

XXIV<sup>e</sup> CONGRÈS MONDIAL DE LA ROUTE  
MEXICO 2011

## ROUMANIE – RAPPORT NATIONAL

### SÉANCE D'ORIENTATION STRATÉGIQUE TSD

# GESTION DU PATRIMOINE ROUTIER DANS UN CONTEXTE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE ET D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

F. BELC, Ghe. LUCACI  
Université „Politehnica” de Timisoara, Timisoara, ROUMANIE  
[florin.belc@ct.upt.ro](mailto:florin.belc@ct.upt.ro)  
[gheorghe.lucaci@ct.upt.ro](mailto:gheorghe.lucaci@ct.upt.ro)

F. PADURE  
SC EXPERT PROIECT 2002 SRL, Bucarest, ROUMANIE  
[florica\\_padure@yahoo.com](mailto:florica_padure@yahoo.com)

R. ANDREI  
Université Technique „Gheorghe Asachi”, Iasi, ROUMANIE  
[radu.andrei.d@gmail.com](mailto:radu.andrei.d@gmail.com)

M. DICU  
Université Technique de Génie Civil Bucarest, ROUMANIE  
[mdicu@cfdp.utcb.ro](mailto:mdicu@cfdp.utcb.ro)

C. CAPITANU, G. FODOR  
SC SEARCH CORPORATION SRL, Bucarest, ROUMANIE  
[camellia.capitanu@searchltd.ro](mailto:camellia.capitanu@searchltd.ro)  
[georgeta.fodor@searchltd.ro](mailto:georgeta.fodor@searchltd.ro)

## RÉSUMÉ

Avec une densité du réseau routier (rues y compris) de 0,84 km/km<sup>2</sup>, avec un réseau d'autoroutes de seulement 322 km et avec environ 43 % routes publiques (rues y compris) en terre ou empierrées, la Roumanie dispose d'une infrastructure routière inadaptée aux demandes socio-économiques européennes. En dépit de cette situation, les spécialistes roumains font des efforts soutenus et significatifs pour adapter les conditions techniques de conception, exécution et entretien à celles existantes sur le plan mondial, et respectivement, pour sensibiliser les administrations routières et les facteurs politiques de décision vers l'intensification des actions ayant comme but l'amélioration de l'état technique actuel des routes publiques.

Le rapport présente une partie des études réalisées pendant les dernières années pour le perfectionnement des méthodes de gestion du réseau routier, et pour la modernisation des méthodes de calcul des structures de résistance pour les routes.

On peut remarquer le fait que la Roumanie dispose de modèles vérifiés de gestion des routes publiques (HDM 4) et d'instruments modernes et très performants pour la détermination des indices d'état technique des chaussées. Malheureusement, l'application des modèles de gestion sur une grande échelle est ralentie tant par la réticence des facteurs décisionnels, que par les fonds limités destinés à la détermination périodique de l'état technique de l'entier réseau routier.

Dans le domaine des structures de résistance on présentera quelques recherches réalisées en collaboration avec des scientifiques d'autres pays européens visant la conception de nouvelles structures routières. On remarque en particulier l'utilisation de la piste d'essais accélérés dont la Roumanie dispose pour la vérification des calculs théoriques appliqués.

En conformité avec les nouvelles méthodes analytiques de calcul des chaussées, on a retenu les préoccupations des scientifiques roumains pour la diversification des technologies de réalisation de la couche de forme, en utilisant des sous-produits industriels ou des liants pouzzolaniques en vue de réduire les dosages des liants classiques.

## 1. INTRODUCTION

En Roumanie, les routes publiques sont classifiées, selon le critère de leur utilisation et administration, dans les catégories suivantes :

- routes publiques d'intérêt républicain (autoroutes, routes express, routes nationales européennes, routes nationales principales, routes nationales secondaires), avec une longueur totale de 16 503 km et gérées par des organismes de l'administration centrale d'état ;
- routes publiques d'intérêt départemental (routes départementales), qui ont une longueur totale de 35 048 km et sont gérées par des administrations départementales ;
- routes publiques d'intérêt local (routes communales, auxquelles on ajoute les rues des villes et des villages), qui sont gérées par les administrations communales ou urbaines. La longueur des routes communales est de 30 162 km, et celle des rues urbaines et villageoises d'environ 120 000 km.

L'analyse de l'état technique des routes publiques de Roumanie (sans rues urbaines et villageoises) mène à la conclusion qu'il reste précaire, avec une grande prédominance des routes empierrées et en terre (environ 43 %) et avec seulement 29 % routes modernisées (fig. 1.a). Dans le cas des routes départementales et communales la situation est encore plus difficile ; il y a seulement 13 % routes modernisées et environ 33 % routes à revêtements modernes, le reste étant empierrées ou en terre (fig. 1.b).

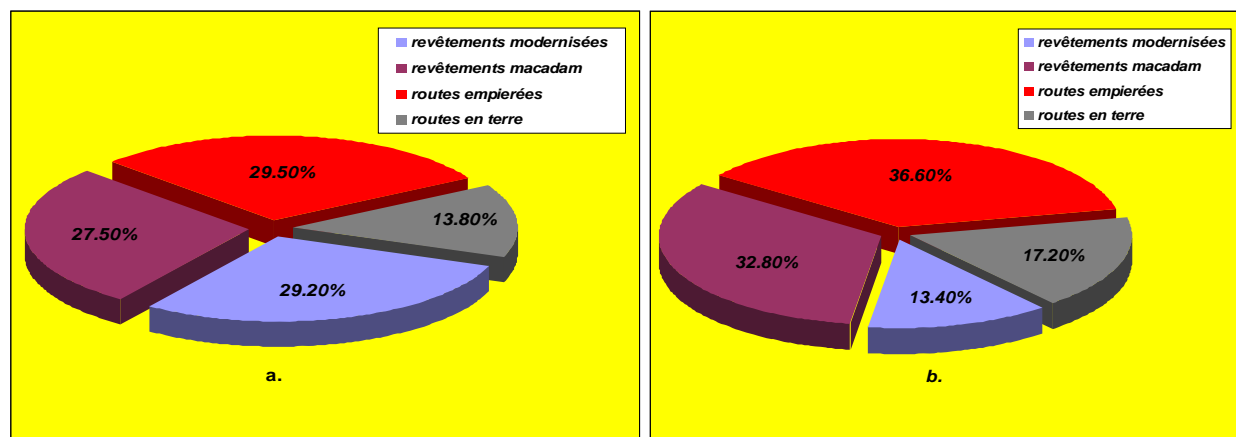


Figure 1 – L'état technique des routes publiques en Roumanie

L'organisation mentionnée plus haut rend l'implémentation d'un système complet de gestion routière très difficile. Même pour la catégorie des routes nationales il n'y a pas de système opérationnel de gestion spécialisé. Le processus d'implémentation du système de gestion est ralenti surtout par les facteurs suivants :

- l'absence d'une banque de données techniques routières chez les organismes administrant les différentes catégories de routes publiques ;
- la difficulté d'actualiser les données concernant l'état technique des chaussées, due tant au manque des fonds nécessaires à l'actualisation périodique des données, qu'à la réticence manifestée par les facteurs décisionnels de promouvoir les investigations nécessaires ;
- l'influence politique dans l'adoption de nombreuses décisions administratives en ce qui concerne la gestion des routes ;
- les restrictions du budget pour les travaux routiers qui ne permettent pas l'application des différents critères de risque ;
- l'orientation de la majorité des ressources financières disponibles vers la réalisation de certains grands projets routiers (autoroutes, routes express), au détriment des budgets nécessaires à l'entretien ;
- l'intégration de certains éléments du système de gestion routière (PMS et BMS) est empêchée par le manque de paramètres économiques généraux ;
- la difficulté d'expliquer aux facteurs de décision l'importance et l'utilité de l'application des moyens techniques à support dans la prise des décisions.

D'autre part, les normes techniques qui doivent être respectées dans la construction et l'entretien de l'infrastructure routière sont identiques pour toutes les catégories de routes publiques.

On fait des efforts permanents pour corréliser les normes nationales à celles européennes, pour développer la recherche dans le domaine routier, pour perfectionner et vérifier les méthodes de calcul des structures routières, pour une meilleure adaptation des structures de résistance aux sollicitations de plus en plus agressives du trafic routier, respectivement pour appliquer les principes de la gestion du patrimoine routier.

En ce qui suit on présente quelques préoccupations des spécialistes roumains et les résultats obtenus dans le domaine de l'augmentation de la qualité de l'infrastructure routière.

## 2. GESTION DU PATRIMOINE

Même si au niveau des administrations routières un certain système de gestion du patrimoine n'est pas opérationnel, il y a des préoccupations d'implémentation de tels modèles tant au niveau de l'administration des routes nationales qu'au niveau de certaines administrations de routes départementales. Le modèle pris en considération est HDM4, en vue d'établir les priorités des travaux dans les limites d'un budget préétabli.

Comme exemple on présente l'étude réalisée dans le cadre d'une administration de routes départementales du nord-ouest de la Roumanie (le département du Salaj), en considérant un nombre de 24 routes départementales avec une longueur totale de 431 km (254 km de routes modernisées avec revêtements bitumineux ou en béton de ciment, 142 km de routes empierrées, 4 km de routes a revêtements en pavage et 31 km de routes en terre). L'état technique des routes analysées est mauvais et très mauvais sur 297 km (68,6 %), et le nombre de secteurs homogènes qui composent les respectives routes est de 124 (113 secteurs homogènes à l'état technique mauvais et très mauvais, respectivement 11 secteurs homogènes à l'état technique bon et moyen).

Les besoins de réhabilitation sont déterminés à base de la capacité portante et de la classe technique de la route, conformément aux spécifications techniques en vigueur. L'analyse de détermination des priorités d'entretien est réalisée à l'aide du programme HDM4, en utilisant le concept d' „analyse du cycle de vie”, pour deux taux d'actualisation de 5 % et de 10 %, la période analysée étant de 20 ans. L'étude de priorité est réalisée du point de vue économique. A ce but on a conçu une base de données qui est alimentée avec des données concernant l'état technique des routes, des ponceaux, des dispositifs de drainage des eaux et d'inventaire de la chaussée et qui contient des fichiers sur :

- les routes (données générales chaussée, données techniques chaussée, type de revêtement, zone intra-muros, dispositif collecte des eaux, parapets, profils transversaux, état de dégradation, capacité portante, planéité, données du trafic, conclusions et recommandations routes) ;
- les ponts (état technique ponts, conclusions et recommandations) et
- les ponceaux et les ouvrages d'art (état technique ponceaux, état technique ouvrages d'art),
- respectivement rapports (chaussées, ponceaux, ouvrages d'art et ponts).

La base de données est réalisée en MS Acces2007, comme moyen de travail monoposte pour minimiser les coûts et pour pouvoir rouler indépendamment sans server.

Pour la conception des menus on a choisi une présentation simple sans chargement graphique et on a essayé une optimisation des pages de menu pour faciliter l'utilisation (le plus intuitif possible), pour l'accès facile on a choisi un menu du type arbre. La base présente quatre branches importantes : routes, ponceaux, ouvrages d'art et ponts. En principe, la base peut être décomposée en quatre bases distinctes (voir plus haut).

La définition des détails du projet consiste à préciser les données de trafic pour chaque secteur homogène (trafic moyen journalier annuel, MZA, au niveau de dernier recensement général de circulation réalisé en 2005, la composition du trafic sur types de véhicules au commencement du programme, l'évolution du trafic pendant la période 2009-2025 sur les routes départementales prises en compte).

La spécification des alternatives a été faite à base des données du terrain déterminées antérieurement (état de dégradation, type de revêtement routier et trafic estimé), pour chaque secteur homogène, en prenant en considération les solutions techniques de renforcement des structures routières existantes. Les bénéfices obtenus par les utilisateurs sont évalués en partant d'une base réelle qui représente l'alternative où on ne fait aucun investissement ou amélioration, donc on a défini un scénario „sans projet” ou „minimum à réaliser”.

Dans le scénario „sans projet” (dans HDM4 – l'alternative Bases Alternatives) on a déterminé que les routes ne seront pas réhabilitées, il y aura seulement des travaux d'entretien minimal.

Le scénario „avec projet” (dans HDM4 – travaux) consiste en :

- renforcement sur des secteurs avec revêtement bitumineux ou en béton de ciment ou réalisation d'un tapis ;
- reprofilage de l'empierrement, complètement avec 12,0 cm pierre concassée et réalisation d'un revêtement bitumineux en deux couches ou d'un tapis hydrocarboné ;
- réalisation d'une structure routière neuve sur les secteurs en terre ;
- envisagement de travaux d'entretien après modernisation (réalisation d'un enduit superficiel programmé et d'un tapis hydrocarboné de 4,0 cm d'épaisseur), an d'application 2014 pour l'enduit et 2019 pour le tapis pour les routes en longueur de moins de 15 km, et 2015 pour l'enduit et 2020 pour le tapis pour les routes de plus de 15 km de longueur. Pour chaque année on a prévu l'entretien courant qui inclue des travaux de réparation du revêtement et des travaux de curage des fossés et de déneigement.

Pour chaque secteur pris en considération on a déterminé une seule variante d'investissement. L'analyse a été réalisée à l'aide du programme HDM4 sur les 124 secteurs homogènes, en utilisant le concept d'„analyse du cycle de vie”, pour deux taux d'actualisation de 5 % et de 10 %, la période analysée étant de 20 ans. En vue d'assurer les conditions nécessaires à l'établissement des priorités, tous les secteurs ont été considérés à être soumis à des travaux de réhabilitation pendant les premières deux années. HDM considère ces années comme étant 2009 et 2010.

On a considéré que l'indicateur de choix Bénéfice/Coût offre la meilleure méthode de priorisation des routes d'un réseau prédéfini. Cette méthode suppose la sélection d'une multitude d'options d'investissements à base de la valeur NPV/Coût, respectivement avec le plus haut NPV/Coût. Les indicateurs économiques NPV, RIR ne sont pas recommandés comme critères de priorisation dans l'analyse au niveau du programme. Nous précisons que pour le taux d'actualisation de 5 % la liste comprend seulement 113 secteurs des 124 mentionnés, et pour le taux d'actualisation de 10 % la liste comprend seulement 82 secteurs des 124, car le reste (11 secteurs, et respectivement 42 secteurs) enregistrent des résultats négatifs (RIR négatif) ou plus petits de 5 %, respectivement 10 %.

Suite à des contraintes budgétaires (budget disponible pour la période 2009-2011 = 15,0384 mil Euros – avec TVA), le résultat de l'analyse a conduit à distribuer les travaux sur 12 secteurs homogènes de ceux analysés.

On apprécie qu'une application plus large du modèle HDM4 pour le réseau des routes publiques contribuerait aussi à une meilleure justification des demandes de financement pour l'accès aux fonds structureaux (chapitre auquel la Roumanie est encore déficitaire).

Au cas où il est nécessaire d'accéder aux fonds structureaux, on rédige la documentation pour obtenir le financement. L'accès aux ressources financières (Fonds structureaux,

Banque Mondiale, Banque Européenne d'Investissements, Banque Européenne pour la Reconstruction et le Développement) réclame la poursuite de certaines étapes et le parcours des pas demandés par la personne qui finance. Quelle que soit la personne qui finance, la justification de la demande de financement, de l'analyse des opportunités et de l'analyse économique, par le modèle HDM conduira à une meilleure compréhension et pointage du projet.

### 3. CARACTÉRISTIQUES DE LA SURFACE DE ROULEMENT

En Roumanie, la méthodologie d'évaluation de l'état technique est partie intégrante du système de gestion optimisée des structures modernes. L'état technique est déterminé en vue de planifier les travaux d'entretien périodique et respectivement des travaux de réparation courante, travaux qui recherchent l'adaptation permanente des structures de résistance aux sollicitations du trafic routier.

L'état technique des revêtements modernes est évalué à base de la planéité de la surface de roulement, de la rugosité du revêtement routier, de la capacité portante de la structure routière et de l'état de dégradation. La mesure des caractéristiques mentionnées se fait sur toute la longueur du réseau routier, sur des secteurs homogènes de route caractérisés par les mêmes paramètres, qui sont : les caractéristiques du trafic, le type de chaussée, l'année de la modernisation ou du dernier travail d'entretien ou de réparation courante.

La planéité est une caractéristique fonctionnelle de la route exprimée par l'indice de planéité IRI. La détermination de la planéité est réalisée au niveau national avec l'équipement suivant: analyseur de profil en long APL 72 (1 équipement), BUMP Integrator (2 équipements), HAWKEYE 2000 (1 équipement), Road Surface Profiler RSP (1 appareil).

Les mesures réalisées périodiquement ont permis la classification du réseau routier selon la planéité et une répartition en pourcents par intervalles de variation de l'indice de planéité IRI, conformément au tableau 1.

Tableau 1 – Classification des routes selon l'indice de planéité IRI

| Qualificatif | Catégorie de route nationale |                  |                  |
|--------------|------------------------------|------------------|------------------|
|              | Européenne                   | Principale       | Secondaire       |
| BON          | < 3,5 (38 %)                 | < 4,0 (32 %)     | < 4,5 (33 %)     |
| MOYEN        | 3,5 – 5,5 (42 %)             | 4,0 – 6,0 (38 %) | 4,5 – 6,5 (37 %) |
| MAUVAIS      | > 5,5 (20 %)                 | > 6,0 (30 %)     | > 6,5 (30 %)     |

Par exemple, la situation des routes européennes est celle présentée dans la figure 2.

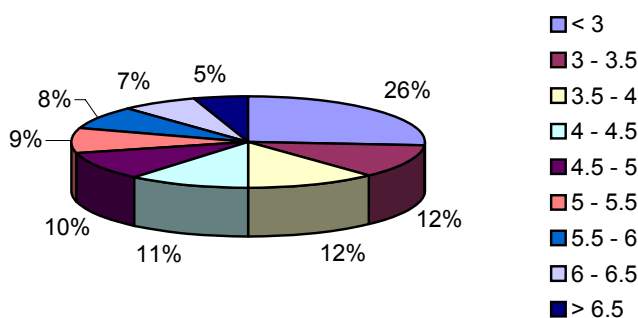


Figure 2 – Distribution en pourcent de l'indice de planéité IRI sur les routes européennes

La rugosité de la surface du revêtement routier est une caractéristique fonctionnelle de la route caractérisée par les valeurs SRT (Skid Resistance Tester) et HS (Hauteur Sable). La rugosité de la surface du revêtement routier est mesurée avec les équipements suivants : Griptester (1 équipement), HAWKEYE 2000 (1 équipement), HAWKEYE 1000 (1 équipement). Les valeurs admises en Roumanie sont celles présentées dans le tableau 2.

Tableau 2 – Classification des routes selon la rugosité

| Qualificatif | Rugosité |           |
|--------------|----------|-----------|
|              | SRT      | HS        |
| MAUVAIS      | <55      | <0.2      |
| MEDIOCRE     | 55...70  | 0.2...0.6 |
| BON          | 70...80  | 0.6...0.7 |
| TRES BON     | >80      | >0.7      |

La capacité portante de la structure routière est déterminée aujourd'hui sur les routes nationales avec les déflectomètres à charge dynamique (5 équipements) du type Phonix MLY 10000 et Dynatest 8000 FWD. Les mesures réalisées périodiquement ont permis la classification des routes nationales selon la capacité portante et une répartition en pourcentage des déflexions sur des intervalles de variation (tableau 3).

Par exemple, dans le cas des routes européennes, la répartition des déflexions mesurées est présentée dans la figure 3.

L'état de dégradation est une caractéristique structurelle qui est déterminée par l'examen visuel de la surface de roulement. L'évaluation des défections constatées (qualitativement et quantitativement) est faite en déterminant des indices globaux de l'état de dégradation (on peut déterminer l'indice global de dégradation IG ou l'indice de dégradation ID).

Tableau 3 – Classification des routes selon la valeur des déflexions

| Qualificatif | Catégorie de route |                |                 |
|--------------|--------------------|----------------|-----------------|
|              | Européenne         | Principale     | Secondaire      |
| BON          | < 65 (49 %)        | < 75 (50 %)    | < 75 (50 %)     |
| MOYEN        | 65 – 80 (22 %)     | 75 – 80 (10 %) | 75 – 100 (20 %) |
| MAUVAIS      | > 80 (29 %)        | > 85 (40 %)    | > 100 (30 %)    |

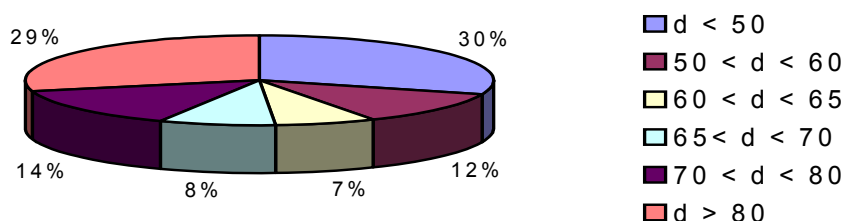


Figure 3 – Répartition des déflexions mesurées sur les routes européennes

Pour avoir une image de l'état technique des routes nationales les facteurs de décision peuvent visualiser sur des plans thématiques la répartition des secteurs de route homogènes caractérisés par les mêmes paramètres ou ayant le même qualificatif d'état technique. Par exemple, l'extension des fissures est visualisée conformément à la figure 4.

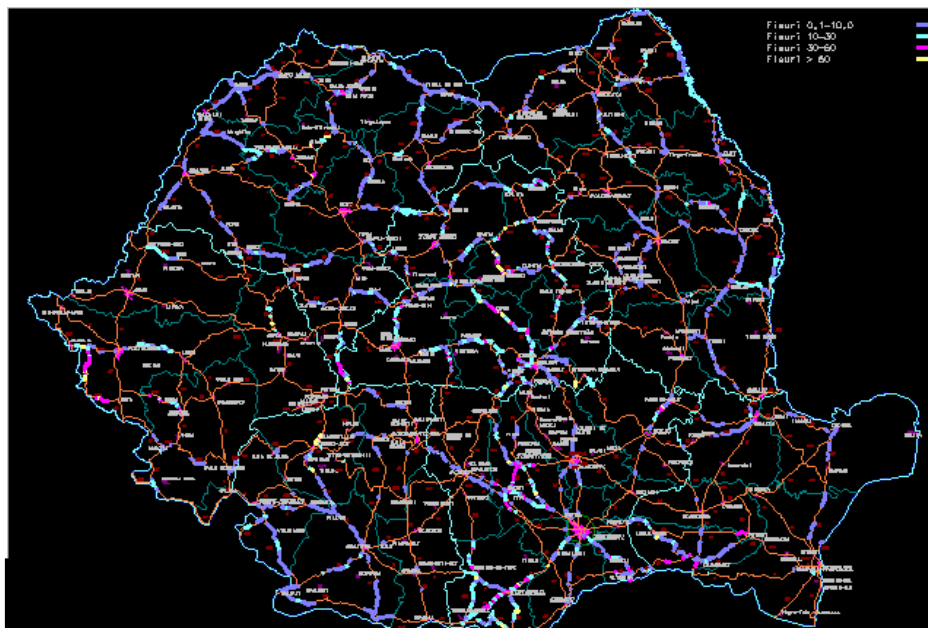


Figure 4 – Situation de l’extension des fissures sur des secteurs homogènes (routes nationales)

L’état technique d’un secteur homogène de route est déterminé par l’analyse simultanée des qualificatifs obtenus pour les quatre caractéristiques mentionnées antérieurement. L’état technique pourra être encadré dans l’une des cinq classes retenues par les standards roumains (très bonne, bonne, médiocre, mauvaise et très mauvaise). Selon le qualificatif accordé à l’état technique, le bénéficiaire de la route respective peut décider sur la catégorie des travaux d’entretien nécessaires, à base des spécifications des standards en vigueur.

#### 4. CHAUSSÉES ROUTIÈRES

La Roumanie a adopté il y a quelques années de nouvelles méthodes de dimensionnement tant pour les chaussées souples et mixtes que pour les chaussées rigides.

Selon ces modèles, le trafic de calcul représente le nombre d’essieux standard a charge de 115 kN qui va circuler sur la bande de circulation la plus sollicitée sur l’entière durée de vie considérée (en équivalant les véhicules physiques qui vont circuler effectivement). On a défini six classes de trafic : du très léger  $T_1 \leq 0,03$  millions essieux standard (msa), à l’exceptionnel  $T_6 > 3,00$  millions essieux standard (msa). La distribution sur des secteurs homogènes des routes nationales est représentée dans la figure 5.

La méthode de calcul des chaussées souples et mixtes est basée sur le modelage de la structure de résistance et du terrain de fondation dans un massif réalisé en maximum cinq couches, suivi du calcul des tensions et des déformations spécifiques sous un semi essieu standard de 57,5 kN. La solution analytique est réalisée par le modèle Burmister ; les couches considérées sont caractérisées par des liaisons parfaites aux interfaces, et le programme de calcul utilisé est nommé CALDEROM 2000.

Les critères de dimensionnement sont les suivants :

- déformation spécifique de traction admissible à la base des couches bitumineuses ;
- déformation spécifique de compression admissible au niveau de la plate-forme ;



- tension de traction admissible à la base des couches en granulats naturels stabilisés avec des liants hydrauliques ou pouzzolaniques (seulement pour des chaussées mixtes).

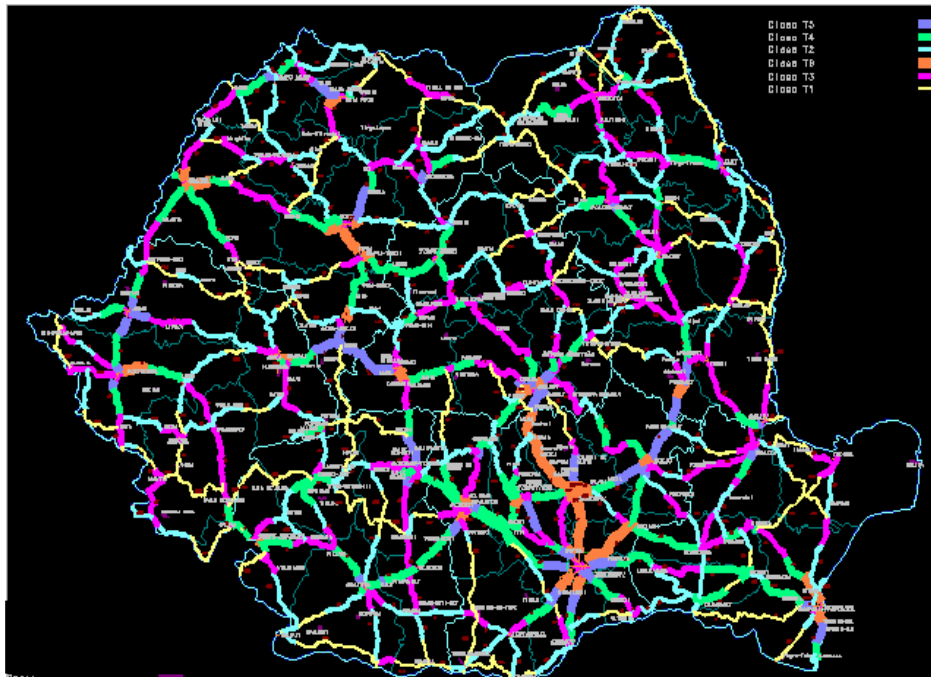


Figure 5 – Distribution du trafic sur le réseau de routes nationales

Le dimensionnement des chaussées rigides est basé sur le critère de la tension de traction en flexion admissible du béton de ciment ( $\Gamma_{adm}$ ). Le schéma de calcul de la méthode est le modèle à élément finit réalisé par le procédé multicouche, réalisé d'une dalle en béton et la couche équivalente aux couches réelles sur lesquelles s'appuie la dalle.

Les principales recherches du domaine pointent sur la calibration des méthodes de calcul mentionnées, en partant de l'expérience accumulée. Dans ce sens, partant des hypothèses du modèle CALDEROM 2000, on peut remarquer les recherches concernant l'influence de l'adhérence à l'interface des couches routières sur les résultats offerts par la méthode de dimensionnement. Les recherches ont utilisé les programmes de calcul ALIZE, ELMOD et ABAQUE, tout comme l'équipement Dynatest 8000 FWD pour mesurer l'état de déformabilité des chaussées investiguées. Les conclusions des résultats obtenus sont les suivantes :

- le manque d'adhérence entre les couches détermine l'augmentation des déflexions, d'autant plus que l'interface à laquelle il y a de glissement reste plus proche de la surface de roulement ;
- le manque d'adhérence entre toutes les couches du complexe mène à l'augmentation des déflexions de 36...69 %, mais aussi à un état de sollicitation défavorable des couches routières ;
- le manque d'adhérence entre les couches bitumineuses et les couches non-stabilisées détermine une augmentation significative de la déformation spécifique de traction à la base des couches bitumineuses ;
- la sollicitation au niveau du terrain de fondation est réduite dans l'hypothèse du glissement de la chaussée sur la plate-forme à 38...63 % de celle calculée pour la variante avec adhérence entre les couches ;
- dans le cas du manque d'adhérence entre les couches on arrive à une diminution de 15...30 fois du trafic admissible.

D'ici résulte que le modèle roumain peut conduire à un sous-dimensionnement des structures de résistance dans le cas où on n'obtient pas de l'adhérence entre les couches de la chaussée routière.

D'autre part, on peut remarquer les recherches réalisées sur la piste d'essai accéléré de l'Université „Gheorghe Asachi” de Iasi.

#### 4.1. Recherche et développement des chaussées rigides durables (LLRP)

Les travaux de recherche pour la conception et le développement des chaussées rigides durables ont fait partie du projet de collaboration de l'Union Européenne EcoLanes fondé sur le domaine thématique du Transport Durable de Surface du 6eme Programme de la Communauté Européenne. L'objectif principal de ce projet a été le développement des infrastructures routières pour les transports de surface en utilisant les technologies de compaction conventionnelles et à rouleau combinées avec des bétons armés avec des fibres d'acier récupérées des pneus usés, en cherchant des bénéfices exprimés en termes de réduction du temps, coûts et consommation d'énergie pendant la construction des routes. En parallèle avec l'Essai du Chargement Accéléré (ALT), réalisé dans la facilité ALT-LIRA existant à l'Université Technique „Gheorghe Asachi” de Iasi (voir figure 6), on a réalisé des projets démonstratifs dans de différentes régions européennes.

Pour l'essai ALT du projet EcoLanes on a utilisé deux types de bétons armés avec des fibres d'acier :

- (SFRC) béton armé à fibres d'acier, compacté par vibration ;
- (SFRC) béton compacté à rouleau armé à fibres d'acier, compacté par cylindrage.



Figure 6 – Le système de chargement

En vue d'évaluer l'effet des fibres sur les chaussées en béton compactées par vibration, on a proposé de construire quatre types de chaussées sur la facilité ALT, comme suit (voir figure 7) :

- secteur 1 – béton non-armé BcR 4.5,  $d_{\max} = 25$  mm, L=6 m ;
- secteur 2 – SFRC, avec 3 % fibres SRSF (du type ADRIA),  $d_{\max} = 16$  mm, L=6 m ;
- secteur 3 – SFRC, avec 3 % fibres SRSF (du type ADRIA),  $d_{\max} = 16$  mm, L=8 m ;
- secteur 4 – SFRC, avec 3 % fibres SRSF (du type ADRIA),  $d_{\max} = 16$  mm, L=10,5 m.

Comme montré dans la figure 7, tous ces secteurs ont une dalle de 20 cm en épaisseur placée sur une couche de fondation en grave-ciment ( $h = 15$  cm) mise sur une sous-couche de fondation en grave avec la même épaisseur. Il sera ainsi possible de comparer les performances de la dalle non-armée (secteur 1) avec celles de la dalle SFRC, ainsi que celles des secteurs SFRC ayant des dalles de différentes longueurs (6 m, 8 m et 10,5

m), en étudiant les contraintes développées dans les dalles, en utilisant les mesures périodiques réalisées avec des traducteurs spécifiques placés à la base des dalles.

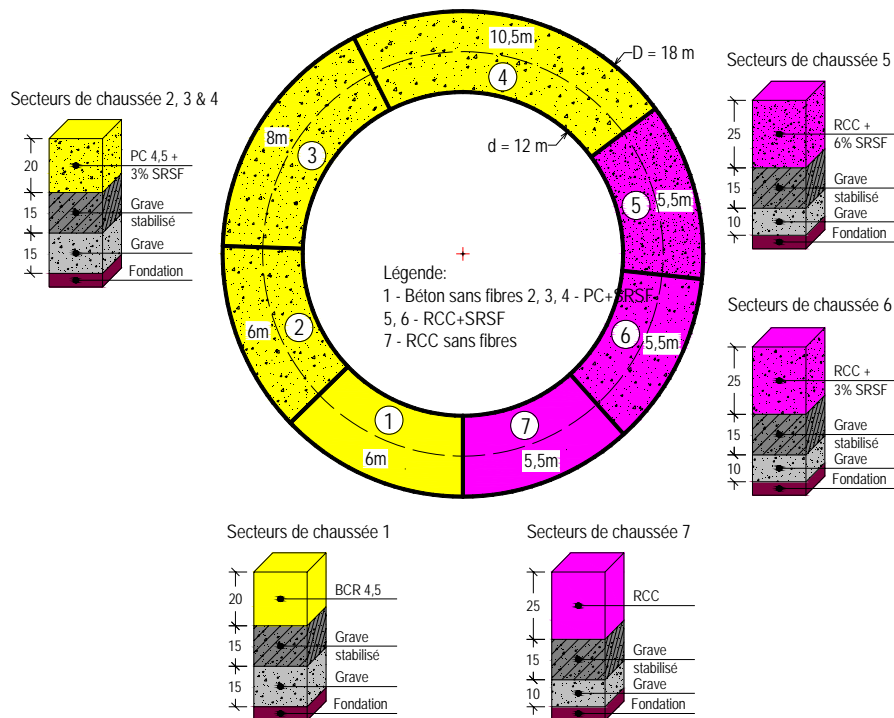


Figure 7 – Secteurs expérimentaux construits sur la piste circulaire ALT

Ainsi, en relation avec la figure 7, on a construit trois secteurs (5, 6 et 7) avec la même longueur de 5,5 m, mais réalisés avec du béton préparé avec des pourcentages différents de fibres (6 %, 3 % et sans fibres). En envisageant que les sollicitations du trafic seront appliquées directement sur la surface du RCC, en vue de préserver le même niveau de la surface de roulement sur toute la piste circulaire ALT, l'épaisseur initiale de 20 cm de la dalle RCC a été supplémentée à 25 cm. Les dalles RCC sont placées sur une couche de fondation en grave-ciment ( $h = 15$  cm), appuyée sur une sous-couche de fondation en grave ( $h = 10$  cm) ; l'épaisseur totale de la chaussée sur la piste ALT est la même (50 cm).

Tous ces secteurs ont été soumis à un total de 1,5 millions passes de l'essieu standard (msa) de 115 kN, les déformations et les sollicitations aux différents niveaux de la chaussée étant enregistrées par des traducteurs spécifiques placés comme montré dans la figure 8.

Les projets de démonstration ont été réalisés pendant et après la finalisation du programme, en vue de valider et d'implémenter les résultats de la recherche en quatre types de climat et d'économie d'Europe dans les pays suivants : Cyprès, Roumanie, Turquie et le Royaume Uni.

Les résultats synthétiques finals concernant l'épaisseur de la dalle conçue pour les secteurs démonstratifs sont présentés dans le tableau 4. Selon ces résultats on a conclu que malgré les variations observées dans les conditions climatiques et de trafic des différents projets démonstratifs, l'épaisseur des dalles est très similaire, mais leur comportement est différent en considérant les différences significatives du trafic et de l'environnement. La surveillance de ces projets démonstratifs sera continuée pendant une période de 10 à 15 années en vue d'en évaluer les performances.

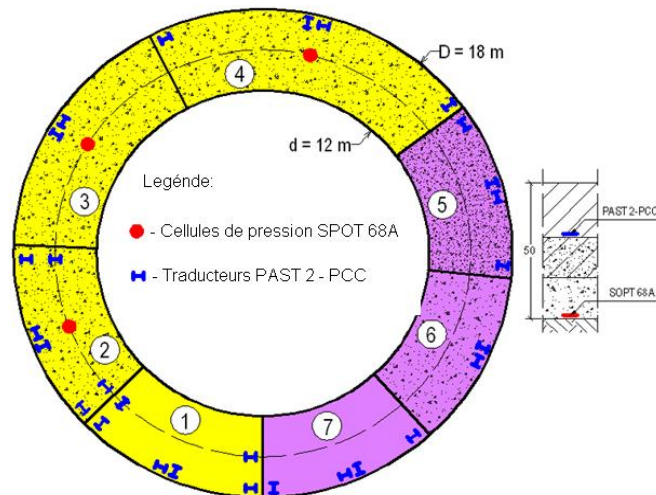


Figure 8 – Placement des transducteurs sur les secteurs expérimentaux

Tableau 4 – Epaisseur des dalles dans les différents projets démonstratifs

|  | Roumanie | Cyprès | Turquie |
|--|----------|--------|---------|
| Trafic de projet (msa)                         | 20.43    | 1.35   | 14.93   |
| Type de climat                                 | III      | II     | II      |
| Module de réaction sous-couche $K_0$           | 42       | 46     | 46      |
| Module de réaction couche de fondation K       | 58       | 58     | 65      |
| Résistance du béton après 28 jours $R_{inc}^k$ | 5.0      | 4.0    | 4.5     |
| Résistance a la flexion $\sigma_{tadm}$        | 3.48     | 3.05   | 3.17    |
| Epaisseur de la dalle en béton                 | 22       | 24     | 23      |

#### 4.2. Recherches et développements des chaussées flexibles durables (LLFP)

Les chaussées flexibles projetées selon les standards existants sont d'habitude surdimensionnées à cause des valeurs réduites du module élastique des matériaux bitumineux prévues dans les normes présentes. L'épaisseur totale des chaussées classiques, utilisées aujourd'hui dans notre pays pour des projets importants d'autoroutes atteint des valeurs significatives entre 80 et 100 cm. En comparaison avec ces pratiques traditionnelles, les chaussées flexibles durables LLFP, conçues sur des principes nouveaux et impliquant l'utilisation de matériaux de haute qualité comme l'enrobé SMA, mènent à obtenir des chaussées plus minces et plus durables en même temps. Nous allons présenter en ce qui suit quelques exemples de chaussées LLFP qui sont étudiées sur la Piste d'Essais Accélérés ALT-LIRA de l'Université Technique „Gheorghe Asachi” de Iasi (figure 9).

En vue d'évaluer les performances de ces nouvelles chaussées flexibles durables, par comparaison avec les chaussées classiques, on envisage pour le futur proche la réalisation de l'essai illustré dans la figure 10. Il implique l'essai accéléré sur une série de six secteurs de chaussée distincts, y compris trois secteurs classiques témoins (secteur no. 1, 3 et 5) et autres trois secteurs LLFP (no. 2, 4 et 6) construits selon la nouvelle conception LLFP. On a considéré un trafic de 10, 20, 30, 60 et 120 millions essieux standard de 115 kN dans la conception des nouvelles chaussées LLFP et du témoin no. 1, la différence étant que la durée de vie projetée des chaussées LLFP a été considérée deux fois plus longue que celle pour la chaussée traditionnelle.



Construite: 1982

Dimensions

|             |    |
|-------------|----|
| Diametre    | 15 |
| No. de bras | 2  |

Chargement

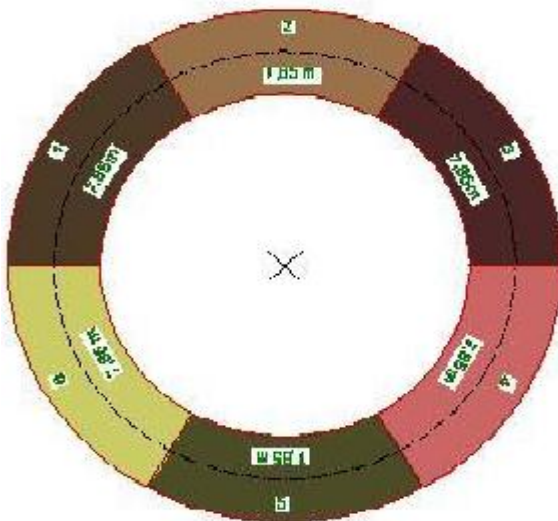
|                                     |          |
|-------------------------------------|----------|
| Classe de chargement <sup>(1)</sup> | 115 KN   |
| Distribution transversale           | ± 300 mm |

<sup>(1)</sup>Charges sur roue (demi-essieu) transformées en charge essieu

Configuration des essieux

|     |
|-----|
| -II |
|-----|

Figure 9 – La Piste circulaire ALT de l'Université Technique „Gheorghe Asachi” de Iasi



- 1.- Chaussée classique utilisée en présent No. 1
- 2.- Nouvelle chaussée durable LLP 1 No.2
- 3.- Chaussée classique utilisée en présent No. 4
- 4.- Nouvelle chaussée durable LLP 3 No.4
- 5.- Chaussée classique utilisée en présent No. 5
- 6.- Nouvelle chaussée durable LLP 3 No.6

Figure 10 – Secteurs expérimentaux à essayer sur la piste circulaire ALT

Pour que les chaussées durables soient viables, elles doivent avoir des performances tant du point de vue économique que technique. Une conception sans défauts de structure, le choix des matériaux adéquats, de bonnes pratiques de construction et la planification des travaux d'entretien de la chaussée sont les plus importantes préoccupations techniques pour obtenir une bonne performance. Un projet efficient, des coûts d'entretien réduits et une longue durée de vie assureront l'économie de la chaussée routière.

Les résultats synthétiques de l'étude comparative des chaussées classiques et LLFP sont présentés dans le tableau 5 et ils ont permis de rédiger les conclusions suivantes :

1. L'utilisation des matériaux bitumineux à module d'élasticité plus élevé (par exemple  $E = 6\ 000 \dots 7\ 000$  MPa) et leur placement selon le concept LLFP a rendu possible la construction des chaussées flexibles avec une épaisseur totale inférieure à celle des chaussées classiques/témoins, mais parfaitement capable de supporter des trafics projetés plus élevés.
2. Ces nouvelles structures sont aussi plus résistantes au gel quand elles sont soumises aux standards roumains.
3. Cet exercice de recherche sera étendu dans l'avenir en considérant une approche de conception parallèle, en utilisant les standards roumains présents et les nouvelles méthodes, développées particulièrement dans le cadre de l'Asphalt Pavement Alliance et aussi avec d'autres méthodes de conception modernes, comme le Mechanistic-Empiric Pavement Design Guide – ME-PDG ou la méthode de UK Highway Agency.

A base des connaissances existantes et des derniers développements dans le domaine, l'activité future va continuer avec la construction des secteurs expérimentaux envisagés sur la piste circulaire ALT de l'Université Technique de Iasi, parallèlement avec la construction de secteurs similaires choisis sur le réseau existant des routes publiques, suivie par la surveillance des performances dans le temps et la rédaction de recommandations spécifiques pour la conception et la construction des chaussées LLFP.

Tableau 5 – Résultats synthétiques de l'étude comparative entre les chaussées classiques et celles LLFP

| Chaussée classique                |                |        |        | Chaussée durable   |                |        |         |
|-----------------------------------|----------------|--------|--------|--|----------------|--------|---------|
| Couche                            | Trafic projeté |        |        | Couche   | Trafic projeté |        |         |
|                                   | 10 msa         | 30 msa | 60 msa |  | 20 msa         | 60 msa | 120 msa |
| Couche de roulement (MASF 16/SMA) | 4              | 5      | 5      | Couche de roulement (MASF 16/SMA)                                  | 5              | 5      | 5       |
| Couche de liaison (B.A.D. 25)     | 6              | 10     | 10     | Couche de résistance à la compression moyenne (Macadam bitumineux) | 25             | 30     | 30      |
| Couche de base bitumineuse - AB2  | 15             | 15     | 15     | Couche à résistance en traction réduite (MASF 8/SMA)               | 5              | 5      | 5       |
| Grave-ciment                      | 20             | 20     | 30     | Sous-couche de fondation   | 25             | 30     | 45      |
| Couche de fondation               | 25             | 35     | 35     | Sol de fondation type P5   | ∞              | ∞      | ∞       |
| Sous-couche de fondation P5       | ∞              | ∞      | ∞      |  |                |        |         |
| Epaisseur totale (cm)             | 70             | 75     | 95     | Epaisseur totale (cm)  | 60             | 70     | 85      |

## 5. GEOTECHNIQUE ET ROUTES NON-REVÊTUES

L'une des principales préoccupations des spécialistes roumains dans ce domaine concerne la réalisation de la couche de forme. Selon les méthodes de calcul des chaussées, la réalisation de la couche de forme est obligatoire dans tous les cas où le module d'élasticité dynamique du sol de fondation est inférieur à la valeur de 80 MPa.

On remarque le fait que les recherches continuent aussi dans le domaine de la justification de la nécessité de réaliser des couches de forme. Il y a des résultats qui montrent, à base du calcul avec la méthode standardisée en Roumanie, que la réalisation d'une couche de forme de 10...50 cm en épaisseur mène à une augmentation significative du trafic admissible, tant dans le cas des chaussées souples que dans celui de chaussées mixtes.

Les technologies utilisées pour la réalisation des couches de forme sont basées sur la stabilisation in situ des sols de la plate-forme avec des liants classiques ou des sous-produits industriels, comme suit :

- stabilisation à l'hydroxyde de calcium, provenant des déchets industriels à contenu élevé de  $\text{Ca(OH)}_2$  (déchet de la production d'acétylène – Linde Gaz Romania), ou de chaux, utilisée sur une vaste échelle, s'appuie sur l'échange ionique de  $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$  avec des ions de  $\text{Ca}^+$ , procédé par lequel l'hydroxyde de calcium en solution aqueuse est homogénéisé avec le sol à stabiliser à l'aide des équipements de recyclage ;
- stabilisation avec le carbonate de calcium précipité, déchet de l'industrie de la soude ou du sucre ; étant partiellement soluble en eau, il met en liberté des ions de

- Ca<sup>2+</sup> avec des effets similaires mais à résultats plus hétérogènes en ce qui concerne la qualité obtenue ;
- stabilisation aux cendres volantes et hydroxyde de calcium qui permet la correction de la granulométrie mais aussi la stabilisation de la réaction des deux composants en solution aqueuse ;
  - stabilisation au laitier granulé de haut fourneau et hydroxyde de calcium, qui représente une variante alternative à la stabilisation des sols aux cendres volantes, là où la source de cendres ne se trouve pas dans une surface économique du point de vue du transport. L'avantage est la quantité plus réduite d'hydroxyde de calcium nécessaire pour activer le laitier, dû à la teneur en CaO plus élevée du laitier par rapport aux cendres ;
  - stabilisation au laitier ou cendre, phosphogypse et hydroxyde de calcium représentant une stabilisation mixte qui, en plus de l'avantage de l'activation basique avec le Ca(OH)<sub>2</sub>, valorise aussi l'activation sulfatée du type sulfate de calcium ;
  - stabilisation au chlorure de calcium qui suit les deux aspects suivants: le contenu de ions de Cl<sup>-</sup> et de Ca<sup>+</sup> facilite l'échange ionique du complexe argileux des sols et maintient la cohésion du sol pendant la saison sèche et chaude.

Une autre préoccupation des derniers temps est l'utilisation des substances chimiques pour améliorer l'état de viabilité des routes en terre. Dans ce sens, on a réalisé des secteurs expérimentaux en utilisant de différentes substances chimiques (T-RRP, NanoSTAB, GEMSTONE, EARTHZIME, SISTEM TERRA, BASE STABILIZER), avec agrémentation de certaines technologies.

Une préoccupation de longue durée des spécialistes roumains concerne la promotion de solutions techniques efficaces pour l'entretien des routes en terre et empierrées. Malheureusement, les administrations des routes locales ne sont pas toujours réceptives à la promotion de telles solutions, en choisissant soit des solutions coûteuses du point de vue économique, soit des solutions qui ne sont pas adaptées correctement aux conditions du terrain.

On retient le fait que pendant la dernière période, à base de la méthode de dimensionnement adoptée en Roumanie, on a proposé des catalogues avec de chaussées types tant pour les routes communales que pour les rues urbaines ou rurales.

On recommande, surtout pour les routes locales à trafic léger et réduit, qui ne disposent pas de réseaux éditaires, la réalisation des chaussées en macadam pénétré imperméabilisé avec un enduit monocouche, respectivement en macadam protégé avec un enduit bicouche.

## **6. CONCLUSIONS**

Les recherches mises en évidence, en détail ou seulement mentionnées, ne sont pas exclusives et on peut remarquer le fait que la Roumanie a réussi, pendant les derniers temps, à moderniser sa base matérielle des laboratoires de recherche ou de contrôle de la qualité des travaux, particulièrement ceux des unités de l'administration des routes nationales, mais aussi ceux de certaines sociétés à capital privé.

On dispose en principe de toute la gamme d'appareils et d'équipements modernes pour analyser la qualité des matériaux routiers, respectivement déterminer à haut rendement les indices d'état technique des routes.

Il y a tout de même un certain retard en ce qui concerne la promotion des résultats obtenus et la réactualisation périodique des investigations concernant l'état technique des routes. Cette condition se reflète aussi dans l'accélération de l'application des modèles de gestion que la Roumanie connaît (HDM4), mais qui sont encore peu utilisés dans la prise des décisions.

Les méthodes de calcul des chaussées ont été réactualisées, en passant aux modèles analytiques. On peut remarquer en présent les recherches qui suivent la calibration des méthodes proposées, respectivement celles qui suivent la conception de chaussées adaptées à un trafic intense et lourd.

Dans le domaine de la géotechnique et des routes sans revêtement, les principales tendances se réfèrent à la justification pour les bénéficiaires de la nécessité de réaliser, dans des conditions bien déterminées, la couche de forme et d'entretenir les routes empierrées ou en terre avec des technologies efficaces. Les scientifiques roumains proposent des solutions techniques qui utilisent surtout des matériaux locaux ou des sous-produits industriels pour réaliser la couche de forme, ainsi que pour créer des chaussées adaptées à un trafic léger et réduit.

## **7. BIBLIOGRAPHIE**

Andrei, R., Boboc, V., Puslau E. (2010). Climatic and ecological aspects of structural design of Long Lasting Rigid Pavements – LLRP for demonstration projects located in different European regions, WSEAS TRANSACTIONS on RECENT ADVANCES in RISK MANAGEMENT, ASSESSMENT and MITIGATION, ISSN: 1790-2769, ISBN: 978-960-474-182-3

Andrei, R., Tanasele, I., Puslau, E. (2010). Preliminary study for implementations of long lasting flexible road pavements in Romania, WSEAS TRANSACTIONS on ENVIRONMENT and DEVELOPMENT, ISSN: 1790-5079, ISBN: 978-960-474-204-2

Vîlcu, C. et Pădure, F. (2010). Gestiunea patrimoniului rutier element al dezvoltării durabile (Gestion du patrimoine routier élément du développement durable). Le XIIIe Congrès National de Routes et de Ponts, Vol I, pages 322-327

Fodor, G., Căpitanu, C., Cioca, S. (2010). Structuri rutiere destinate traficului intens și foarte intens din aglomerațiile urbane (Chaussées destinées au trafic intense et très intense des agglomérations urbaines). Le XIIIe Congrès National de Routes et de Ponts, Vol II, pages 75-85

\* \* \* Lucrări de drumuri. Standarde și normative românești în vigoare (Travaux de routes. Standards et normes roumaines en vigueur)