

**APPLICATION DE LA NOTATION
"VIZIR" DES CHAUSSEES AU
CALCUL DES BENEFICES
ECONOMIQUES DES TRAVAUX
D'ENTRETIEN**

**F .BRILLET
LCPC**

RÉSUMÉ

L'entretien des routes, particulièrement dans les pays en développement, doit être optimisé selon des critères technico-économiques; dans ce domaine, l'emploi du modèle HDM-III de la Banque Mondiale est le plus utilisé parmi les outils informatiques. Il n'est pas cependant sans inconvénient lorsque l'on désire l'appliquer à un réseau routier dans son ensemble: en général, on recourt à des sections témoins, supposées représentatives, sur lesquelles l'on doit collecter un ensemble très complet de données.

Aujourd'hui, nous disposons de banques de données et de moyens d'auscultation décrivant en conbnu les réseaux; en France ont ainsi été développés la saisie des données de terrain (appareil DESY, système de notabon VIZIR), les appareils de mesure (Déflectographe, APL) et, plus récemment, l'appareil multifonction CALAO; parallèlement, les banques de données (système MEDOR puis VISAGE) ont connu un grand développement. La question posée est d'utiliser d'une façon rationnelle ces moyens, pour calculer des indicateurs économiques (taux de rentabilité interne et bénéfice actualisé), sur lesquels seront fondés des programmes d'entretien pluriannuels optimisés.

La démarche choisie pour répondre à cette question se déroule comme suit:

- utilisation d'une banque de données pour établir une typologie du réseau (selon le trafic, le type de structure et la note d'état VIZIR);
- calcul des indicateurs économiques, selon des algorithmes simplifiés dérivés des lois contenues dans le modèle HDM-III;
- définition d'un ordre de priorité, permettant de fixer les programmes selon les budgets disponibles;
- projection dans le temps de l'évolution du réseau après les travaux.

INTRODUCTION

Aujourd'hui, nous disposons de banques de données et de moyens d'auscultation décrivant en continu les réseaux; en France ont ainsi été développés la saisie des données de terrain (appareil DESY, système de notation VIZIR), les appareils de mesure (Déflectographe, APL) et, plus récemment, l'appareil multifonction CALAO; parallèlement, les banques de données (système MÉDOR puis VISAGE) ont connu un grand développement. La question posée est d'utiliser d'une façon rationnelle ces moyens, pour calculer des indicateurs économiques (taux de rentabilité interne et bénéfice actualisé), sur lesquels seront fondés des programmes d'entretien pluriannuels optimisés.

Dans le cadre de la présente étude, nous disposons de données décrivant en continu un réseau de 800 km de routes départementales françaises, recevant un trafic moyen (de 1500 à 8000 véhicules/jour). Ces routes étaient caractérisées, avec un pas de 200 m, dans un fichier géré par le système MÉDOR du LCPC; les principales données qui nous intéressent ici sont les suivantes:

- l'uni longitudinal, mesuré à l'APL;
- les dégradations de chaussées, relevées grâce à l'appareil DESY;
- les déflexions mesurées au Déflectographe LPC; le trafic global;
- les largeurs de chaussée;

la nature, l'épaisseur et la date des trois dernières opérations générales d'entretien.

Le but de cette étude était de développer des outils méthodologiques ou de calcul permettant de valoriser les données ainsi obtenues, afin de définir des programmes d'entretien annuels optimisés à la fois sur les plans technique, économique et budgétaire; le principe de base vise à associer à des états de dégradation de chaussées des indicateurs économiques permettant de prendre en compte la rentabilité des travaux; elle comporte plusieurs étapes successives:

1) Calcul de lois donnant le coût à l'utilisateur en fonction de l'état de la route, défini par l'uni;

2) Etude typologique d'un réseau réel: à partir d'une échelle de notation des dégradations, on fixe des valeurs permettant de calculer les coûts à l'utilisateur définis en (1);

3) Simulation montrant l'application de ces principes au réseau, en fonction des programmes de travaux.

Pour le calcul d'une note globale de dégradation des chaussées, la méthode VIZIR [9,10] du LCPC a été appliquée. Les données de base utilisées ici sont relatives à un contexte de routes départementales françaises; cependant, si les résultats chiffrés ne sont pas directement transposables à d'autres contextes, la méthodologie présentée est a priori applicable à de nombreux cas, pourvu que les données de base soient disponibles et que les relations entre les variables étudiées soient suffisamment significatives.

I - LOIS DÉTERMINANT LE COUT A L'USAGER

1.1 objectif

Il s'agit de définir des formules relativement simples, permettant de calculer les coûts supportés par les usagers de la route en fonction de l'état de la chaussée, pour des conditions de géométrie et d'environnement correspondant à des cas typiques français de réseaux à trafic moyen (routes départementales par exemple). Ce travail utilise pour cela les lois contenues dans le modèle HDM III (Highway Design and Maintenance model) de la Banque Mondiale. Ces lois ont été établies au Brésil mais permettent, par une bonne définition des données de base ainsi que divers coefficients de calage, d'obtenir des résultats tout à fait valables dans un autre contexte. Le contexte français a justement fait l'objet, en 1987, d'une telle étude [12], qui a permis de définir neuf catégories de véhicules, et d'établir des prix unitaires (qui, compte tenu de l'inflation, devraient être réévalués d'environ 15 % en 1992). L'échelle d'uni utilisée ici est le Q.I. (pour "quarter car Index"), qui est utilisée de façon interne par le modèle H.D.M. III (mais d'autres échelles sont utilisables, selon des équivalences préconisées par la Banque Mondiale) [2,3].

1.2 - Caractéristiques des véhicules

Cette étude avait pour but de constituer une description du parc français de véhicules, de façon à pouvoir appliquer le modèle HDM III dans un contexte français. Les principales sources de renseignements ont été:

- les comptages généraux de circulation (RN et RD);
- les bascules de pesage dynamique (RN);
- les données techniques pour un certain nombre de véhicules types;
- les avis de spécialistes (CETE et transporteurs).

Les neuf catégories de véhicules définies à cette occasion ont été:

1) les véhicules particuliers "légers" (type Renault 5 ou 11, Peugeot 205 ou 309...): 40 % du total;

2) les véhicules particuliers "moyens" (type Renault 21 ou 25, Peugeot 505...): 40 % du total;

3) les utilitaires légers (PTC < 3,5 tonnes): 5 % du total;

4) les autocars et autobus :10 % des PL, soit 1,5 % du total;

5) les camions "de 13 tonnes" à deux essieux simples: : 20 % des PL, soit 3 % du total;

6) les camions "de 19 tonnes" comportant un essieu à roues jumelées à l'arrière 30 % des PL, soit 4,5 % du total;

7) les camions avec remorque (un essieu simple, trois essieux à roues jumelées): 10%desPL,soit1,5%dutotal;

8) les semi-remorques "de 26 tonnes": tracteur comportant deux essieux, l'un simple et l'autre à roues jumelées, remorque à deux essieux en tandem, avec roues jumelées;

9) les semi-remorques "de 40 tonnes": même tracteur, mais remorque à trois essieux simples: 20 % des PL, soit 3 % du total.

1.3 - Détail des calculs

Le calcul est fondé sur l'application réelle du modèle HDM III à un cas type d'un réseau français, selon le tableau I ci-dessous.

		Sinuosité (degrés/km)			
		0	30	90	360
Pente (%)	0	1	2		
	2	3	4	5	
	5		6	7	8
	10			9	10

TABLEAU I - Caractéristiques de tracé

Pour chacun de ces 30 cas (les dix cas du tableau, combinés à trois largeurs de chaussée, respectivement 5, 6 et 7 mètres), l'évolution de la chaussée a été simulée sur 20 ans, permettant ainsi le calcul pour toute la gamme des unis; les fichiers résultants comportent donc 600 enregistrements, traduisant chacun une combinaison. Ces fichiers décrivent tous les postes de dépenses calculés par HDM III (carburant, pneumatiques, amortissement, temps de parcours...), mais seuls les résultats relatifs au coût global ont été exploitées ici.

Le modèle HDM III utilise des interactions complexes entre les différentes variables, et il n'était pas possible d'établir, sous une forme analytique simple, les lois exactes qu'il contient; c'est pourquoi nous avons recherché des lois approchées par le biais de régressions multiples, donnant des formules du type:

$$Y = A_0 + \sum A_i X_i$$

où chaque variable X_j peut être soit une variable de départ, soit une formule faisant appel à l'une ou à plusieurs d'entre elles. Un cas particulier de la méthode est celle dite du pas à pas, qui sélectionne, parmi une liste de variables, les plus pertinentes; ceci permet de simplifier la formule en ignorant les interactions de faible importance.

Notons que les largeurs conduisent à des interactions nulles ou très faibles, du moins dans la gamme étudiée; ceci est une des faiblesses du modèle, car l'on connaît bien, en France, les effets des élargissements des plate-forme sur les vitesses.

1.4 - Résultats des calculs

Le tableau II donne, pour des coûts économiques (hors taxes) en francs 1987 par 1000 véhicules-kilomètres, les coefficients A_j et la variance expliquée (soit le carré R^2 du coefficient de régression) des formules, pour la variable expliquée (coût total) et les neuf catégories de véhicules. L'on observe que la méthode utilisée est tout à fait légitime (les valeurs de R^2 sont toujours de l'ordre de 0,99); d'autre part les lois obtenues sont assez analogues (mais les coefficients différents) si l'on considère les VL d'une part et les PL d'autre part: d'où la possibilité de regrouper en deux classes, ceci étant d'autant plus intéressant que les neuf catégories sont en pratique difficiles à identifier à partir des comptages courants de la circulation.

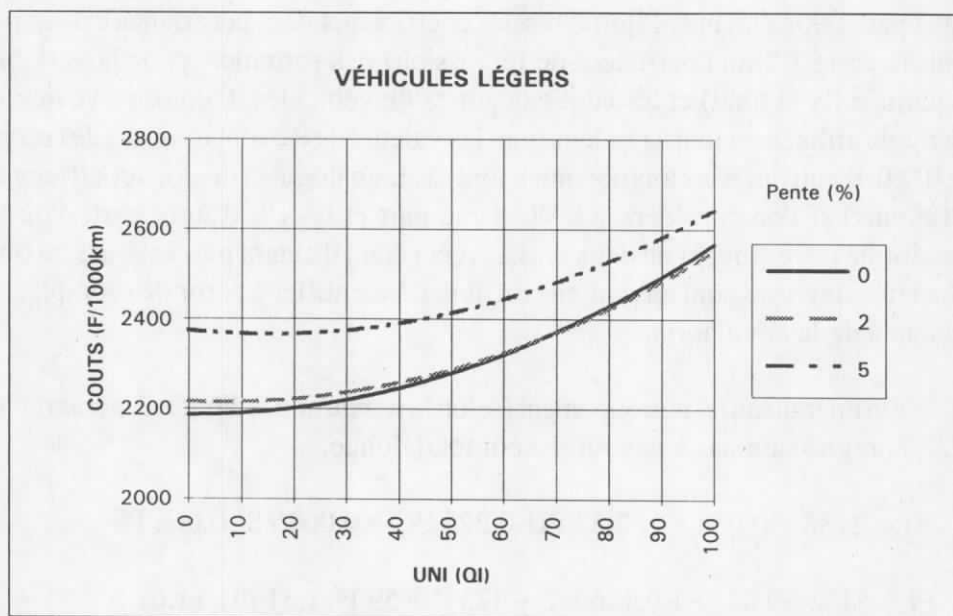
En opérant un tel regroupement (selon la répartition indiquée au paragraphe 1.2), la régression pas à pas sur le coût total donne:

$$VL = 2186 + 0,038 U^2 + 7,57 PU - 0,226 PU + 0,0026 S^2 - 0,068 PS$$

$$PL = 5443 + 9,42 U + 0,116 U^2 + 423 P + 59 P^2 - 1,31 PU + 1,61 S$$

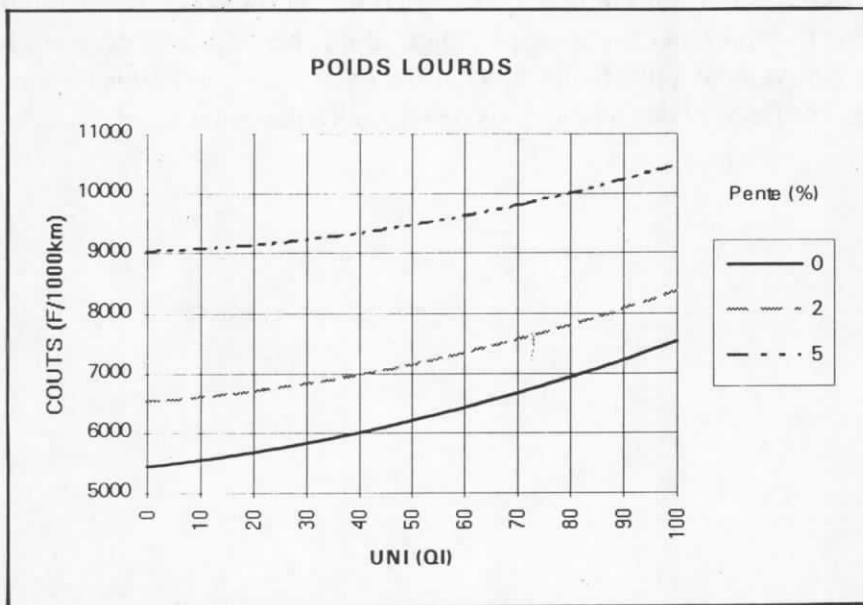
avec U = uni (QI), P = cumul des pentes (%) et S = sinuosité cumulée (degrés/km).

Ces deux relations sont illustrées par les figures 1 et 2, la figure 3 montrant que les résultats de HDM et ceux de ces formules sont très proches.



L'on peut remarquer une assez grande progressivité : l'effet de l'uni sur les coûts apparaît surtout à partir de 40, ce qui constitue dans bien des cas la limite à partir de laquelle une opération d'entretien avec amélioration de l'uni est considérée comme souhaitable. L'effet des pentes est lui aussi progressif : la différence entre la pente 0 et celle de 2 % est pratiquement négligeable.

Figure 1 - coût d'usage des véhicules légers



Ces courbes traduisent une progressivité bien moindre que dans le cas des véhicules légers : nous sommes ici assez près d'un modèle linéaire.

Figure 2 - Coût d'usage des poids lourds

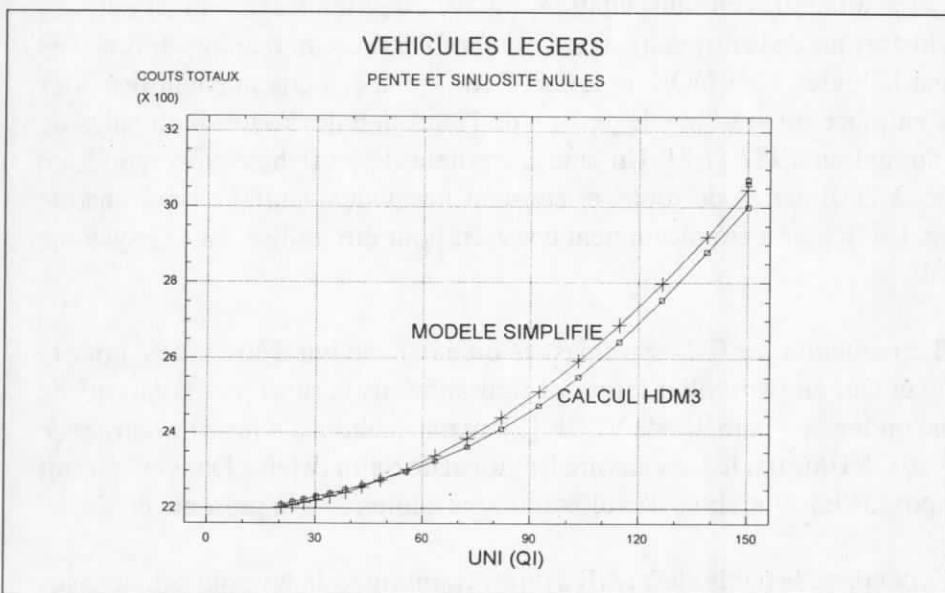
Deux remarques sont à faire sur ces résultats:

1) le coefficient de PU (produit pente-uni) est toujours négatif, ce qui traduit la non additivité des effets: plus la géométrie est contraignante, moins l'uni aura d'influence, et inversement.

2) le poste "temps de parcours" est très élevé pour les autobus, compte tenu des hypothèses qui ont été faites en 1987 (circulation PL comprenant 10 % d'autobus transportant chacun 30 passagers, dont l'heure passée est considérée comme équivalente à une heure de salaire moyen); ces conditions ne sont pas toujours vérifiées, et des adaptations peuvent être nécessaires.

terme	Catégorie de véhicule								
	VL léger	VL moyen	Utilitaire	Autobus	Camion "13t"	Camion "19t"	Camion av rem	Semi-rem "26t"	Semi-rem "40t"
constante	1894.88	2506.41	1917.09	21942.66	2552.47	3092.01	4266.78	4216.73	4723.68
Uni					8.450	13.423	9.491	8.067	11.422
Carré uni	0.033	0.041	0.054	0.435	0.043	0.042	0.117	0.124	0.126
Pente				1484.968	143.580	265.879	319.536	293.476	439.785
Carré pente	7.662	5.747	20.764	310.244	21.789	35.343	38.268	36.548	44.847
Produit pente uni	-0.229	-0.216	-0.302	-5.370	-0.409	-0.442	-1.291	-1.340	-1.504
Sinuosité			1.102	13.962	0.707	0.826	1.437	1.495	1.517
Carré sinuosité	0.003	0.002							
Produit sin uni									
Produit sin pente	-0.077	-0.051	-0.089	-1.177					
Carré du coefficient de régression	0.9938	0.9934	0.9988	0.9988	0.9982	0.9984	0.9977	0.9975	0.9979

TABLEAU II - CALCUL DES COÛTS TOTAUX - REGRESSION PAS À PAS



Les deux courbes, l'une provenant de l'application stricte du modèle HDM-III et l'autre de notre formule, sont très proches : les différences, qui dépassent rarement 1 %, sont bien inférieures à l'incertitude due aux imprécisions sur les données d'entrée.

Figure 3 - Comparaison entre le modèle et la loi approchée (VL)

II - APPLICATION A LA TYPOLOGIE D'UN RÉSEAU

2.1 - Le réseau étudié

Le réseau étudié ici correspond aux routes départementales de première catégorie du Finistère, situé à l'extrême ouest du territoire français. Ce réseau totalise environ 1200 kilomètres, dont environ 800 ont fait l'objet de la présente étude. Ces 800 km ont été traités par une auscultation systématique, utilisant l'A.P.L. (Analyseur de Profil en Long) [4] pour la mesure de l'uni, le DESY [5] pour le relevé des dégradations et le Défectographe Lacroix pour la déflexion (celle-ci n'étant disponible que sur environ 100 km).

Les résultats de cette auscultation, ainsi que des données complémentaires (trafic, historique de l'entretien), ont été rassemblés dans une banque de données gérée par le logiciel MEDOR du L.C.P.C.[6], qui a également été utilisé pour la mise en place du système de gestion de l'entretien des routes nationales de Corée du sud en 1987 [7,8]. Un enregistrement de ce fichier correspond, en principe, à 200 mètres de route, et contient une valeur unitaire pour chaque variable. Ce fichier a été récemment converti pour être utilisé dans le système VISAGE.

Bien entendu, ce fichier n'a pas été créé dans le but d'être utilisé pour la présente étude: en particulier les notes figurant dans la rubrique "notation" ne sont pas fondées sur la méthode VIZIR [9], mais résultent d'une grille d'urgence des travaux définie par le Laboratoire Régional de Saint Briec. Dans ce qui suit sont exposées les modalités d'exploitation particulières à la présente étude.

Cependant, la méthode VIZIR a pu être appliquée dans ce qui suit, tous les éléments nécessaires au calcul figurant parmi les données de base.

Les données suivantes ont été utilisées, soit directement, soit par déduction:

- l'épaisseur, la date et la nature des deux dernières couches de roulement;
- le trafic total; les trois niveaux de déformation;
- les trois niveaux de fissuration;
- les réparations;

- l'uni moyen;
- la déflexion ($m + 26$);

2.2 - Données dérivées

Pour les besoins de la présente étude, des variables supplémentaires ont été créées, selon les conventions suivantes.

Note VIZIR

Le fichier contient tout ce qui est nécessaire au calcul de la note VIZIR [9,10], selon la description de la figure 4. Notons cependant que le système VIZIR n'a pas été appliqué tel quel pour l'utilisation opérationnelle du fichier (la "note structure" est fondée sur des principes un peu différents, prenant en compte le trafic). Les variables utilisées dans ce but sont les trois niveaux de gravité (exprimés en pourcentage de longueur) de fissuration et de déformation, et le taux de réparation. Notons cependant que le fichier ne distingue pas "faïençage" et "fissuration"

Classe de trafic

Les trafics ont été répartis en trois classes: T1 (6000-15000 v/j), T2 (3000-6000 v/j) et T3 (1000-3000 V/j). La variable "taux de poids lourds" n'ayant pas été remplie, c'est la valeur du trafic total qui a été prise en compte.

Q.I.

Nous avons vu qu'au chapitre I l'échelle d'uni utilisée était le "Q.I." (Quarter car Index), pour des raisons de compatibilité avec le modèle H.D.M. III: ici, la seule variable traduisant le niveau moyen de l'uni est le "S.V." (Slope Variance = variance de pente), ou plus exactement la valeur moyenne du

logarithme décimal de $1 + SV$. Pour la conversion en Q.I., nous avons appliqué les équivalences suivantes, déjà utilisées en 1989 sur le même fichier (la première tranche de 400 km) pour une application expérimentale du modèle H.D.M. III en France (T.F.E. de l'ENTPE de J. NDIKUMWAMI et A. BELAHLOU réalisé au L.C.P.C. [11]); les équivalences utilisées pour les dégradations proviennent également de ce travail.

$$PSI = 5,03 - 1,91 \times \log_{10}(1 + SV)$$

$$QI = 72 \times \text{Loge}(5 / PSI)$$

Dégradations

Des dispositions particulières ont dû être prises pour pouvoir traiter les données du fichier selon la méthode préconisée dans le modèle HDM-III; en effet, celui-ci ignore tout système de notation global de type VIZIR, et prend en compte séparément chaque dégradation, selon la surface relative affectée (fissuration et arrachements) ou la profondeur (ornières). Pour cela, les transformations suivantes ont été opérées:

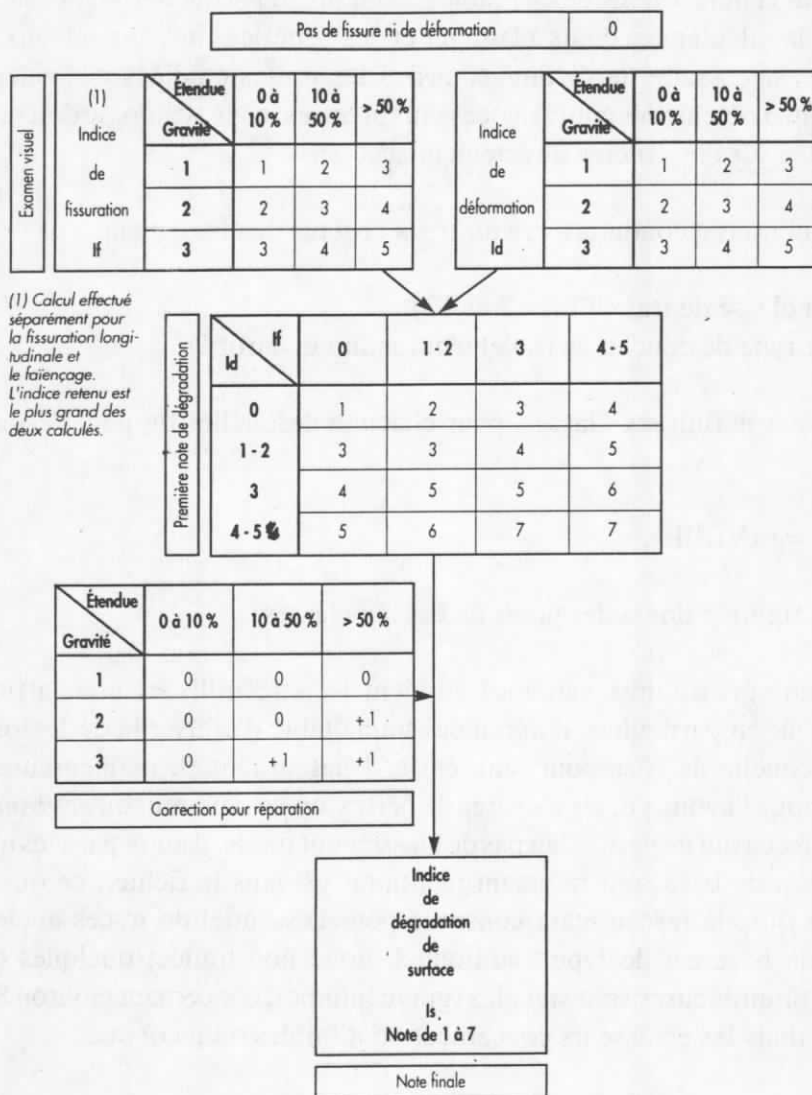
- fissuration totale égale au total des trois taux de fissuration;
- fissuration "large" (selon HDM, plus de 3 mm d'ouverture) égale au taux de fissuration de gravité 3;
- arrachements et ressuage égaux à la somme des dégradations "ressuageglaçage" et "pelade-désenrobage";
- ornière moyenne: calculée par pondération des trois notes de déformation:

$$0,05 D1 + 0,2 D2 + 0,4 D3 \text{ (en millimètres)}$$

Les nids de poules, dont l'existence est prévue tant dans HDM que dans le fichier, sont en fait suffisamment rares pour être ignorés.

Enfin, l'âge des deux dernières couches a été calculé en faisant la différence, en années, entre la date de l'auscultation et la date des travaux (les derniers ou les avant derniers).

FIGURE 4 - Calcul de la note VIZIR



2.3 - Typologie du réseau

L'objectif du travail décrit dans cette deuxième partie est de pouvoir déduire de la note VIZIR des variables d'état (et en particulier le niveau d'uni) utiles pour calculer des coûts à l'usager et des bénéfices liés aux travaux. Pour cela il est nécessaire de distinguer parmi les routes étudiées des catégories permettant d'obtenir des équivalences plus précises; cette typologie doit bien sûr être fondée sur des critères directement accessibles.

Ceci nous a conduits à retenir deux critères de classement:

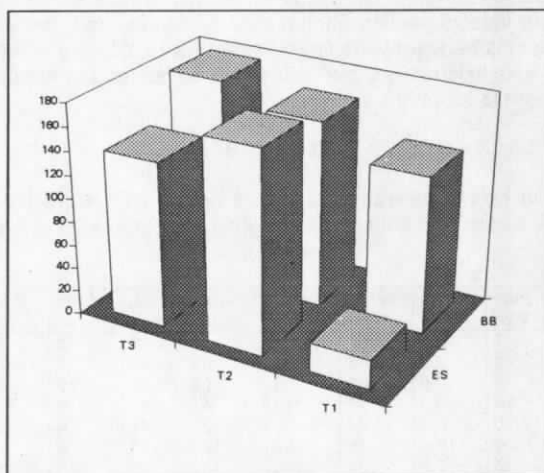
- la classe de trafic (T1, T2 et T3)
- le type de couche de roulement (enduit et enrobé)

ce qui définit six classes, pour chacune desquelles on peut définir une relation:

$$Q1 = f(\text{VIZIR}).$$

La figure 5 donne les poids de ces six classes.

Bien sûr, d'autres variables auraient pu être utilisées pour affiner ce classement; en particulier, il aurait été souhaitable d'utiliser la déflexion et le type de couche de base pour faire entrer l'état structurel; malheureusement, comme nous l'avons vu, les mesures de déflexion ne couvrent qu'environ 15 % du linéaire, ce qui ne permettait pas de classement fiable; d'autre part, les natures de couches de base sont rarement mentionnées dans le fichier, ce qui laisse supposer que, le réseau étant constitué pour l'essentiel de tracés anciens, la couche de base est de type traditionnel, donc non traitée; quelques cas de couches bitumineuses sont signalés (grave bitume), concernant environ 8 % du linéaire, mais les épaisseurs concernées sont faibles ou inconnues.



typologie ainsi définie permet de travailler sur six classes dont le poids est du même ordre de grandeur, si l'on excepte la classe "enduits sous trafic T1"

Figure 5 - Effectifs des six classes (trafic et revêtement)

2.4 - Caractéristiques moyennes

Le tableau III donne les caractéristiques moyennes des différentes combinaisons entre les six classes définies ci-dessus et les sept notes VIZIR; il s'agit des moyennes calculées sur les valeurs réelles attribuées à la classe, sans ajustement, ce qui explique que les progressions ne soient pas toujours régulières, comme le montre la figure 6. Seules les déflexions, qui n'existent pas sur l'ensemble du fichier, ont été calculées par ajustement d'un modèle, selon la formule:

$$\text{DEF13t} = 66,23 + 6,55 C + 4,02 V - 14,87 B$$

où C est la classe de trafic (1, 2 ou 3 pour T1, T2 et T3), V la note Vizir et B une constante égale à zéro si la couche de roulement est un enduit et 1 si c'est un enrobé.

2.4 - Caractéristiques moyennes

Le tableau III donne les caractéristiques moyennes des différentes combinaisons entre les six classes définies ci-dessus et les sept notes VIZIR ; il s'agit des moyennes calculées sur les valeurs réelles attribuées à la classe, sans ajustement, ce qui explique que les progressions ne soient pas toujours régulières, comme le montre la figure 6. Seules les déflexions, qui n'existent pas sur l'ensemble du fichier, ont été calculées par ajustement d'un modèle, selon la formule :

$$DEF_{13t} = 66,23 + 6,55 C + 4,02 V - 14,87 B$$

où C est la classe de trafic (1, 2 ou 3 pour T1, T2 et T3), V la note Vizir et B une constante égale à zéro si la couche de roulement est un enduit et 1 si c'est un enrobé.

couch roul	classe trafic	note Vizir	long (km)	déflex (/100)	fissur totale	fissur large	arrach	ornière	uni (QI)	âge CR	âge précéd
ES	T3	1	82.1	62	0	0	3	0	30	4	12
		2	2.2	65	4	0	6	0	34	6	17
		3	13.6	68	5	0	25	2	31	5	15
		4	13.8	71	16	4	19	6	37	5	17
		5	5.4	74	29	2	17	4	37	6	17
		6	16.6	76	47	10	21	9	45	9	21
		7	5.8	79	55	17	26	10	50	8	16
ES	T2	1	90.7	58	0	0	3	0	28	2	13
		2	3.7	61	5	0	2	0	24	4	12
		3	23.3	63	3	0	30	2	28	3	14
		4	16.3	66	9	1	31	5	31	5	17
		5	9.2	69	24	7	14	3	32	5	16
		6	20.2	72	44	13	24	9	33	6	15
		7	6.8	75	63	27	31	14	43	7	15
ES	T1	1	11.2	53	0	0	3	0	28	7	12
		2	0.8	56	4	0	0	0	27	14	14
		3	5.1	59	1	0	28	3	26	5	15
		4	2.4	62	3	0	48	8	29	4	16
		5	1.0	64	12	0	61	9	38	5	12
		6	2.4	67	36	16	42	9	37	7	14
		7	0.8	70	40	14	23	4	41	17	24
BB	T3	1	111.1	52	0	0	0	0	20	5	12
		2	18.6	55	4	0	0	0	24	7	13
		3	17.7	58	13	0	2	0	22	6	17
		4	12.4	60	32	9	2	0	23	7	16
		5	10.1	63	35	13	5	1	30	7	16
		6	3.9	66	32	14	3	4	38	9	13
		7	2.2	69	54	24	25	7	51	7	12
BB	T2	1	95.0	48	0	0	0	0	21	6	15
		2	14.7	50	3	0	0	0	24	7	15
		3	9.7	53	8	0	3	0	25	10	15
		4	11.3	56	17	3	5	1	26	9	15
		5	10.2	59	31	14	2	1	28	9	15
		6	11.3	61	44	26	16	5	31	9	13
		7	7.1	64	55	24	20	8	37	11	15
BB	T1	1	89.8	43	0	0	0	0	21	6	12
		2	10.4	46	3	0	0	0	23	8	13
		3	7.8	49	6	0	6	0	26	9	14
		4	8.7	51	14	4	5	1	25	11	14
		5	6.2	54	27	12	5	1	27	10	17
		6	4.9	57	40	22	6	4	34	8	13
		7	4.6	60	53	19	17	5	34	12	12

TABLEAU III - Caractéristiques moyennes des combinaisons trafic-surface-Vizir

111 - COMPARAISON DE PROGRAMMES D'ENTRETIEN

3.1 - Calcul des coûts à l'usager

A ce niveau de l'étude nous disposons, selon les résultats présentés dans le chapitre 1, d'une loi "simplifiée", mais cependant assez précise, pour attribuer à une valeur d'uni un coût d'exploitation des véhicules; ensuite, les calculs décrits au chapitre II nous permettent d'attribuer une valeur d'uni, selon le type de couche de roulement, la classe de trafic et la note de dégradation VIZIR. Il est ainsi possible d'attribuer à chacune des 42 classes (combinaison des trois classes de trafic, des deux types de surface et des sept notes Vizir) un coût à l'usager.

Les données suivantes ont été appliquées:

trafic total T1:	8000 v/j
trafic total T2:	4000 v/j
trafic total T3:	2000 v/j
pourcentage de poids lourds:	15 %

Dans ce qui suit, et par convention, les coûts à l'usager ont été calculés comme égaux à la différence, pour un an et un kilomètre de route, entre le coût à l'usager correspondant à l'uni moyen constaté et un cas idéal ($QI = 20$, ce qui correspond approximativement à l'état d'un tapis d'enrobé neuf appliqué sur une chaussée ancienne). Il est exprimé en milliers de francs 1987 par kilomètre (coût économique). Les coûts ainsi calculés ont ensuite fait l'objet d'un ajustement afin de réduire les aléas statistiques qui rendent les relations entre uni et note Vizir irrégulières; pour chacun des 42 cas étudiés, le coût calculé en partant du QI moyen constaté a été ajusté selon une loi quadratique, du type:

$$CEV = A_{ij} + B_{ij} \times V^2$$

où A_{ij} et B_{ij} sont des paramètres qui peuvent chacun prendre six valeurs en fonction de la classe de trafic i et du type de surface j ; les valeurs obtenues figurent dans le tableau IV.

i	j	T1	T2	T3
ES	A _{i1}	53.20	23.80	24.10
	B _{i1}	4.03	1.99	1.48
BB	B _{j2}	14.00	4.90	-10.10
	B _{j2}	3.03	1.73	1.96

Tableau IV - Coefficients du calcul des coûts

La figure 6 montre les coûts calculés, pour chaque cas, à partir des QI moyens (points) et les coûts "ajustés" selon ce modèle.

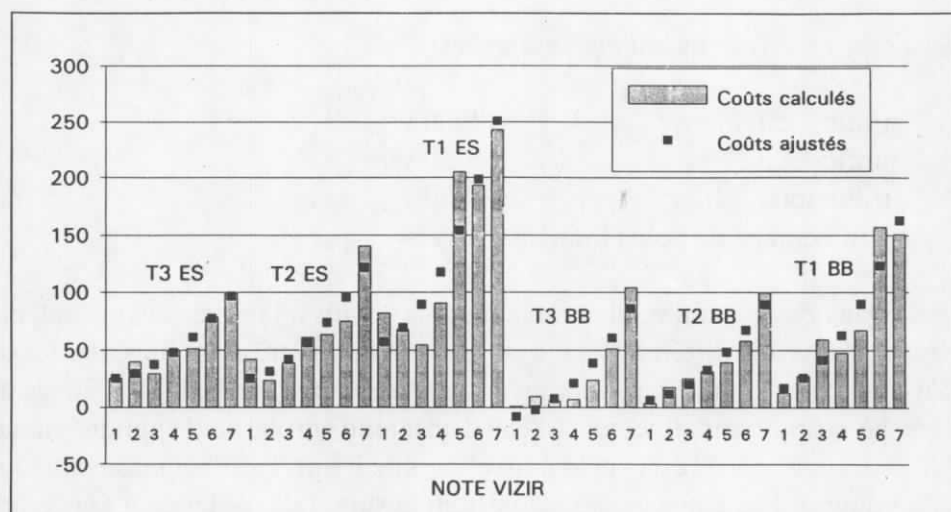


Figure 6 - Coûts calculés et ajustés

3.2 - Hypothèses étudiées

Le problème est de pouvoir juger de l'efficacité d'un programme de travaux d'une année sur l'autre, en calculant le coût total à l'utilisateur à l'année 0 puis à l'année 1 (après travaux). Il est ensuite possible de calculer les indicateurs économiques classiques (bénéfice actualisé et taux de rentabilité interne) en continuant la même opération sur un nombre N d'années (c'est d'ailleurs le principe du modèle HDM-III).

Mais ici, le but est de définir une méthode de suivi, permettant de vérifier année par année la pertinence des choix qui ont été faits concernant les programmes de travaux d'entretien. Afin de simuler l'application de la méthode en l'absence de suivi réel du réseau, nous avons utilisé une méthode simple de simulation en appliquant:

- différentes hypothèses de programmes de travaux, définies plus loin;
- pour les sections non traitées, des règles d'évolution.

Ces règles d'évolution ont été fondées, dans un but d'illustration, sur le principe des chaînes de Markov, qui constituent un outil mathématique permettant des simulations reposant sur des probabilités de transition (d'un état A à un état B, par exemple d'une note VIZIR 2 à une note 3) au cours d'un certain intervalle de temps.

En cas de travaux, les transitions suivantes ont été appliquées:

- enrobé d'entretien: $Vizir(N+1) = 1$
- enduit sur enduit: $Vizir(N+1) = \text{Max}(1, Vizir(N) - 3)$
- enduit sur enrobé: $Vizir(N+1) = \text{Max}(1, Vizir(N) - 4)$

Les hypothèses de travaux, fondées sur des règles de décision, prennent en compte l'état des chaussées à l'année N, et sont supposés réalisés dans l'année N+1; c'est l'état du réseau immédiatement après les travaux qui sert à calculer le coût à l'usager, le "bénéfice" étant égal à la différence entre ce coût et celui de départ (à l'année N).

Les "solutions" de travaux 1, 2 et 3 ne prennent en compte que la note VIZIR, pour réaliser des tapis d'enrobés. Les solution 4 est du même type, mais avec une modulation dépendant du trafic. La solution 5 consiste à appliquer soit des enduits, soit des enrobés, en fonction du trafic et de la note VIZIR. La solution 6 résulte d'une sélection de 107 km, en fonction du bénéfice immédiat (application d'un tapis d'enrobés). La solution 7 correspond à l'étude utilisant le modèle H.D.M., en retenant les sections pour lesquelles un tapis d'enrobés présente un taux de rentabilité interne supérieur à 75 %. Le tableau V indique les notes VIZIR pour lesquelles les travaux sont programmés, dans les

différents cas.

3.3 - Résultats

solution	type d'entretien	T1	T2	T3
1	BB	6 à 7	6 à 7	6 à 7
2	BB	5 à 7	5 à 7	5 à 7
3	BB	4 à 7	4 à 7	4 à 7
4	BB	4 à 7	5 à 7	6 à 7
5	BB ES	4 à 7 néant	6 à 7 4 à 5	néant 4 à 7
6	BB BB	2 à 7 (ES) 5 à 7 (BB)	5 à 7 (ES) 6 à 7 (BB)	6 à 7 (ES) 7 (BB)
7	BB BB	1 à 7 (ES) néant (BB)	2 à 7 (ES) néant (BB)	4 à 7 (ES) 6 à 7 (BB)

Tableau V- Règles d'entretien

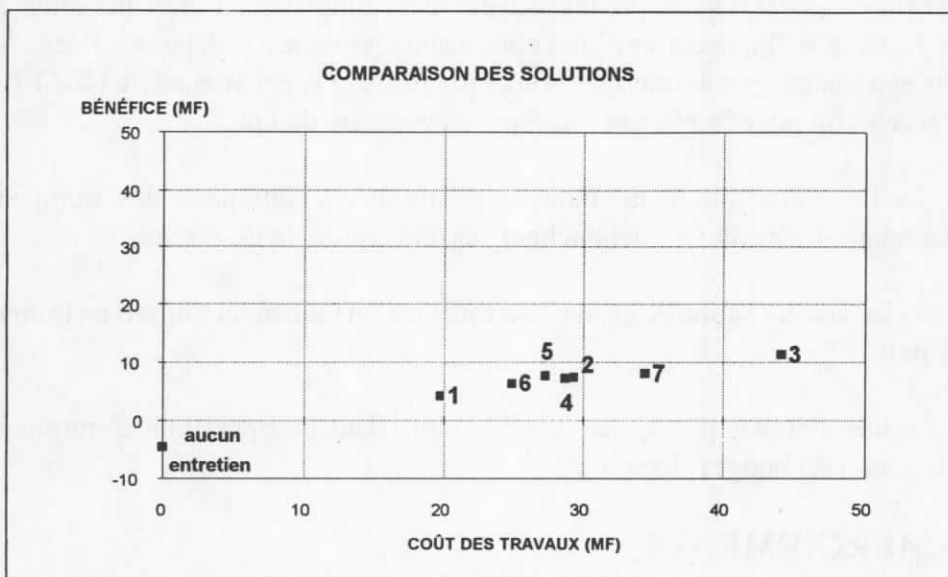
3.3 - Résultats

Le tableau VI donne les résultats globaux de la simulation pour la première année après entretien en millions de francs 1987 (coût économique).

solution d'entretien	coût à l'utilisateur (relatif)	gain sur l'année 0	enrobés (1000 m ²)	enduits (1000 m ²)	coût des travaux (MF)
aucune	28.3	-4.6	0	0	0
1	19.5	4.2	598	0	19.7
2	16.3	7.4	889	0	29.3
3	12.4	11.3	1336	0	44.1
4	16.5	7.2	871	0	28.7
5	16.1	7.6	575	761	27.3
6	17.4	6.3	754	0	24.9
7	15.7	8.0	1044	0	34.4

Tableau VI - Résultats globaux

La figure 7 traduit graphiquement ces résultats: en abscisse figurent les coûts des travaux et en ordonnée le gain réalisé sur le coût à l'utilisateur par rapport à la situation de départ.



Si l'on applique ce critère (qui limite le bénéfice à celui de la première année), on remarque que toutes les solutions, qui, rappelons-le, sont fondées sur la note VIZIR, conduisent à un résultat positif ; les "meilleures" solutions seraient les 2, 4 et 5, la 2 ayant l'avantage de ne pas introduire de discrimination entre niveaux de trafic.

Figure 7 - Comparaison des solutions d'entretien

CONCLUSIONS

Ce travail avait pour but de définir un indicateur technico-économique pertinent pour le suivi de l'état des chaussées; ce but n'est pas encore totalement atteint dans la mesure où cette étude ne comporte pas réellement de suivi pluriannuel. Il a cependant permis de définir, et de démontrer l'utilité, d'un certain nombre d'outils indispensables dans une telle méthodologie:

- un calcul simple, mais cependant d'une précision acceptable, pour déterminer les coûts subis par les usagers (cet élément étant indispensable à tout système se fixant comme but l'optimisation globale des dépenses liées à la route et à son usage); notons que, sous cette forme, l'appel au modèle HDM-III est nécessaire pour établir ces lois dans un contexte donné;

- l'exploitation d'une banque de données contenant des données d'auscultation en continu, débouchant sur une typologie du réseau;

- la caractérisation de l'état d'une route par un indicateur global (ici la note VIZIR);

- une méthode permettant d'établir un tri dans les opérations d'entretien, en fonction du budget disponible.

REMERCIEMENTS

Ce travail a utilisé des données réelles provenant du département du Finistère, dont nous remercions l'Administration, plus particulièrement en la personne de Monsieur JeanMarie LUCAS, Adjoint au Directeur des Routes Départementales.

Nous remercions également Messieurs KOBISCH, BERTHIER et CHERVET, du Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc, pour la mise à disposition et la mise en forme des données, ainsi que Messieurs Ali BELAHLOU (du Contrôle Technique des Travaux Publics à ALGER) et John NDIKUMWAMI (Chef de la Cellule de Gestion Routière à Bujumbura, BURUNDI), dont le travail de fin d'études à l'ENTPE (1989) a été mis à profit dans la présente étude.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] The World Bank (1987), The Highway Design and Maintenance Standards Model. (version française -1990- par les Presses de l'ENPC).
- [2] SAYERS M.W., GILLESPIE T.D., QUEIROZ C.A.V. (1987), L'expérience IRRE, Bull. Liaison Labo. Ponts et Ch., 147.
- [3] BONNOT J., BOULET M. (1987), Le point de vue du LCPC sur les résultats de l'IRRE concernant l'APL, Bull. Liaison Labo. Ponts et Ch., 147.
- [4] DELANNE Y. (1994), L'Analyseur de Profil en Long Numérique, Bull. Liaison Labo. Ponts et Ch. XVII
- [5] GUILLEMIN R.(1994), DESY 2000, Bull. Liaison Labo. Ponts et Ch. XVII
- [6] LCPC (1991), Les logiciels du réseau des LPC, p18-19.
- [7] AUTRET P., CHOO S.-D. (1989), Mise en place d'un système d'aide à la gestion de l'entretien routier en Corée. Bull. Liaison Labo. Ponts et Ch., 160.
- [8] AUTRET P., BRILLET F., BROUSSE J.-L. (1991), Réseau national coréen. Mise en place d'un système d'aide à la gestion d'un réseau routier. Rapport ISTED.
- [9] AUTRET P., BROUSSE J.-L. (1994), VIZIR, Bull. Liaison Labo. Ponts et Ch. XVII
- [10] LCPC (1991), VIZIR, méthode assistée par ordinateur pour l'estimation des besoins en entretien d'un réseau routier, Collection Techniques et Méthodes.
- [11] AUTRET P., BRILLET F.(1994), Le modèle H.D.M.-III de la Banque Mondiale. Application à un département français, Bull. Liaison Labo. Ponts et Ch. XVII
- [12] BRILLET F. (1987), FAER 1.01.77.7, systèmes de gestion routière. Essais du modèle HDM-III dans un contexte français (document interne LCPC)