

LES SOUS MODELES DE DEGRADATION DE CHAUSSEE UTILISES AU MAROC

Mouhcine ALAOUI

Chef de la Division Méthodes de Gestion - DRCR

et

Mohamed HAKKA

Chef de service chaussées - DRCR

Dans le cadre de l'utilisation de modèles d'évaluation technico-économique de projets de renforcement de chaussées, il est nécessaire de disposer de sous-modèles donnant la progression du défaut d'uni des chaussées sous l'influence du trafic.

En effet les principaux avantages que génère une opération de renforcement sur chaussée dégradée proviennent essentiellement des gains en coût d'exploitation des véhicules du fait de l'amélioration de son état d'uni.

Aussi et de manière à pouvoir classer ses projets par ordre de priorité en fonction des avantages qu'ils peuvent dégager pour la collectivité, la DRCR a, dès 1979, commencé à élaborer des modèles de dégradation qui au départ furent basés essentiellement sur des appréciations subjectives faites par des ingénieurs ayant une grande expérience de ce qu'est la route au Maroc.

I/ PRESENTATION DES DIFFERENTS SOUS-MODELES UTILISES AU MAROC.

A/ Modélisation de la dégradation de la route selon Rentaref.

Pour la justification économique du 3^{ème} PGR le modèle utilisé a été le modèle Rentaref (premier modèle d'analyse technico-économique utilisé par la Direction des Routes).

Du fait que la Direction des Routes ne disposait d'aucun élément d'appréciation relatif à la valeur de l'uni des routes, l'idée initiale était d'appliquer sans aucune adaptation le modèle HDM établi par la Banque avec l'aide du TRRL pour les routes du Kenya.

Mais de l'utilisation du modèle HDM sur une section test de route marocaine, il est apparu que le modèle d'évolution de la dégradation établi pour le Kenya n'était pas adaptable pour le cas des chaussées marocaines.

En effet, le test faisait ressortir que sur 10 ans la chaussée ne voyait son uni augmenter que de l'ordre de 600 mm par Km ce qui équivalait à dire que la chaussée ne se dégrade pratiquement pas.

On a expliqué cette anomalie par le fait que deux paramètres fondamentaux intervenant dans l'évolution de la dégradation étaient totalement différents suivant qu'on se situe dans le contexte Kenyan ou Marocain; ces deux paramètres sont :

- Climat (Maroc climat plus sec)
- Trafic (Maroc trafic moins agressif)

C'est pourquoi on a été amené à concevoir un modèle nettement plus simplifié de dégradation de la chaussée, les hypothèses de dégradation étant similaires à celles retenues pour l'étude de la Syrie à savoir augmentation d'environ 1.500 mm/Km 10 ans après renforcement.

Il y a lieu de signaler que deux types de formules ont été retenues :

- 1) Cas de la variante "sans renforcement".

$$R_t = 3.500 + 1.500 \times \frac{A_t}{B}$$

Avec $R_t = 5.000 \text{ mm/Km}$ pour $t = 10 \text{ ans}$

A_t = Trafic cumulé de l'année de référence jusqu'à l'année t .

B = Trafic cumulé de l'année de référence jusqu'à la dixième année.

Faute de campagne de mesures d'uni, toutes les sections identifiées se sont vues attribuer, à l'année de référence, un uni de 3.500 mm/Km en vue de leur analyse.

Les seules interventions prévues dans ce cas consistent en des déflachages et rebouchages de nids de poules.

2) Cas de la variante "avec renforcement".

$$R_t = R_0 + 1.000 \times \frac{A_t^2}{B^2}$$

Avec $R_t = 3.000 \text{ mm/Km}$ pour $t = 10 \text{ ans}$
trafic de l'année de référence
supérieur à 2.000 v/j .

$R_0 = 2.000 \text{ mm/km}$ si couche roulement en EB

$R_0 = 2.500 \text{ mm/km}$ si couche roulement en ES

A_t = Trafic cumulé de l'année de référence jusqu'à l'année t .

B = Trafic de l'année de référence jusqu'à la dixième année.

La forme quadratique montre bien que la chaussée ne subit pratiquement pas de dommages au cours des 4 à 5 premières années.

B/ MODELISATION DE LA DEGRADATION DE LA ROUTE SELON "EVREST".

Le modèle EVREST a été utilisé pour l'évaluation économique du programme d'entretien et de renforcement des routes secondaires et tertiaires (PERST).

En outre, les services centraux de la DRCR disposaient des résultats d'une importante campagne de relevés visuels effectuée sur la totalité du réseau et pour laquelle des dispositions avaient été prises de manière à assurer la plus grande homogénéité dans l'appréciation de l'état des chaussées diagnostiquées.

Juste avant le lancement du programme PERST, la DRCR disposait des résultats de l'étude faite par le BCEOM et relative à l'organisation de l'entretien routier : laquelle étude permettait, suite à l'exploitation des différents paramètres caractérisant une route relevée à différents âges (pour un même type de routes) de faire ressortir :

- a)- Les seuils de l'uni pour les trois états : Bon (A); moyen (B) et médiocre (C).
- b)- Les durées dans les trois états en fonction du trafic et du climat.

Grâce donc à ces deux éléments, il a été possible d'affiner les lois d'évolution de la dégradation qui deviennent :

Pour la période 1 (Etat A; durée a).

$$R_1 = 2.500 + 250 \times \frac{A_1^2}{B_1^2}$$

Avec A_1 = trafic cumulé pendant la période allant de l'année de référence à l'année t

B_2 = trafic cumulé pendant la période a

Pour la période 2 (Etat B; durée b).

$$R_1 = 2.950 + 1.050 \times \frac{A_2^2}{B_2^2} + 200 \times \frac{T_t - T_{fb}}{T_{fb} - T_{db}}$$

Avec A_2 = trafic cumulé pendant la période allant du début de la période b jusqu'à l'année t

B_2 = trafic cumulé pendant la période b

T_{db} = valeur du trafic au début de la période b

T_{fb} = valeur trafic à la fin de la période b

T_t = valeur du trafic à l'année considérée

Pour la période 3 (Etat C; durée c).

$$R_t = 3.850 + 3.150 \times \frac{A^2_3}{B^2_3} + 2.100 \times \frac{T_t - T_{fc}}{T_{fc} - T_{dc}}$$

Avec A_3 = trafic cumulé pendant la période allant du début de la période c jusqu'à l'année t

B_3 = trafic cumulé pendant la période c

T_{dc} = valeur du trafic au début de la période c

T_{fc} = valeur du trafic à la fin de la période c

T_t = valeur du trafic à l'année considérée

Pour l'ensemble de ces formules il apparaît que plus la chaussée "prend" de l'âge et plus la part de la partie quadratique diminue ce qui est tout à fait compatible avec la formule adoptée pour Rentaref.

De même il convient de mentionner, qu'il est prévu, en sus des opérations d'entretien courant, de réaliser un à deux revêtements superficiels par période et ce aussi bien dans le cas de la variante "ne rien faire" que dans le cas de la variante "renforcement".

Ces lois d'évolution sont :

$$(1) \quad R_1 = 3.450 + 72 \times \frac{T}{10^3} - 26 \times \frac{T^2}{10^8} + 2 \times \frac{T^3}{10^{13}}$$

Avec $T < 182.500$ v/an soit le cumul sur une année d'un trafic TMJA < 500 v/j.

$$(2) \quad R_1 = 3.450 + 72 \times \frac{T}{10^3} - 24 \times \frac{T^2}{10^8} + 2 \times \frac{T^3}{10^{13}}$$

Avec $T > 182.500$ v/an soit le cumul sur une année d'un trafic TMJA > 500 v/j.

N.B : La durée de vie prise en considération par le modèle EVREST étant de l'ordre de 30 ans après renforcement; il a été nécessaire de prévoir des lois d'évolution de l'uni pour le cas piste (une chaussée est considérée piste dès que R_t atteint la valeur 4.000 mm/Km dans la formule appliquée à la période 3).

Il convient de préciser qu'une fois atteint le seuil de 8.000 mm/Km, par la valeur R_1 de l'uni, il est prévu de :

- Nivelier et compacter
(si la perte en gravillon reste inférieure à un certain seuil)
- Rapporter du matériau, nivelier et compacter
(si la perte en gravillon dépasse un certain seuil)

C/ Modélisation de la dégradation de la route selon HDM.

La principale loi permettant de caractériser l'évolution de la dégradation de chaussée prise en compte dans le modèle HDM est la loi d'évolution du défaut calculée en additionnant trois éléments :

- 1) Déformation structurelle liée au défaut d'uni, au trafic et à l'indice de structure.
- 2) Etat de surface lié, à la fissuration; au nombre de nids de poule et à la profondeur d'ornièrè.
- 3) Uni dépendant de l'âge et de la fissuration.

$$R_t = R_0 + \frac{1.250 * N}{10(a_i/3 - b_i/3 - i,384i)}$$

Avec $a = (0,20209 + 23,1318 c^2)^{1/2} - 4,8096 c$

$b = (0,20209 + 23,1318 c^2)^{1/2} - 4,8096 c$

$c = 2,1989 - IS_i$

R_0 = Uni de la chaussée après renforcement

N_i = nombre d'essieux standards ayant emprunté la chaussée depuis le renforcement jusqu'à l'année i

$$[IS_i = IS + 3,51 \times \text{Lof CBR} - 0,85 \times (\text{Lof CBR})^2 - 1,43]$$

On voit donc que l'expression représentant la loi d'évolution de l'uni dans le modèle HDM est une expression dans laquelle interviennent d'autres formules donnant les variations des principaux paramètres entrant en ligne de compte dans le processus de dégradation d'une chaussée à savoir :

- Evolution de la fissuration en fonction du sol support, de la pluviométrie, de l'agressivité du trafic.
 - Evolution de la valeur de l'IS en fonction du type de matériau constituant la chaussée, du trafic du sol support, de la pluviométrie etc...
- sans compter la nécessité de disposer de la valeur de l'uni (bump) à l'année de départ.

Donc pour permettre le fonctionnement de ce modèle, il est nécessaire de disposer d'un ensemble de données dont la collecte nécessite des opérations "coup de poing" dans le cas où l'on ne dispose pas d'une banque d'informations. Pour le 4^{ème} PR il a été toutefois possible de procéder à cette collecte dans le cadre de l'étude SETEC.

D/ Modélisation de la dégradation de la route selon le modèle adopté lors de l'évaluation du PRRP.

Le modèle de dégradation des chaussées utilisé pour l'évaluation économique des routes inscrites au programme de renforcement des routes principales est un modèle simple basé sur l'évolution de l'uni au cours des 10 années de la période d'analyse et ce dans les 2 cas (avec et sans renforcement).

1) Variante sans renforcement.

L'uni est supposé croître de son niveau initial mesuré par le CNER (sans toutefois être inférieur à 3.000 mm/Km) jusqu'à une valeur de 7.000 mm/km atteinte à près de 20 années de service.

Le rythme de croissance de l'uni étant celui de la croissance du trafic cumulé.

L'expression de la loi d'évolution adoptée s'écrit comme suit :

$$R_t = R_0 + (7.000 - R_0) \times \frac{(1+r)^t - 1}{(1+r)^{20} - 1}$$

avec r = taux de croissance annuel du trafic.

2) Variante avec renforcement.

La valeur de l'uni est ramenée à 2.000 mm/Km pour les renforcements en enrobé et 2.500 mm/Km pour les renforcements en grave non traitée. Elle est supposée croître jusqu'à la valeur limite de 4.000 mm/Km atteinte après 20 années de service.

Le rythme de croissance de l'uni étant proportionnel au carré du rapport entre le trafic cumulé jusqu'à l'année en question et le trafic cumulé sur 20 ans.

Son évolution est traduite par :

Cas de l'enrobé.

$$R_t = 2.000 + 2.000 \times \left[\frac{(1+r)^t - 1}{(1+r)^{20} - 1} \right]^2$$

Avec r = taux de croissance annuel du trafic.

Cas de la grave non traitée.

$$R_t = 2.500 + 1.500 \times \left[\frac{(1+r)^t - 1}{(1+r)^{20} - 1} \right]^2$$

Avec r = taux de croissance annuel du trafic.

E/ Modélisation de la dégradation de la route selon le modèle adopté lors de l'évaluation du 5^{ème} PR.

Pour l'évaluation économique des routes inscrites en renforcement au 5^{ème} Projet Routier, le modèle de dégradation adopté est également basé sur l'évolution de l'uni pendant les 15 premières années de la période d'analyse.

Cette évolution utilisée indifféremment pour les deux solutions (avec et sans renforcement) suppose une variation de l'uni dans la fourchette suivante :

- Valeur initiale R_0 égale à 2.000 mm/Km ou 2.500 mm/Km selon que le revêtement est un enrobé ou un enduit superficiel.

Ces valeurs minimales correspondent à l'uni d'une chaussée neuve ou qui vient d'être renforcée. Elles résultent de l'exploitation des mesures faites par le CNER sur diverses routes juste après leur construction ou leur renforcement.

- Valeur finale égale à 6.000 mm/Km.

Cas de l'enrobé.

$$R_t = 2.000 + 4.000 \times \frac{e^{t \cdot r} - 1}{e^{15r} - 1}$$

Avec r = taux de croissance annuel du trafic.

Cas de l'enduit superficiel.

$$R_t = 2.500 + 3.000 \times \frac{e^{t \cdot r} - 1}{e^{15r} - 1}$$

Avec r = taux de croissance annuel du trafic.

Cette loi a le mérite de prendre en considération, pour la solution sans projet, l'âge estimé de la chaussée et correspondant à la valeur mesurée de son uni.

Conclusion

Vu l'influence, de la loi de dégradation adoptée, sur les choix des investissements en matière de gestion globale du réseau routier, la DRCR, consciente de l'importance que revêt une bonne maîtrise du comportement des chaussées constituant son réseau, s'est doté d'un important organisme de recherche routière (CNER) dont l'un des principaux rôles est justement de parvenir à modéliser le comportement des différentes chaussées constituant le réseau, ce qui permettra de pallier la subjectivité des lois d'évolution élaborées jusqu'à présent qui ont été établies suite à l'exploitation d'au plus deux campagnes complètes du Bump.

C'est dans ce but que la DRCR a mis en place en 1989 un groupe de travail ayant pour mission de formaliser la mise en oeuvre d'une Banque de Données Routières dont l'exploitation des données constitue un point de passage obligé pour l'élaboration d'une loi prenant réellement en compte les évolutions des paramètres caractérisant le comportement des chaussées.