

STRATEGIE D'AMENAGEMENT DES ROUTES ETROITES

E. DE SAMBUCY

Conseiller Technique à la Direction des Routes et de la Circulation Routière

L'ingénieur ayant à rénover la chaussée d'une route à une voie de circulation bidirectionnelle, c'est-à-dire possédant une largeur revêtue inférieure à 5 m, se trouve confronté au dilemme de savoir s'il est opportun de coupler cette opération de maintenance à un élargissement de la chaussée. Le choix à effectuer est important car il engage l'avenir pour la durée de vie du renforcement. Ce choix se pose fréquemment car la proportion des routes revêtues dont la largeur de chaussée est inférieure à 5 m est de 59%.

Il s'agit, en fait, de résoudre un problème de capacité, en répondant à la question suivante : "Est-ce-qu'au cours des 10 années à venir, la croissance du trafic sera telle que la capacité offerte par la chaussée à une voie de circulation bidirectionnelle deviendra insuffisante pour assurer à l'usager un niveau de service satisfaisant?"

En supposant que l'on sache répondre à cette question par la définition de seuils de capacité technique reliant la largeur au trafic, nous n'aurons cependant pas résolu le problème en raison de l'interaction entre les opérations de renforcement et d'élargissement. Si d'un point de vue physique l'élargissement ne procure pas à la chaussée existante une plus grande résistance, en revanche il réduit la répétition des charges sur cette dernière et contribue au ralentissement de sa dégradation. C'est ainsi qu'il peut être globalement rentable de procéder à l'élargissement avant que le seuil de capacité physique ne soit atteint.

Un élément de réponse peut être apporté à ce problème par une approche technico-économique. Elle consiste à effectuer le bilan des coûts et avantages de deux variantes de renforcement : l'une conservant la largeur de la chaussée existante, l'autre consistant à porter la largeur de la chaussée à 6m. A ce stade, un premier problème se pose : faut-il élargir simultanément la plateforme pour conférer aux accotements la largeur spécifiée par l'instruction sur les caractéristiques géométriques des routes de rase campagne? Dans le cas général, celle-ci impose de border une chaussée de 6m par des accotements dont la largeur est de 2m. Une exception est cependant faite pour les routes en zone aride ainsi que pour les sections impliquant de fort terrassements où une largeur d'accotement réduite à 1 m est autorisée.

De notre point de vue nous estimons qu'une chaussée de 6m bordée d'accotements de 1m de largeur constitue une alternative intéressante au cas d'une chaussée de 4m bordée d'accotements de 2m de largeur, dans la gamme de trafic dont la présente communication se propose de déterminer les seuils. La largeur de plateforme sera donc limitée à 8m.

Ces seuils sont définis comme étant les valeurs du trafic à partir desquelles l'élargissement apporte une amélioration à la rentabilité économique de l'opération de maintenance envisagée.

I/ LES AVANTAGES PROCURES PAR L'ELARGISSEMENT.

Les avantages procurés par une opération d'élargissement proviennent de :

A/ La diminution des coûts d'exploitation des véhicules par suite de :

- l'accroissement de la vitesse de circulation des véhicules résultant de l'élargissement de la chaussée;
- la répartition des charges sur 2 voies au lieu d'une seule qui entraîne une moindre dégradation de l'uni;
- l'amélioration de l'uni moyen de la chaussée, résultant de l'adjonction à la chaussée ancienne des deux bandes d'élargissement ayant l'uni d'une chaussée neuve;
- la disparition du roulage sur les accotements lors des croisements ou des dépassements de véhicules qui accentuait leur usure.

B/ La diminution des dépenses d'entretien des accotements et de réparation des rives de la chaussée due à la suppression du passage des véhicules lors des croisements et dépassements.

L'amélioration de la sécurité n'a pas été prise en compte dans l'analyse économique. Il n'a pas été possible de mettre en évidence une liaison entre la fréquence des accidents, la largeur de la chaussée et l'intensité du trafic.

Les avantages procurés par la réduction des coûts de circulation des véhicules engendrée par l'amélioration de l'uni de la chaussée consécutive aux opérations de maintenance, constituent le fondement des calculs de rentabilité des travaux d'entretien. Le modèle HDM 3 permet de les évaluer. Nous ne discuterons pas des principes dans le cadre de cette communication.

C'est l'innovation introduite par l'opération rénovation-élargissement qui retiendra notre attention. Elle consiste à évaluer et prendre en compte les avantages résultant d'une part de la réduction des coûts d'entretien des accotements et des rives de chaussée, d'autre part de la diminution du coût d'exploitation des véhicules provenant de la suppression de l'obligation d'emprunter l'accotement lors des croisements et dépassements.

Pour les évaluer il est nécessaire, dans un premier temps, de déterminer l'occurrence des croisements et dépassements sur une route à une voie de circulation et, dans un deuxième temps, d'estimer les dégâts causés aux accotements et aux rives par les franchissements et circulations qu'ils induisent.

Le dénombrement des croisements et dépassements s'est effectué en supposant que le trafic est composé de 2 classes de véhicules, les véhicules légers (VL) et les poids lourds (PL). Tous les véhicules d'une classe circulent à la même vitesse. Le trafic des 2 sens est parfaitement équilibré. Pour un trafic dans les 2 sens de 1.000 v/j, composé de 70% de VL circulant à 75 Km/h et de 30% de PL circulant à 50 Km/h l'on obtient 558 croisements et 39 dépassements par jour et par kilomètre. Par mesure simplificatrice, compte tenu du faible pourcentage des dépassements, ils seront par la suite assimilés à des croisements quant à leur effets. Pour les routes à une voie de largeur inférieure à 5 m, l'on a considéré que l'un des véhicules impliqués dans un croisement circulait sur l'accotement. Pour les routes à deux voies de largeur comprise entre 5 et 6 m, seuls les croisements impliquant au moins un PL obligent l'un des véhicules à circuler sur l'accotement.

Les dégâts causés aux accotements ont été estimés en déterminant la perte en matériaux à partir de la formulation utilisée par le modèle HMD3 pour les routes non revêtues. L'opération de rechargement de l'accotement est déclenchée lorsque la perte en matériaux atteint 80mm. La périodicité de ce rechargement varie de 6 à 2 ans quand le trafic croît de 0 à 3.000 v/j pour une route de largeur inférieure à 5m en zone non aride.

Les dégâts causés aux rives de la chaussée ont été estimés sur la base des ordres de grandeur indiqués par CJ. HOBAN qui fixe la quantité de matériaux arrachée à 30m³ par kilomètre pour un million de croisement, avec un volume maximum de réparation annuelle de 13 m³/Km. Cette limite est atteinte pour un trafic de 1.600v/j dans le cas d'une route de largeur inférieure à 5 m en zone aride.

Sur ces bases le coût d'entretien supplémentaire des accotements et des rives d'une route de moins de 5m de chaussée en zone non aride, s'exprime par les formulations suivantes :

- entretien des accotements

$$C = 16,40 (T/100)^2 + 4153$$

- entretien des rives

$$C = 7,89 (T/100)^2 - 0,066$$

C étant le coût TTC en DH/Km (1985)

T étant le trafic TMJA 2 sens

soit 9.620,00 DH par Km pour un trafic de 1.500 v/j.

Parmi les autres avantages spécifiques procurés par l'élargissement, il faut examiner celui de la réduction des coûts de circulation des véhicules qui résulte de la suppression de la contrainte d'emprunter l'accotement lors des opérations de croisement et de dépassement. Le coût de circulation sur les accotements peut être assimilé à un coût de circulation sur piste. Ce dernier est en général deux fois plus élevé que le coût de circulation sur chaussée revêtue. En appliquant ce surcroût à la distance parcourue par le véhicule circulant sur l'accotement lors des opérations de croisement et de dépassement, il apparaît une majoration de coût de circulation par rapport au cas normal de circulation sur une chaussée. Celle-ci génère un bénéfice au profit de la stratégie de rénovation couplée avec l'élargissement.

Un dernier avantage inhérent à l'élargissement d'une route étroite a trait à l'augmentation de la vitesse libre des véhicules en raison de la moindre gêne dans les dépassements et croisements. Des mesures de vitesse ont été réalisées sur 12 sections de routes de 4m de largeur caractérisées par un relief plat et des trafics variables quant au volume et à la structure. Ces observations ont permis d'ajuster deux relations linéaires exprimant les vitesses moyennes des VL en fonction du trafic:

$$V_{vl} = 60,21 - 0,01109 \times TJMA$$

$$V_{pl} = 59,52 - 0,01196 \times TJMA$$

Ainsi la vitesse moyenne d'un VL est réduite de 59 à 49 Km/h lorsque le trafic augmente de 100 à 1.000 v/j.

Le temps de parcours s'en trouvera sensiblement allongé, ce qui a pour conséquence d'augmenter le coût de circulation par suite de l'immobilisation supplémentaire du véhicule et de son chauffeur. Par contre, dans la gamme des trafics de l'étude, le temps de parcours sur une route de 6m de largeur de chaussée n'est pas affecté par la variation du trafic, d'où un bénéfice au profit de la stratégie de rénovation couplée avec l'élargissement.

L'effet de la congestion du trafic a été pris en compte en adaptant la vitesse des véhicules au trafic de l'année de mise en service. Elle n'a pas été ajustée au cours de la période d'étude en fonction de la croissance du trafic, ce qui défavorise la stratégie de rénovation couplée avec l'élargissement qui est moins sensible sur ce point que la stratégie sans élargissement.

II/ LES COÛTS DE RENOVATION DE L'ELARGISSEMENT.

Les coûts sont ceux inhérents.

- D'une part, à l'élargissement de la chaussée auquel s'ajoute éventuellement celui de l'élargissement de la plateforme;
- D'autre part, à la rénovation de la structure en place;

Le coût de l'élargissement est variable selon les conditions de climat et de relief. Le relief a une incidence sur le volume et le coût unitaire des terrassements pour l'élargissement de la plateforme, ainsi que sur la quantité des ouvrages d'art qui doivent être prolongés. Le climat a une incidence sur la structure de la chaussée et des accotements en fonction du niveau de trafic supporté.

Le tableau ci-après fournit quelques ordres de grandeur des coûts retenus dans le cas d'une route dont l'état initial est :

- largeur de chaussée 4m
- largeur de plateforme 7m

et le trafic supérieur à 750 véhicules par jour.

Coût des élargissements
unité : DH/Km TTC en 1985

Type de zone (2)	Type de relief (1)		
	Plat (DN < 10m/Km)	Vallonné (10 < DN < 40)	Montagneux (DN > 40)
Aride	133 800	157 500	237 900
Non aride	199 400	222 800	303 500

(1) Relief défini par la dénivelée cumulée DN en m par Km

(2) Suivant catalogue des structures de chaussées

La part de l'élargissement de la plateforme dans le coût total varie de 11% pour une route en zone aride et relief plat à 30% pour une route en zone non aride et relief montagneux.

Le coût de la rénovation (renforcement) de la chaussée existante dépend de la stratégie adoptée. Pour les routes à faible et moyen trafic qui sont celles concernées par l'étude, deux types de techniques sont envisageables.

- Le reprofilage de la chaussée existante par une grave émulsion accompagnée d'un enduit superficiel;
- le rechargement de la couche de base par l'apport d'une assise en grave concassée, imprégnée et revêtue d'un enduit superficiel.

Les épaisseurs adoptées pour chacune de ces techniques sont variables. Dans la cas du reprofilage elles varient de 25 à 45 mm moyen, soit de 20 à 60 Kg de matériaux au mètre carré, suivant l'importance des déformations de la chaussée. Dans le cas du rechargement elles dépendent de l'état structurel de la chaussée en place. Elles varient de 0,15 m (minimum technique) à 0,30 m.

Ces 2 techniques ne sont pas interchangeables. Chacune ayant un domaine propre d'application tenant soit à des considérations économiques, soit à des considérations techniques. Le choix entre l'une ou l'autre est effectué à la suite d'une évaluation technico-économique menée au moyen du modèle HDM3 développé par la Banque Mondiale.

Le tableau ci-dessous fournit quelques ordres de grandeur des coûts retenus dans le cas d'une route comportant une chaussée de 4m et des accotements de 2m.

Coûts de rénovation

Type d'intervention	Epaisseur (cm)	Coût millier Dh/Km (85)	
		Bicouche	Monocouche
* Reprofilage + ES	0,025	121	90/ 95
* Reprofilage + ES	0,035	143	112/115
* Reprofilage + ES	0,045	164	133/135
* Rechargement	0,150	165/169	—
	0,200	—	—
	0,250	234/230	—

($T < 1000v/j$ enduit monocouche - $T > 1000 v/j$ enduit bicouche)

III/ L'ANALYSE ECONOMIQUE

L'étude a été menée en analysant un échantillon de routes fictives obtenu par le croisement de six critères :

- l'uni, réparti en 4 classes (<4000, 4001 à 5000, 5001 à 6000, > 6001 mm/Km);
- le relief, réparti en 3 types (Plat, vallonné, montagneux);
- le climat, réparti en 2 zones (aride, non aride);
- la largeur de chaussée; répartie en 2 groupes (< à 5m et > à 5m);
- la structure de trafic, répartie en 3 classes suivant la proportion de poids lourds (25%, 25 à 45%, > 45%);
- l'évolution du trafic, répartie en 3 classes (<3,5%; 3,5 à 5% > 5% annuel).

Il ne pouvait être question de tester chacun de ces paramètres. Aussi l'analyse a été conduite à partir de 4 cas types, correspondant aux 4 classes d'uni, les autres paramètres ayant les valeurs ci-après : relief vallonné, climat non aride, largeur de chaussée de 4 m, structure de trafic ayant 33,8% de PL et évolution du trafic moyen. Les 4 stratégies de rénovation décrites précédemment ont été appliquées à chacun de ces cas, pour différentes valeurs du trafic. Les calculs ont été répétés en couplant la rénovation d'un élargissement de la chaussée à 6m. En comparant les résultats obtenus, en l'occurrence le bénéfice actualisé par unité monétaire investie, pour les alternatives avec ou sans élargissement, il a été possible de déterminer les seuils de trafic à partir desquels l'opération de rénovation couplée à l'élargissement était plus rentable que la rénovation seule.

Pour élargir le champ de l'analyse aux autres critères, des tests de sensibilité ont été effectués en faisant varier successivement chacun d'eux. Des coefficients multiplicateurs ont été obtenus. Ils permettent de moduler les seuls des 4 cas de base en fonction des particularités propres à chaque route.

Les résultats de l'analyse ont été soumis à un premier tri basé sur les valeurs de l'uni obtenues après exécution des travaux de rénovation et à la fin de la période d'étude. Il a été considéré que les stratégies qui n'abaissaient pas l'uni initial en dessous de 3000 mm/Km et qui ne permettaient pas d'obtenir un uni final inférieur à 5500 mm/Km n'offraient pas un niveau de service satisfaisant à l'utilisateur et devaient être éliminées. C'est ainsi que pour une route supportant un trafic de 1500 v/j avant travaux, un uni initial de 4800 mm/Km, l'on obtient des valeurs de l'uni final s'étageant de 3300 mm/Km à 8000 mm/Km suivant le type de stratégie appliqué (voir tableau ci-dessous et le graphique de l'annexe 1).

Valeur de l'uni final

Type de Rénovation	Uni Initial (mm/Km) après travaux		Uni Final (mm/Km)	
	AE	SE	SE	AE
* Entretien par déflachage	4 500	4 800	7 800	8 000
* Reprofilage de 25 mm	3 700	4 800	6 300	4 300
* Reprofilage de 35 mm	3 400	4 300	4 550	3 580
* Reprofilage de 45 mm	3 000	3 900	3 500	3 240
* Renforcement	2 500	2 500	3 360	3 320

AE = avec élargissement

SE = sans élargissement

Dans ce cas, seules les stratégies de reprofilage en forte épaisseur (45 mm) avec élargissement et de renforcement sont techniquement acceptables.

Après avoir éliminé de l'ensemble des cas étudiés, les types de rénovation qui ne présentent pas un uni satisfaisant, l'on a sélectionné la stratégie optimale, c'est à dire celle dont le bénéfice actualisé par unité monétaire investie est maximum.

A l'examen des résultats, il apparaît que :

1) Toutes les stratégies avec ou sans élargissement donnent un taux de rentabilité interne élevé dans la gamme de trafic examinée de 500 à 3000 v/j le taux de rentabilité interne varie de 36 à 60% suivant l'état initial de l'uni.

2) Pour les trafics faibles, les alternatives sans élargissement offrent une meilleure rentabilité que les alternatives avec élargissement. Il existe un seuil de

trafic au delà duquel la tendance s'inverse. Les seuils obtenus pour les 4 cas types sont les suivants :

Seuils d'élargissement

Type de route	< 4000		4001 à 5000		5001 à 6000		> 6000	
	start	seuil	start	seuil	start	seuil	start	seuil
Zone non aride								
Plat	REP 25 mm	700	REN	1150	REN	1350	REN	1550
Vallonné	REP 25 mm	1100	REN	1750	REN	2000	REN	2100
Zone aride								
Plat	REP 25 mm	500	REN	650	REN	600	REN	1000
Vallonné	REP 25 mm	750	REN	1000	REN	1200	REN	1400

REP = Reprofilage

REN = Renforcement

Les tests de sensibilité effectués en faisant varier les paramètres de composition et de croissance du trafic n'ont pas fait apparaître de variations excédant les limites de la précision de détermination des seuils du cas général. Leur influence peut être ainsi négligée.

Les seuils obtenus en terrain montagneux n'ont pas été retenus car ils excèdent le seuil de trafic tolérable sur une route étroite. Cependant la différence entre les catégories de relief provenant essentiellement du coût de l'élargissement de la plateforme, une route en terrain montagneux peut être assimilée à une route en terrain plat ou en terrain vallonné si ce coût n'excède pas celui pris pour la catégorie d'assimilation. Ce sera notamment le cas d'un élargissement de chaussée sans élargissement de plateforme.

Conclusion

En conclusion, il ressort de l'étude effectuée que :

1) La technique de rénovation par reprofilage est à recommander lorsque l'uni initial n'excède pas la valeur de 4000 mm/Km.

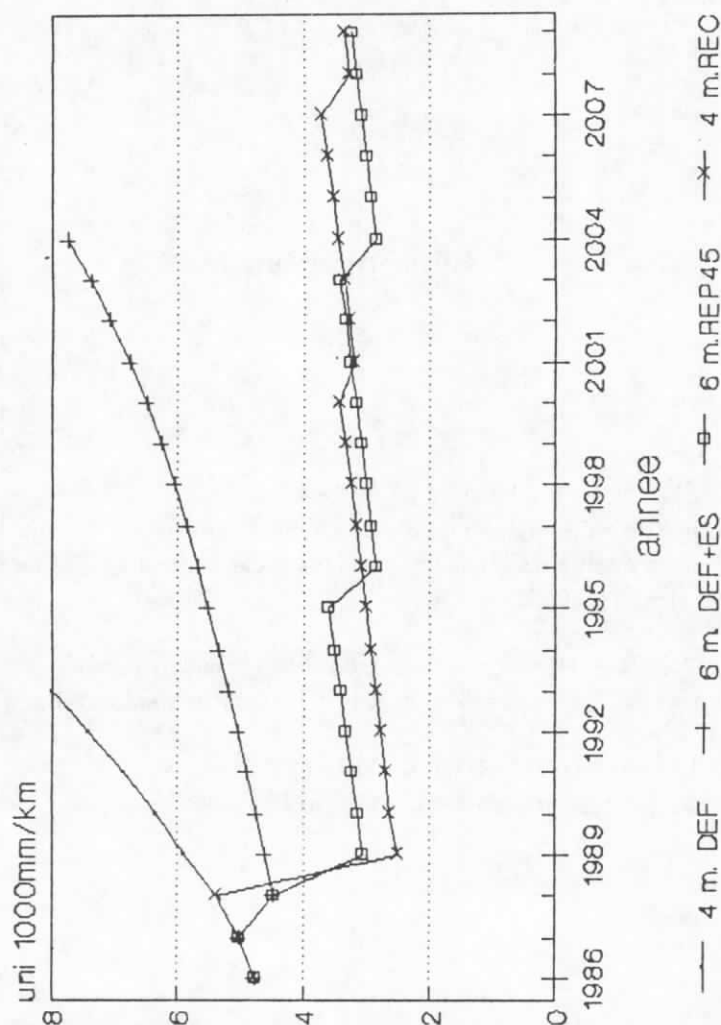
2) Au delà d'un trafic de 500 v/j, il est économiquement rentable de rénover une chaussée de 4 m pour la porter à 6 m quelles que soient les conditions de l'uni initial, de climat et de relief, à condition que l'élargissement de la plateforme n'excède pas un mètre.

3) La rénovation accompagnée d'un élargissement offre une meilleure rentabilité que la rénovation sans élargissement au delà de seuils de trafic qui dépendent essentiellement de la valeur de l'uni initial de la chaussée au moment de l'intervention, ainsi que de l'environnement climatique et du relief de la route.

Bibliographie

- CETE SUD-OUEST - FRANCE - 1988
Occurrence de croisement et demande latente de dépassement dans le cas d'une distribution latente de dépassements dans le cas d'une distribution discrète des vitesses des véhicules.
- CRISTOPHER J. HOBAN - World Bank - Technical paper number 74-1987
Evaluating traffic capacity and improvements to road geometry.
- SETEC ECONOMIE ERT CID - MAROC - 1985/89
Etude des routes secondaires et tertiaires.

EVOLUTION DE L'UNI AVANT ET APRES ELARGISSEMENT A 6 METRES



Trafic 1600 v/j - 35%PL - ZNA - VALLONNE
REP = reprofilage HEC= rechargement
DEF = deflottage