètres les plus importants susceptibles d'influencer le choix des stratégies, soit :

- le volume du trafic, suivant les six classes de trafic déjà définies,
- le nombre de voies de la chaussée (une ou deux),
- le tracé, réparti en cinq catégories (plat, presque plat, vallonné, accidenté, montagneux).

Théoriquement, cette matrice de réseau comprend $6 \times 2 \times 5 = 60$ combinaisons possibles. Pratiquement, on ne rencontre que 39 occurrences, qui peuvent être réduites à 36 en intégrant dans la classe la plus voisine les classes qui représentent moins de 5 km sur l'ensemble du réseau (**tableau 2**).

La matrice de réseau ainsi définie a été utilisée pour la détermination des stratégies optimales.

b) Sections de travaux

Une deuxième approche a consisté à découper le réseau routier en sections homogènes susceptibles de recevoir la même solution d'entretien du début à la fin, afin d'évaluer les besoins budgétaires sur une période de l'ordre de 20 ans. Le nombre de sections ainsi définies est de 123, ce qui est largement suffisant pour l'objet recherché. C'est par contre insuffisant pour définir avec précision un programme de travaux, opération pour laquelle le modèle HDM n'est pas adapté, et qui sera traitée avec GiRR-P.

tableau 2
Longueur par classe de trafic, nombre de voies, et classe de tracé.

T0 – Très fort	2 voies	23,180		30,880			54,060
T1 – Fort	2 voies	152,200	97,540	93,580	7,010	25,020	375,350
T2 – Moy. Fort	1 voie				29,770		29,770
	2 voies	35,710	54,120	40,550	57,910	6,010	194,300
T3 – Moy. Faible	1 voie	31,320	105,160		68,790	62,190	267,460
	2 voies	16,640	124,390	83,680	15,670	3,230	243,610
T4 – Faible	1 voie	28,040		168,700	149,010	48,020	393,770
	2 voies	69,020	29,380	10,090		6,020	114,510
T5 – Très Faible	1 voie	12,440	40,260	16,110		37,460	106,270
	2 voies	5,660	3,330	12,450	27,150	3,550	52,140
Total		374,210	454,180	456,040	355,310	191,500	1 831,240

Pour ces deux approches, les données sont extraites de la BDR. Une interface spécifique lit un fichier de synthèse produit par ROUTEN à partir des différentes rubriques de la BDR, puis agrège et convertit ces données afin de les rendre conformes au format d'importation de HDM. Par ailleurs, le cycle des saisons, la température et l'hygrométrie ont des incidences certaines sur la dégradation des routes. Cet aspect est modélisé dans HDM sous la forme de « Zones climatiques ». À partir d'une analyse des données météorologiques, six zones climatiques ont été définies. L'analyse des stratégies a cependant montré que ces zones climatiques n'avaient aucun effet sur la détermination de la stratégie optimale.

› Caractéristiques des véhicules et du trafic

Dans HDM, le trafic dans son ensemble est représenté par le volume (exprimé en TMJA : trafic moyen journalier annuel) de chacun des véhicules types. Sept véhicules types ont été définis pour représenter l'ensemble des véhicules circulant sur le réseau monténégrin, correspondant aux sept classes de la BDR (tableau 3).

Des études spécifiques ont été réalisées pour évaluer les paramètres les plus déterminants dans l'impact des véhicules sur la dégradation des chaussées et la formation des coûts à l'usager.

L'agressivité moyenne est exprimée en *Equivalent Standard Axle Load Factor* (ESALF), ou essieux équivalents, la référence étant un essieu de 8,16 t. Le facteur ESALF de chaque véhicule type résulte de pesées systématiques réalisées avec l'aide des forces de police. Les valeurs trouvées pour les charges sont en général plus élevées que les valeurs par défaut contenues dans HDM, mais ce n'est pas le cas pour les agressivités.

tableau 3
Agressivité des véhicules.

Véhicule type	Valeurs retenues		Valeurs par défaut	
	ESALF	PTRC* (t)	ESALF	PTRC (t)
Véhicule particulier	0	1,00	0	1,2
Camionnette	0,002	2,85	0,01	1,5
Camion léger à deux essieux	0,02	4,13	0,1	2,0
Camion à deux essieux	1,51	11,09	1,25	7,5
Camion à trois essieux	2,09	17,79	2,28	13,0
Camion à plus de trois essieux	3,23	28,85	4,63	28,0
Bus	0,92	11,84	0,7	6,0

* PTRC = Poids total roulant en charge

Le nombre de passagers des véhicules et la proportion de trajets à motif professionnel ont été déterminés lors des enquêtes « origine/destination ». Pour les autres paramètres, les valeurs par défaut du modèle HDM ont été conservées. La composition et l'évolution détaillées du trafic ont été calculées à l'aide du logiciel SEPTRAN et introduites dans HDM selon une procédure assez complexe, mais qui serait nettement plus simple dans la version 2.0 du modèle, disponible depuis 2005.

› Caractéristiques des opérations de travaux

Le modèle HDM propose des opérations types de travaux, qui doivent impérativement être utilisées lors de la modélisation. Il est donc nécessaire d'analyser les opérations effectivement réalisées au Monténégro, et de les transcrire en termes d'opérations HDM. Dans l'ensemble, ce travail a été facile, la technique routière monténégrine étant tout à fait classique. La caractéristique principale est constituée par l'absence de travaux d'enduits superficiels (alors que 346 km ont été identifiés comme tels lors des relevés), qui seraient cependant adaptés aux problèmes rencontrés le plus souvent : peu de déformations, problèmes de surface, trafic peu élevé.

› Coûts unitaires

Les coûts unitaires des opérations d'entretien ont été tirés des documents d'appels d'offres et des marchés. Les coûts unitaires constatés au Monténégro sont très élevés en comparaison des prix

pratiqués en Europe en général (cette tendance se retrouve aussi dans les prix de la vie courante). Bien qu'aucune recherche des raisons de ces coûts élevés n'ait été entreprise, on peut citer, parmi les explications les plus probables, le relief montagneux, les faibles quantités annuelles, ainsi que des raisons liées à la structure de l'économie locale.

Les coûts unitaires pour les différentes ressources consommées par les véhicules ont été tirés des documents existants. Le coût du temps résulte d'une analyse des salaires moyens au Monténégro.

■ Le calage du modèle HDM

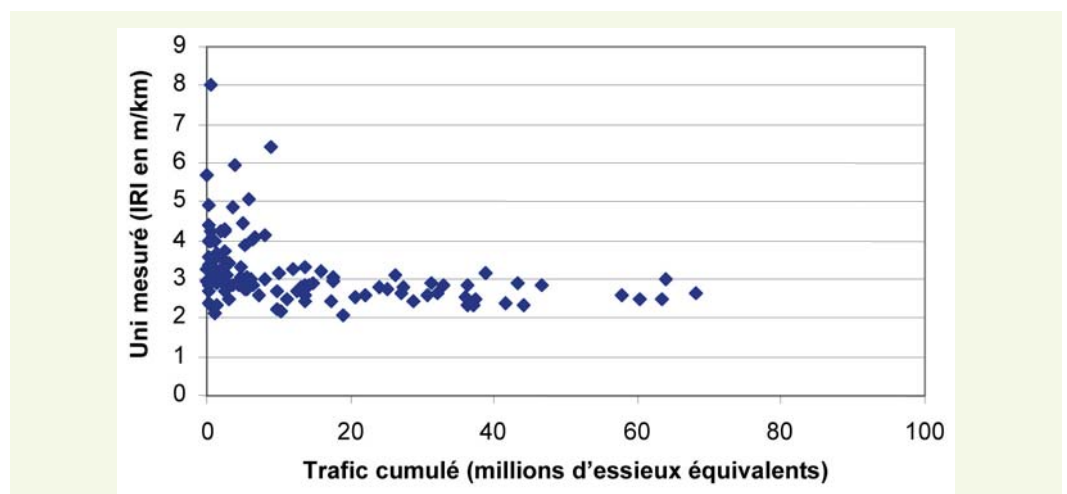
Cette partie d'une étude HDM est indispensable ; elle consiste à ajuster les relations à l'intérieur du modèle, de façon à ce que celui-ci reproduise les phénomènes constatés dans le contexte dans lequel on travaille. La littérature définit trois niveaux de calage : le niveau 1 est l'« application », où l'on se contente d'utiliser les données disponibles, le niveau 2 est le « calage » proprement dit, où l'on procède à une collecte supplémentaire de données détaillées spécifiquement pour cet usage, le niveau 3 enfin est l'« adaptation », qui implique des recherches spécifiques sur une longue période. Bien évidemment, la situation était ici celle du niveau 1.

Pour mener à bien cette phase de manière totalement satisfaisante, il était absolument nécessaire de disposer de données historiques totalement fiables, ce qui n'était malheureusement pas le cas au Monténégro. Il restait en effet des incertitudes très fortes quant aux dates de mise en œuvre des couches de roulement, ce qui peut être illustré par le diagramme de la **figure 14**, qui croise le trafic cumulé (calculé d'après les données historiques fournies par l'administration) et l'uni mesuré.

Ce diagramme est assez éloigné de ce à quoi on peut s'attendre : on observe des valeurs très élevées du trafic cumulé associées à un bon uni.

Il a donc fallu procéder par des voies indirectes. Tout d'abord, les coefficients de calage utilisés lors d'études précédentes dans la région n'ont guère été applicables, les études précédentes s'étant heurtées aux mêmes problèmes. Mais une enquête auprès des ingénieurs locaux a permis de constater que le rythme de dégradation des chaussées simulé par HDM (principalement l'apparition de la fissuration) semblait compatible avec l'expérience du terrain. Cette vérification « à dire d'expert » a consisté à prendre le cas de plusieurs sections types de routes, à simuler avec HDM l'évolution de la dégradation, puis à évaluer la vraisemblance de l'âge d'apparition de la dégradation prédite par HDM en fonction de l'expérience locale. Si cette méthode ne permet pas de définir des coefficients de calage précis, elle permet d'éviter l'application de coefficients inadaptés.

figure 14
Relation entre l'uni mesuré
et le trafic cumulé.



■ Recherche de stratégies optimales

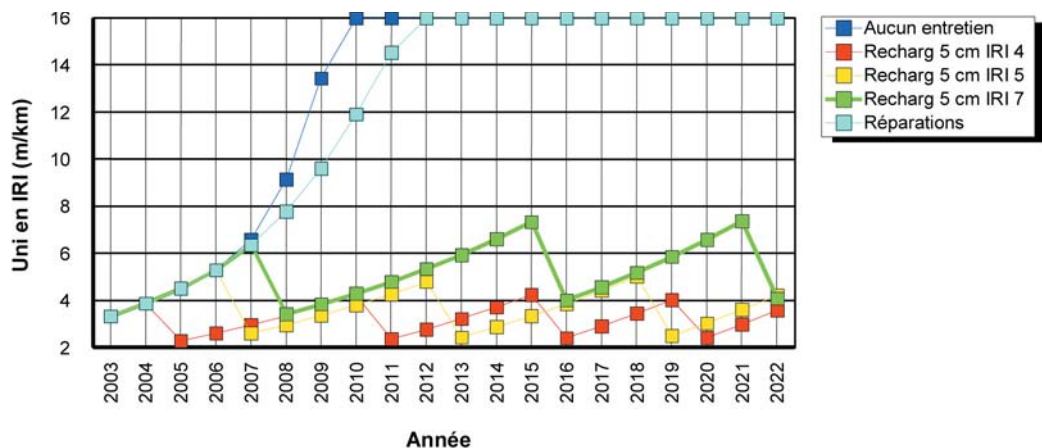
> Stratégies étudiées

En accord avec la direction des Routes, les quatre stratégies décrites dans le **tableau 4** ont été sélectionnées comme envisageables. Elles correspondent à des niveaux de service très différenciés (**cf. figure 15**). La stratégie « Réparations » sert de référence pour évaluer les autres stratégies ; il s'agit d'un cas théorique, qui n'est pas réellement envisageable, car cela conduirait à une destruction du réseau à moyen terme.

tableau 4
Stratégies étudiées pour
les routes revêtues.

Stratégie	Travaux
Base	Réparation des nids de poules (si nombre NdP ≥ 50 par km)
Rechargement si IRI ≥ 7	Réparation des nids de poules (si nombre NdP ≥ 50 par km) Enrobé mince (2 cm) si ≥ 50 % (en surface) avec arrachements Rechargement 6 cm si IRI ≥ 7
Rechargement si IRI ≥ 5	Réparation des nids de poules (tous) Enrobé mince (2 cm) si ≥ 15 % (en surface) avec arrachements Rechargement 5 cm si IRI ≥ 5
Rechargement si IRI ≥ 4	Scellement des fissures si ≥ 10 % fissuré Réparation des nids de poules (tous) Enrobé mince (2 cm) si ≥ 10 % (en surface) avec arrachements Rechargement 4 cm si IRI ≥ 4

figure 15
Exemple de simulation
dans HDM de l'évolution
de l'uni d'une section
selon différentes stratégies.



Ces stratégies ont été simulées sur chacune des 36 sections définies dans la matrice de réseau.

Les indicateurs économiques calculés sont :

– le bénéfice actualisé $BA = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{CB_i - CV_i}{(1+a)^{i-1}}$

où :

- n est le nombre d'années de la simulation (ici 20),
- CV_i est le coût économique total de la variante à l'année i,
- CB_i est le coût total de la solution de base à l'année i,
- a est le taux d'actualisation (ici 8 % et 12 %) ;

– le rapport BA (bénéfice actualisé) / coût des travaux ;

– le taux de rentabilité interne (TRI – la valeur de a pour laquelle BA = 0).

Un taux d'actualisation de 12 % est généralement demandé par les bailleurs de fonds ; toutefois, ce taux très élevé n'a pas été jugé adapté à l'évaluation de stratégies d'entretien sur un réseau routier ; c'est pourquoi les calculs ont été effectués également avec un taux de 8 %.

Par « coût total », on entend la somme des coûts supportés par le maître d'ouvrage (travaux) et par l'utilisateur (exploitation du véhicule et temps de parcours). Les calculs ont été réalisés dans trois hypothèses différentes de croissance du trafic.

› Résultats

Une analyse détaillée des résultats a permis de dégager quelques tendances :

- le tracé n'a aucune incidence sur la stratégie optimale ;
- l'impact de la largeur de chaussée se révèle variable ; il est sans doute plus lié aux caractéristiques particulières des quelques sections étroites qu'à un effet spécifique de la largeur ;
- le taux d'actualisation a un impact très faible ;
- l'hypothèse de croissance du trafic a un impact supérieur à celui du taux d'actualisation, mais qui reste toutefois faible ;
- la zone climatique n'a pas d'incidence sur le choix de la stratégie optimale, mais elle a un impact considérable sur le rythme de dégradation des routes.

Finalement, les deux paramètres les plus importants sont le volume du trafic et l'indicateur économique retenu comme critère de choix.

Le **tableau 5** indique les stratégies optimales dans le cas de l'hypothèse moyenne pour le taux de croissance du trafic, et le taux d'actualisation de 12 %.

tableau 5
Stratégies optimales par
classe de trafic et type
d'indicateur.

Niveau de trafic	Largeur	BA	BA/Coût	TRI
T0 – Très fort		Recharg. si IRI \geq 4	Recharg. si IRI \geq 7	Recharg. si IRI \geq 4
T1 – Fort		Recharg. si IRI \geq 4	Recharg. si IRI \geq 7	Recharg. si IRI \geq 7
T2 – Moyen fort		Recharg. si IRI \geq 4	Recharg. si IRI \geq 7	Recharg. si IRI \geq 7
T3 – Moyen faible	1 voie	Réparations	Réparations	Réparations
	2 voies	Recharg. si IRI \geq 5	Recharg. si IRI \geq 7	Recharg. si IRI \geq 7
T4 – Faible	1 voie	Recharg. si IRI \geq 7	Recharg. si IRI \geq 7	Recharg. si IRI \geq 7
	2 voies	Réparations	Recharg. si IRI \geq 7	Recharg. si IRI \geq 7
T5 – Très faible	1 voie	Réparations	Réparations	Réparations
	2 voies	Réparations	Réparations	Réparations

Les tendances générales peuvent être résumées comme suit :

- à partir de 1 000 véhicules par jour (classes T0, T1 et T2), la meilleure option est toujours le rechargement à partir d'un IRI de 4 si le critère est le BA ; ceci conduit cependant à des budgets importants. Si le critère retenu est le rapport BA/Coût, la meilleure option est toujours le rechargement à partir d'un IRI de 7, ce qui conduit à un niveau de service médiocre ;
- pour le trafic T5 (très faible), la meilleure option consiste à réparer, quel que soit l'indicateur retenu ; cela signifie qu'aucun entretien général sur de telles routes n'est rentable, même si elles sont en très mauvais état ; c'est un résultat courant dans HDM, mais il peut être contredit si l'on attribue une « valeur » économique (évidemment difficile à chiffrer) à l'existence même d'une route praticable ;
- pour les autres niveaux de trafic (T3 et T4), la situation est plus nuancée, mais le rechargement à partir d'un IRI de 7 se révèle être la meilleure option dans pratiquement tous les cas.

> Propositions

Les résultats de l'analyse par type de route ont été repris en cherchant à affecter à chaque catégorie (classe hiérarchique) du réseau la stratégie la plus pertinente. Le volume du trafic est évidemment un critère principal, et il a été modulé en fonction de critères plus « politiques », ce qui a permis de proposer à la direction des Routes des stratégies déclinées selon trois hypothèses de niveau de service (**tableau 6**).

tableau 6
Proposition de stratégies.

Catégorie	Niveau de Service		
	Optimal	Souhaitable	Minimal
Primaire	Recharg. si IRI \geq 4	Recharg. si IRI \geq 5	Réparations
Secondaire	Recharg. si IRI \geq 4	Recharg. si IRI \geq 7	Réparations
Tertiaire	Recharg. si IRI \geq 7	Recharg. si IRI \geq 7	Réparations
Tertiaire (Non rev.)	Recharg. en grave	Recharg. en grave	Point à temps

■ Comparaison entre besoins budgétaires et niveau de service

Afin de mieux cerner les besoins budgétaires à long terme et l'impact d'éventuelles restrictions budgétaires sur l'état des routes, les stratégies proposées ont été appliquées sur l'ensemble des 123 sections constituant le réseau routier du Monténégro. Des modifications mineures ont été apportées aux travaux appliqués, pour prendre en compte le fait qu'au sein d'une même catégorie de route, il peut y avoir des sections présentant des volumes de trafic et des états très différents. L'analyse a porté sur une période de vingt ans. Une contrainte a été fixée sur la ligne budgétaire « investissement », sur laquelle sont payées les opérations « rechargements » et « enrobés minces » pour les routes revêtues, et « rechargements en grave » pour les routes non revêtues. Il n'y a pas de contrainte sur la ligne budgétaire « fonctionnement », sur laquelle sont payées les opérations suivantes : rebouchage de nids de poules, scellement de fissures, entretien des dépendances pour les routes revêtues, rebouchage de nids de poules, et entretien des dépendances pour les routes non revêtues. Dans tous les cas, HDM retient la stratégie optimale, au sens du BA maximum. Le **tableau 7** résume les résultats.

Une réduction en investissement a un impact considérable sur les besoins en crédits de fonctionnement, même si l'augmentation des besoins en fonctionnement est inférieure à la diminution des moyens en investissement. Toutefois, il faut aussi se rappeler que la réduction globale a un impact sur la qualité de service. Le **tableau 8** montre l'effet de la contrainte budgétaire sur l'uni moyen des routes en 2012.

tableau 7
Effets d'une contrainte en crédits d'investissement (ces montants ne comprennent pas les dépenses d'exploitation).

Contrainte budgétaire en investissement (M€)	Montant des travaux « investissement » (M€)	Montant des travaux « fonctionnement » (M€)	Total (M€)
Sans contrainte	146,5	30,6	177,1
100	100,0	34,6	134,6
50	49,9	45,2	95,1
30	30,0	53,4	83,4
20	20,0	58,1	78,1

tableau 8
Effets d'une contrainte budgétaire sur l'uni moyen des routes.

	IRI 2003	IRI 2012				
		Sans cont.	100 M€	50 M€	30 M€	20 M€
Primaire	3	3,8	3,8	6,1	8,4	9,7
Secondaire	3	4,0	5,5	7,6	7,6	7,6
Tertiaire	6,5	8,3	9,8	10,8	10,8	10,8

■ Programme de travaux – Budgets moyens annuels

Chacun des trois scénarios possibles en niveau de service a été testé avec chacune des trois hypothèses de croissance du trafic. Cela a permis d'établir, section par section et année par année, la liste des travaux nécessaires. Toutefois, ces derniers résultats sont à utiliser avec précaution. En effet :

- la longueur moyenne d'une section est de près de 15 km ; il est pratiquement certain que cette section ne peut pas être homogène du point de vue des travaux d'entretien ; pour programmer ces travaux, il est préférable d'utiliser un outil comme GiRR qui analyse plus finement les dégradations individuelles ;
- l'application stricte des règles de déclenchement des travaux d'entretien induit une variation importante des besoins en crédits d'une année à l'autre, ce qui n'est pas acceptable ;
- enfin, HDM ne prend pas en compte l'organisation des chantiers, et il peut être intéressant de regrouper différentes sections, de différer ou d'avancer des travaux pour saisir des opportunités.

Le **tableau 9** indique les besoins budgétaires moyens sur la période 2003-2022, dans le cadre de la stratégie « souhaitable », avec une hypothèse de croissance faible du trafic.

tableau 9
Besoins budgétaires
moyens.

Travaux	Total	Valeur moyenne annuelle (€) sur la période 2003-2022				
Drainage	8 572 284	428 614				
Expl. – Sécurité	35 121 975	1 756 099				
Accotements	17 828 197	891 410	3 076 123			
Service hivernal	68 669 384	3 433 469	3 433 469	6 509 592		
Scellement de fissures	9 989 179	499 459				
Point à temps (rev.)	1 691 354	84 568	584 027			
Point à temps (non rev.)	540 415	27 021	27 021	611 047	7 120 639	
Couche de surface	3 946 925	197 346				
Rechargement 2 cm	3 417 366	170 868	368 215			
Rechargement 5 cm	33 300 447	1 665 022				
Recharg. 6 cm si IRI ≥ 5	41 962 168	2 098 108				
Recharg. 6 cm si IRI ≥ 7	69 137 332	3 456 867				
Travaux préparatoires	1 085 632	54 282	7 274 279	7 642 494		
Rechargement en grave	3 404 177	170 209				
Travaux préparatoires	1 035 740	51 787	221 996	221 996	7 864 489	14 985 129
Total	299 702 575	14 985 129				

■ Autres applications de HDM

D'autres études du type « analyse de projet » ont également été réalisées afin de fournir des réponses générales à des problèmes posés par la direction des Routes : rentabilité d'une voie spéciale pour les PL en zone accidentée, intérêt du calibrage de la largeur des chaussées, rentabilité des déviations d'agglomération. Cependant, il convient d'être très circonspect. En effet, les résultats de ces études sont très sensibles à des variations des données d'entrée, qui en général ne sont que très approximativement connues. La validité des résultats doit donc être appréciée plutôt en termes de tendances qu'en valeur absolue.

APPLICATION DE GiRR

■ Organisation générale

GiRR est constitué d'une gamme de méthodes et de logiciels développés au sein du réseau technique de l'Équipement, et est appliqué en France pour la programmation des travaux d'entretien

sur les routes nationales comme sur certains réseaux locaux. Cette gamme a été développée dans le contexte technique de la France, et s'appuie sur des méthodes de recueil, des appareils et des indicateurs codifiés spécifiques à ce contexte. Cette structure a l'avantage de garantir une cohérence globale, gage de qualité dans l'aide au processus de décision. Au Monténégro, pour des raisons évidentes, il était exclu de plaquer l'expertise française telle quelle. Dans le cadre de l'étude, d'autres méthodes et des versions spécifiques de certains des logiciels de la gamme ont donc été utilisées pour s'adapter à ce nouveau contexte.

Les principales adaptations ont porté sur :

- la traduction en langue anglaise des logiciels ROUTEN, GiRR-E et GiRR-P ;
- l'utilisation de la méthode VIZIR pour les relevés visuels et l'évaluation détaillée du réseau, en remplacement du mode opératoire M3 de la Méthode d'essais 38-2 du LCPC [7] utilisée la plupart du temps en France ; cette modification majeure a eu comme conséquence une adaptation des logiciels GiRR-E et GiRR-P, pour la prise en compte des indicateurs spécifiques propres à ce type de relevé ;
- le développement d'une interface spécifique entre ROUTEN et GiRR ;
- la prise en compte de la notation VIZIR comme structurant l'évaluation globale du réseau au sein du logiciel GiRR-E ;
- la définition de nouvelles grilles de décision dans le logiciel GiRR-P ; la forme des grilles a été ajustée pour les rendre compatibles avec les indicateurs VIZIR, les travaux susceptibles d'être déclenchés ont été sélectionnés en accord avec la direction des Routes et les seuils ont été ajustés en fonction de l'analyse technico-économique utilisant HDM.

Le choix de l'anglais en lieu et place du monténégrin a été décidé pour favoriser l'échange entre le consultant et l'administration monténégrine ; les logiciels qui lui ont été fournis fonctionnent en anglais, bien que leur traduction dans la langue locale soit tout à fait possible, moyennant un effort raisonnable, tant pour le logiciel que pour sa documentation.

■ L'interface ROUTEN – GiRR

Ce premier module est presque purement mécanique. Il consiste simplement, comme pour l'interface classique VISAGE – GiRR, à établir les liens entre les différentes rubriques de la BDR structurée sous ROUTEN et les variables prédéfinies dans GiRR. L'utilisateur définit les chemins qui permettent d'accéder au référentiel d'une part, et aux données d'autre part.

Le choix de l'administration monténégrine a été de fixer à 200 m la longueur de la section élémentaire, mais cette longueur reste accessible à l'utilisateur, et peut donc être modifiée à la demande.

■ GiRR-E

Le module d'évaluation GiRR-E (**figure 16**) met ici en œuvre la méthodologie VIZIR [3], alors qu'en France c'est la « grille » M3 [7] qui est appliquée, notamment pour le réseau national dans le cadre de l'IQRN (image qualité des routes nationales). En fait, le principe n'est pas très différent : il calcule sur chaque section élémentaire (généralement de 200 m de longueur) les notes de fissuration IF, de déformation ID et d'état général IS (indice de dégradation superficiel) allant de 1 (aucune dégradation) à 7 (le plus dégradé), comme le montre le **tableau 10**.

Les données peuvent être visualisées sous forme de schémas d'itinéraires (**figure 17**) ou de graphes statistiques. On remarque que la note IS est également exploitée dans ROUTEN (**cf. figure 12**), mais le pas de calcul est ici de 200 m au lieu de 500.

Les notes finales IS sont regroupées en trois catégories, conformément à la méthode VIZIR :

- classe A (notes 1 et 2) : aucune ou quelques dégradations, mais aucun entretien immédiat n'est nécessaire ;
- classe B (notes 3 et 4) : des travaux d'entretien sont nécessaires ;
- classe C (notes 5, 6 et 7) : des travaux d'entretien importants sont nécessaires.

figure 16
« Tableau de bord » de
GiRR-Évalue.

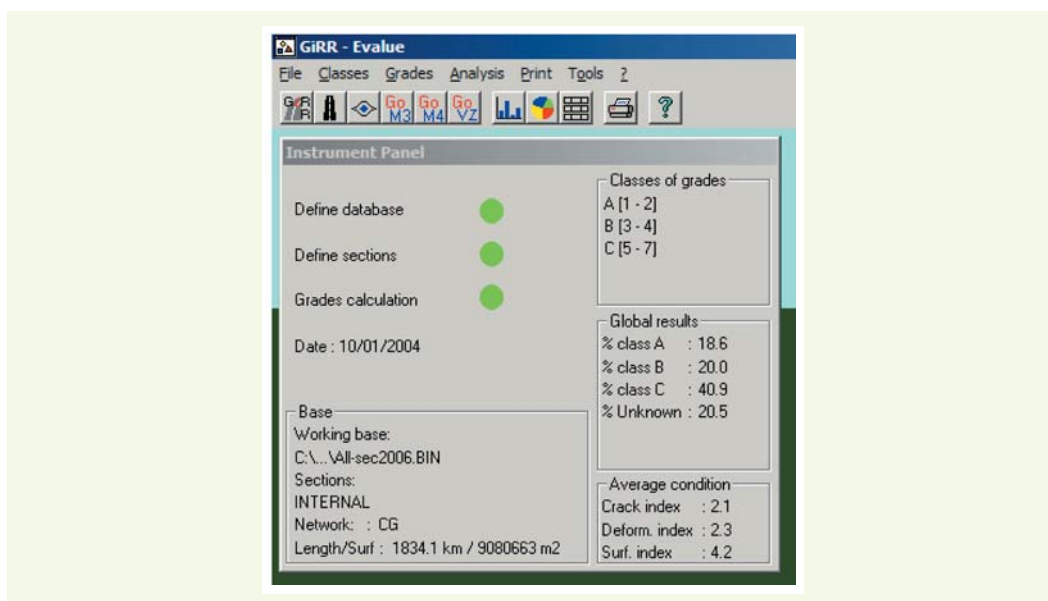


tableau 10
Principe de notation
VIZIR.

Note de fissuration IF

Aucune fissure 0		Étendue des fissures		
		< 10 %	10 % à 50 %	Plus de 50 %
Gravité des fissures	1	1	2	3
	2	2	3	4
	3	3	4	5

Note de déformation ID

Aucune déformation 0		Étendue des déformations		
		< 10 %	10 % à 50 %	Plus de 50 %
Gravité des déformations	1	1	2	3
	2	2	3	4
	3	3	4	5

Indice global (sans les réparations)

		IF			
		0	1-2	3	4-5
ID	0	1	2	3	4
	1-2	3	3	4	5
	3	4	5	5	6
	4-5	5	6	7	7

Correction pour réparations

		Étendue des réparations		
		< 10 %	10 % à 50 %	Plus de 50 %
Gravité des réparations	1	0	0	0
	2	0	0	+ 1 (si IS < 7)
	3	0	+ 1 (si IS < 7)	+ 1 (si IS < 7)

figure 17
« Schéma d'itinéraire » de
GiRR-Évalue.

	8+ 600	8+ 800	9+ 200	9+ 400	9+ 600	9+ 800	10+ 200	10+ 400	10+ 600
Section Length	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Width of Road	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Category	Prima	Prima	Prima	Prima	Prima	Prima	Prima	Prima	Prima
Surface Date	1966.12	1966.12	1966.12	1966.12	1966.12	1966.12	1966.12	1966.12	1966.12
Surface Nature	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
Surf. Thickness	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Structure	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB
Traffic	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0
Urban area									
Deflection (S/A)	? / ?	? / ?	? / ?	? / ?	? / ?	? / ?	? / ?	? / ?	? / ?
Deflection Date	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Evenness (Bump)	109	109	95	95	86	77	77	67	86
Evenness (IRI)	3.3	3.3	3.0	3.0	2.8	2.7	2.7	2.5	2.9
Deform. VIZIR	■	■			■	■	■	■	■
Cracks VIZIR	■				■	■	■		■
Potholes VIZIR									
Ravelling VIZIR									
Patching VIZIR									
Edges VIZIR									
Damage surv. Date	2002.12	2002.12	2002.12	2002.12	2002.12	2002.12	2002.12	2002.12	2002.12

■ GiRR-P

> Objectifs

La programmation est une étape importante, au cœur de la mise en œuvre d'une politique d'entretien. Elle consiste, pour un service technique, à préparer le programme de travaux qui concrétise, à court et moyen termes, la politique d'entretien, et à les soumettre au maître d'ouvrage pour discussion puis approbation. Cette étape recouvre donc, pour le service, autant un travail technique qu'un effort de communication. Tout outil visant à l'aider dans cette étape devra prendre en compte ces deux aspects.

Le module de programmation GiRR-P a été adapté au nouveau contexte. Une configuration provisoire de détermination des travaux d'entretien a été établie en coopération étroite avec l'administration monténégrine ; elle comprend :

- des grilles de décision, associant des combinaisons de dégradation (et d'autres données) à des solutions d'entretien ;
- des coûts unitaires de travaux ;
- des critères de priorité ;
- des critères d'agrégation, regroupant les travaux en sections de longueurs suffisantes.

Cette configuration provisoire a été mise en place au siège de la direction des Routes, à Podgorica. Elle pourra être affinée par l'administration à la lumière des premiers résultats d'application, et à l'occasion des mises à jour annuelles des données.

> Grilles de décision

Les grilles de décision ont été définies sur la base des stratégies proposées après l'analyse HDM. Cependant, bien qu'il soit possible en toute rigueur de définir dans HDM des grilles de décision du type de celles de GiRR-P (en combinant par des « ET » et des « OU » différentes conditions impliquant les indicateurs d'état), il n'existe pas au Monténégro de lien direct automatique entre les stratégies HDM et la définition précise des règles contenues dans les grilles, pour au moins deux raisons :

- une raison de fond, qui est que HDM et GiRR-P ne concernent pas le même niveau d'analyse. HDM, dans son application en analyse de stratégies, privilégie une vision « macroscopique » du

problème, et tend à décrire les phénomènes au niveau d'une section assez longue ; les travaux d'entretien ne sont considérés que par leurs effets sur les coûts d'entretien du fait du déclenchement des travaux, et sur les coûts aux usagers du fait de l'amélioration de l'uni qu'ils apportent. GiRR-P, au contraire, privilégie une approche « microscopique » ; par l'intermédiaire des grilles, il tend à analyser le phénomène pathologique sous-jacent de chaque section élémentaire de chaussée et à proposer une solution technique adaptée ;

– une raison de forme résulte du fait que les indicateurs utilisés dans HDM sont ceux de la « culture » HDM, alors que ceux utilisés dans GiRR-P sont ceux de la méthode VIZIR.

Toutefois, la cohérence entre les deux approches a bien évidemment été recherchée, et les grilles proposées, respectivement pour les problèmes structurels et ceux de surface, et pour les différents niveaux de service, correspondent aux stratégies proposées dans l'approche HDM.

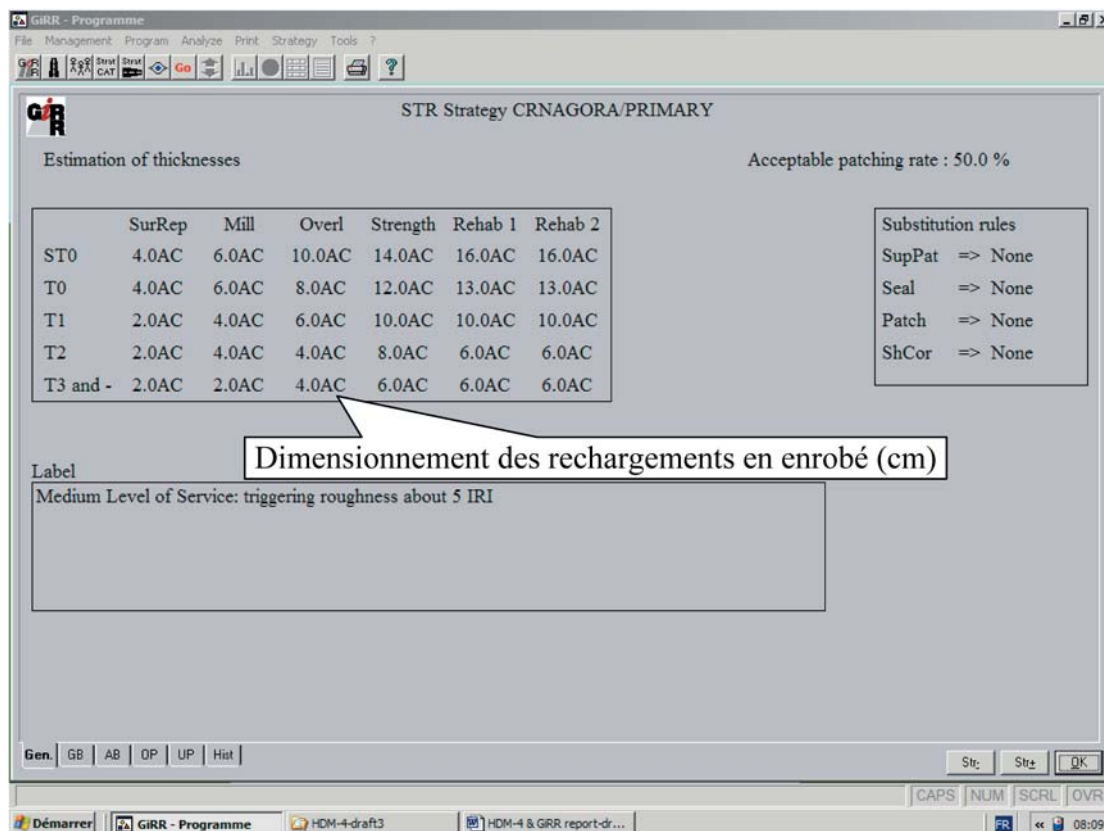
Le travail le plus difficile a été d'ajuster les seuils d'étendue qui figurent dans les tableaux. Les seuils retenus proviennent d'un ajustement itératif, qui conduit à des quantités et des montants en entretien compatibles avec les résultats de l'analyse HDM, approuvés par l'administration monténégrine. Ils sont relativement proches des seuils *a priori* qui avaient été définis par celle-ci au début de l'étude comme étant des règles raisonnables d'intervention.

La **figure 18** donne par exemple les épaisseurs attribuées aux différentes solutions d'entretien, pour la grille « structure » du réseau primaire ; la **figure 19** montre la grille proprement dite, qui indique les natures de travaux en fonction des combinaisons de dégradations rencontrées.

Dans cette grille, par exemple, aucune opération n'est prévue si les fissures n'atteignent pas 5 % de gravité 2 et si les déformations n'atteignent pas 30 % du même niveau ; au-delà, selon les cas, la grille prévoit :

– scellement des fissures (« seal », couleur cyan) s'il y a plus de 5 % de fissures de gravité 2 ;

figure 18
Exemple de grille de dimensionnement de l'entretien.



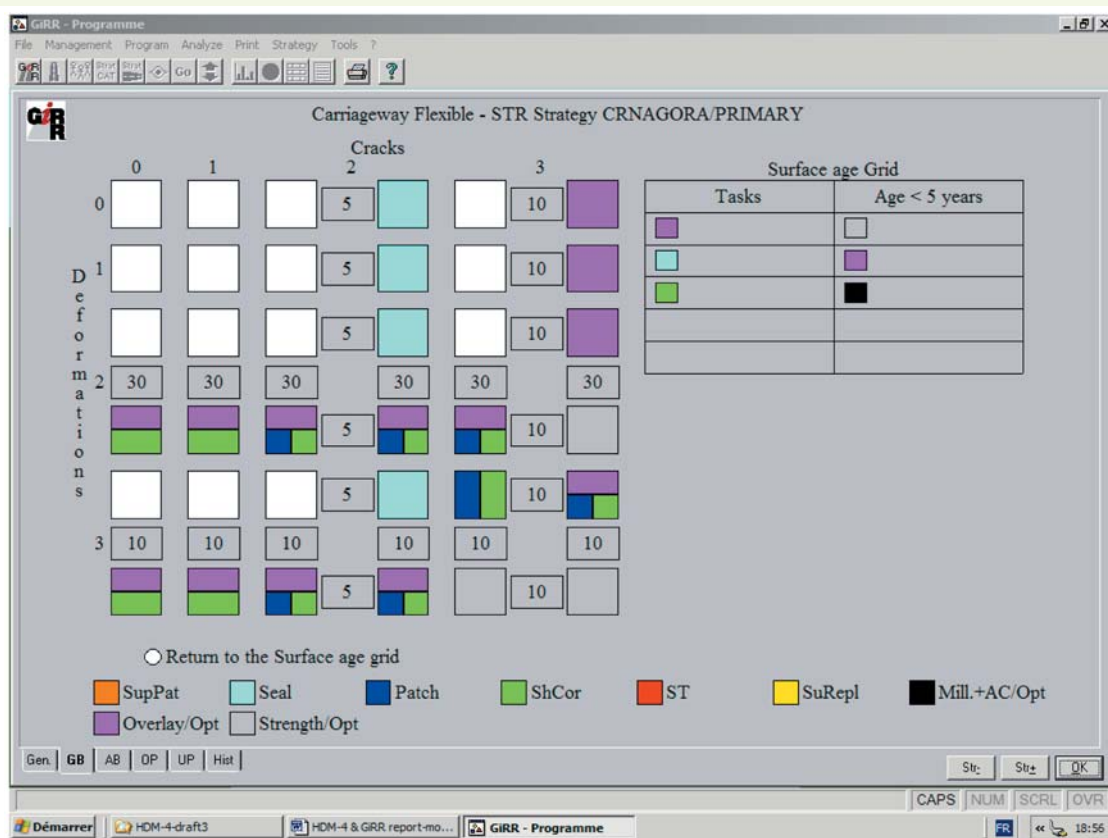


figure 19

Exemple de grille de décision en fonction des dégradations.

- rechargement (« overlay », couleur magenta) s'il y a plus de 10 % de fissures de gravité 3 ;
- rechargement précédé d'un reprofilage (« ShCor », vert) s'il y a plus de 30 % de déformations de gravité 2 ou 10 % de gravité 3, et de réparations (« patch », bleu) s'il y a en plus des fissures de gravité 2 ou 3.

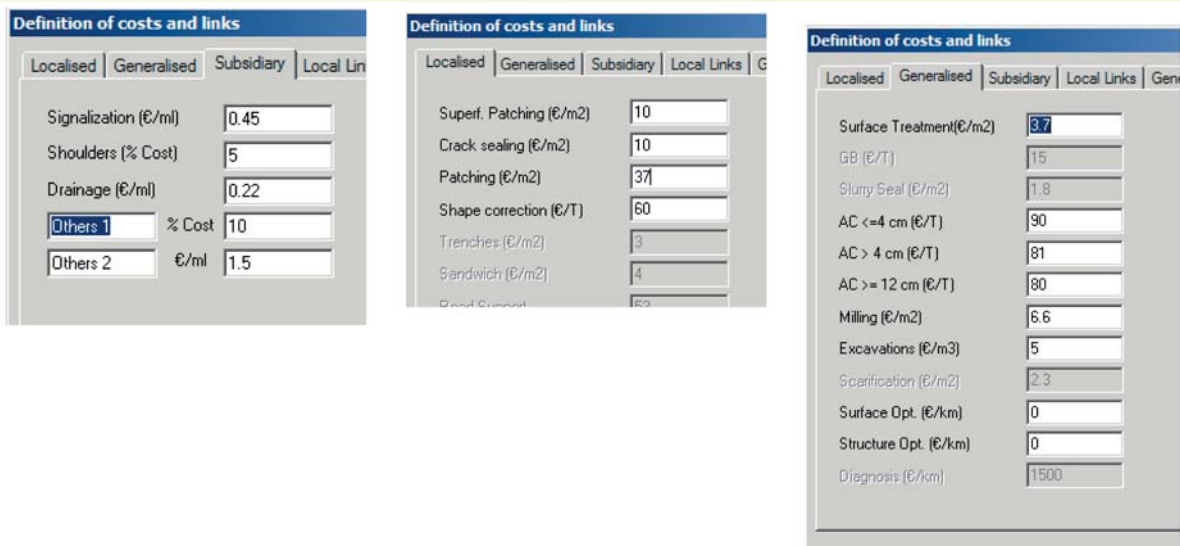
L'application de cette grille, destinée à remédier aux problèmes structurels, ne préjuge pas de l'application de la grille « surface », qui prend en compte, entre autres, les arrachements.

> Coûts unitaires des travaux

Les mêmes coûts unitaires que pour l'analyse HDM ont été naturellement retenus (figure 20).

figure 20

Entrée des coûts unitaires.



› Établissement d'un programme pluriannuel

Les critères de priorité et les critères d'agrégation existant par défaut ont été conservés.

L'application des différentes grilles à l'ensemble du réseau débouche sur un programme « souhaitable », qui représente environ deux programmes annuels, d'où la nécessité d'allers-retours successifs entre les critères de priorité et les limites budgétaires, qui peuvent être définies pour les trois années à venir. La **figure 21** représente la synthèse de ce programme, qui se monte à 20,5 millions d'euros, toutes routes et tous types de travaux confondus (hors travaux sur dépendances et exploitation).

La répartition de ce programme en coût et en linéaire par technique est représentée sur la **figure 22**.

figure 21

Synthèse du programme de travaux.

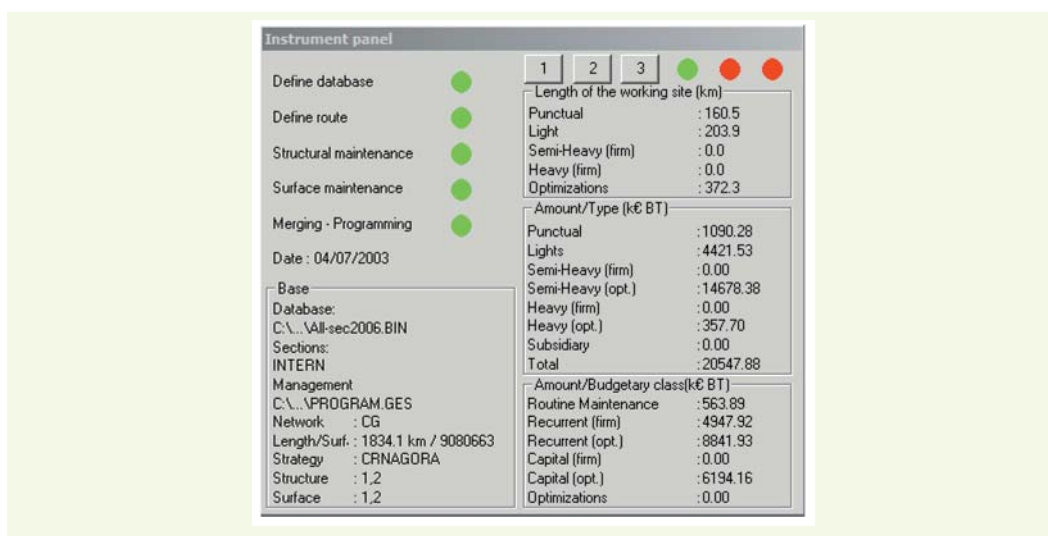
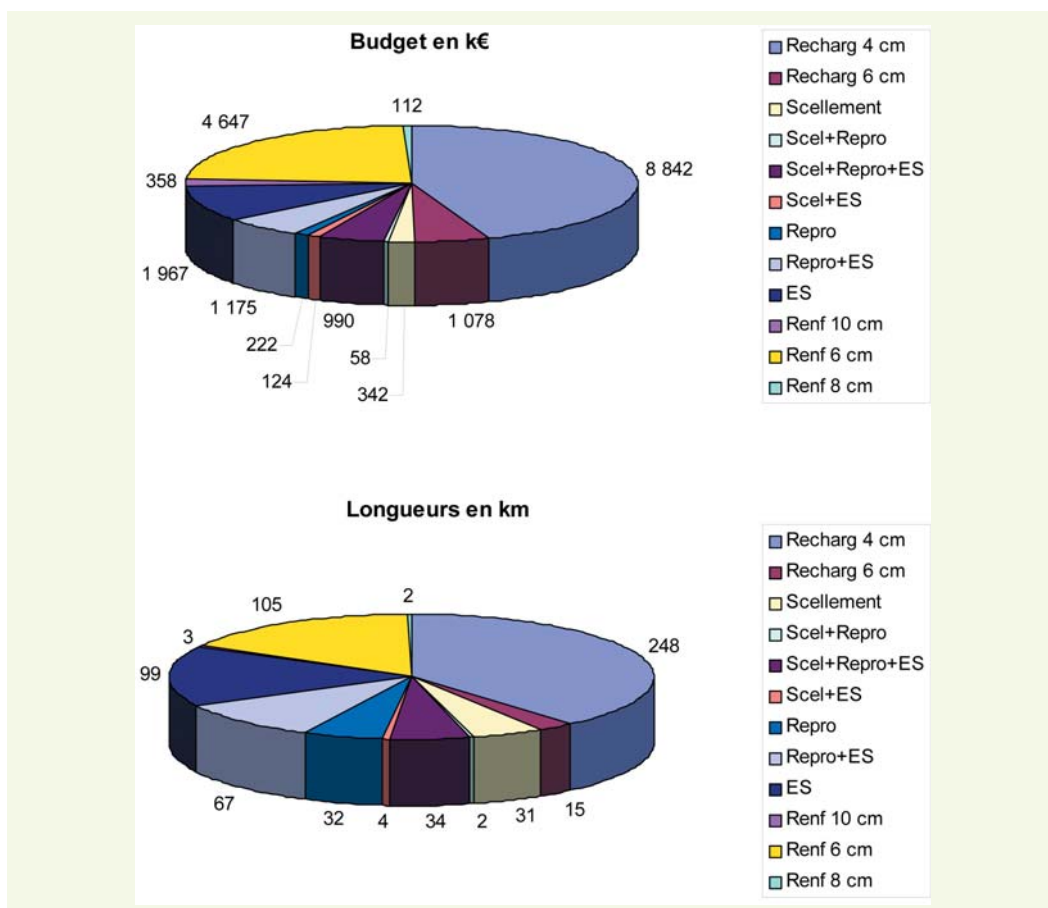


figure 22

Répartition du projet de programme.



CONCLUSIONS

Cette étude globale de redéfinition d'une politique d'aménagement-entretien d'un réseau routier s'inscrit dans la longue liste des études de ce type, généralement financées par les bailleurs de fonds internationaux. Elle se distingue par plusieurs aspects. L'un d'eux, et non le moindre, est l'inattendu consensus trouvé ici entre le bailleur de fonds (l'Union européenne), le client (la direction des Routes du ministère des Affaires maritimes et des Transports du Monténégro) et les consultants. Les personnalités des uns et des autres ont vraisemblablement favorisé le gommage des habituels conflits qui émaillent ce type de prestation, mais la raison réelle en est sans doute le fait que la situation au Monténégro était relativement favorable, la gestion des routes ayant par le passé fait l'objet d'attentions soutenues. Il n'y a finalement eu qu'à corriger à la marge une politique routière claire et solide, et le client final n'a donc pas ressenti cette étude comme une remise en cause de sa compétence et de sa souveraineté.

Parmi les enseignements tirés de cette étude, il nous semble nécessaire d'insister sur quelques aspects.

Il est important que le processus d'étude soit maîtrisé par un nombre réduit d'intervenants, si possible ayant la même culture technique. Cela a été le cas au Monténégro, puisque les relevés visuels, la mesure d'uni et les analyses ont été réalisés par une équipe du LCPC. Les mesures de portance et les sondages ont été sous-traités à un autre intervenant. À noter que le choix du FWD comme instrument de mesure de la portance limite l'utilisation opérationnelle des mesures à une évaluation statistique globale de la portance des chaussées. La structure de ces chaussées anciennes situées en général en relief montagneux est trop variable pour pouvoir tirer des mesures ponctuelles une quelconque évaluation structurelle des sections « homogènes ».

Il y a clairement une synergie entre la prestation d'étude et la recherche-développement. Cette étude a constitué une opportunité et une motivation primordiales dans le processus d'amélioration de ROUTEN et l'adaptation des outils GiRR.

La complémentarité entre HDM et les outils GiRR est prouvée, et elle apparaît comme un progrès dans la gestion des réseaux routiers. L'utilisation de HDM dans ce genre d'étude est indispensable dans la mesure où un financement par des bailleurs de fonds est recherché. Son apport est primordial pour la détermination de stratégies optimales, ainsi que pour l'évaluation en grandes masses des besoins budgétaires à moyen terme. Par contre, HDM n'est que d'une utilité limitée pour la phase de programmation annuelle des travaux d'entretien de chaussées, pour laquelle une analyse fine du couple gravité/étendue des dégradations est nécessaire. Les principes de GiRR-P par contre sont spécifiquement dévolus à cette analyse, et l'adaptation de GiRR-P à la méthode VIZIR de relevé des dégradations n'a pas posé de problème majeur. Le point délicat est la cohérence entre les grilles d'analyse GiRR-P et les normes d'entretien HDM. Il semble qu'un utilitaire qui permettrait de résoudre ce problème d'une manière semi-automatique soit difficile à mettre au point, tant les situations locales peuvent être variées. L'expérience de l'ingénieur reste une valeur sûre !

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 **BRILLET F., MASSONPIERRE C.**, Application des logiciels VISAGE, SILLAGE et SACARTO pour la gestion des réseaux routiers dans des pays en développement, Rapport interne LCPC, 1999.
- 2 **AUTRET P., BRILLET F., BROUSSE J.-L.**, Développement d'un système d'aide à la gestion d'un réseau routier, rapport ISTED, 1991.
- 3 **AUTRET P., BROUSSE J.-L.**, *VIZIR, méthode assistée par ordinateur pour l'estimation des besoins en entretien d'un réseau routier*, Méthode d'essai des LPC, 1991.
- 4 **ROUTEN**, site <http://www.adullact.org>
- 5 **HDM**, Highway Development and Management, Développement et gestion des routes, site <http://www.hdmglobal.com>
- 6 **FREITAS N., LEPERT PH.** Gamme GiRR : Prestations et outils d'aide à la décision dans le domaine de la gestion des chaussées, 14^e Congrès de l'IRF, Paris, 11-15 juin 2001.
- 7 **BERTRAND L., LEPERT PH.**, *Relevé des dégradations de surface des chaussées*, Méthode d'essai des LPC n° 38-2, LCPC, 1997.

