

ETUDE DE RATIONALISATION DES CHOIX BUDGETAIRES
SUR LES RENFORCEMENTS COORDONNES DES ROUTES NATIONALES

ANNEXES AU RAPPORT

ANNEXE A 1

ANALYSE DU COUT DES RENFORCEMENTS COORDONNES

Les éléments donnés ci-après correspondent uniquement aux travaux imputés sur les crédits pour renforcements coordonnés et n'intègrent donc pas les opérations d'investissements connexes financées sur le chapitre budgétaire 53-43 (ex. chapitre 01 du FSIR). Sont compris par contre les travaux annexes et les travaux d'accompagnement imputés sur les crédits pour renforcements coordonnés.

La présente analyse est faite en divisant les coûts par le kilométrage correspondant. Mais, dans l'utilisation de ce dénominateur, les résultats obtenus sont différents selon que l'on décompte la longueur des itinéraires renforcés ou celle des sections renforcées.

En effet les renforcements coordonnés concernent des itinéraires entiers, mais les travaux de renforcement ne sont pas réalisés sur toute la longueur :

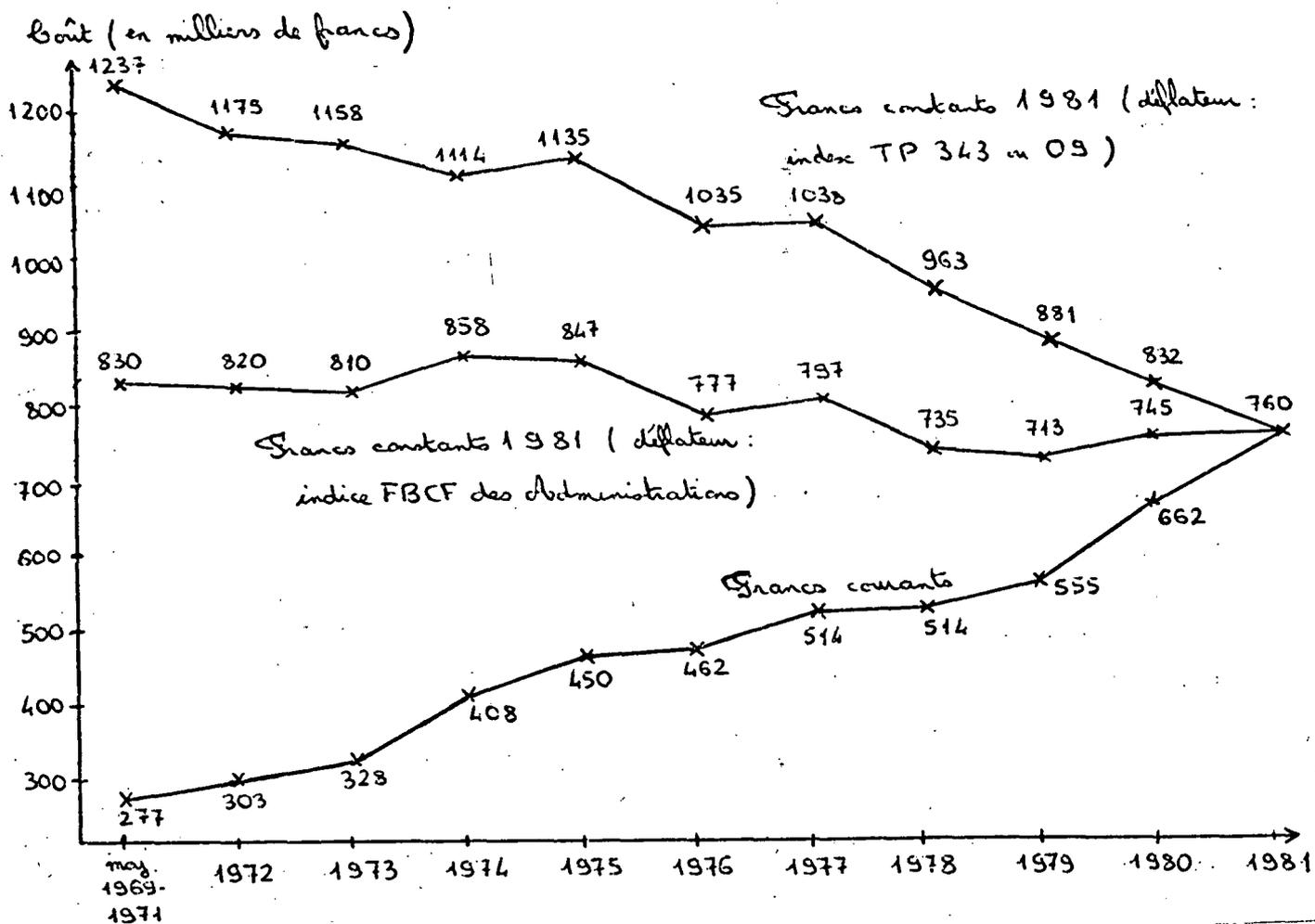
- certaines sections jugées en bon état ne font pas l'objet de travaux,
- certaines sections sont laissées en attente : traverses d'agglomération dont la réfection est différée, sections où une coordination avec d'autres travaux doit être assurée alors que ces derniers ne peuvent encore être exécutés.

On trouvera d'abord une analyse du coût par unité de longueur de section réellement traitée, puis une analyse du coût par unité de longueur d'itinéraire .

A.1.1 - Coût kilométrique moyen d'une section de route renforcée :

L'incidence de la largeur de la route est éliminée dans l'analyse ci-après, en divisant les coûts proportionnellement à la largeur de la chaussée après renforcement, si cette dernière est différente de 7 Mètres (largeur normale d'une route à deux voies de circulation).

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du coût kilométrique moyen, pour une chaussée de 7 m de largeur roulable, en francs constants et en francs courants.



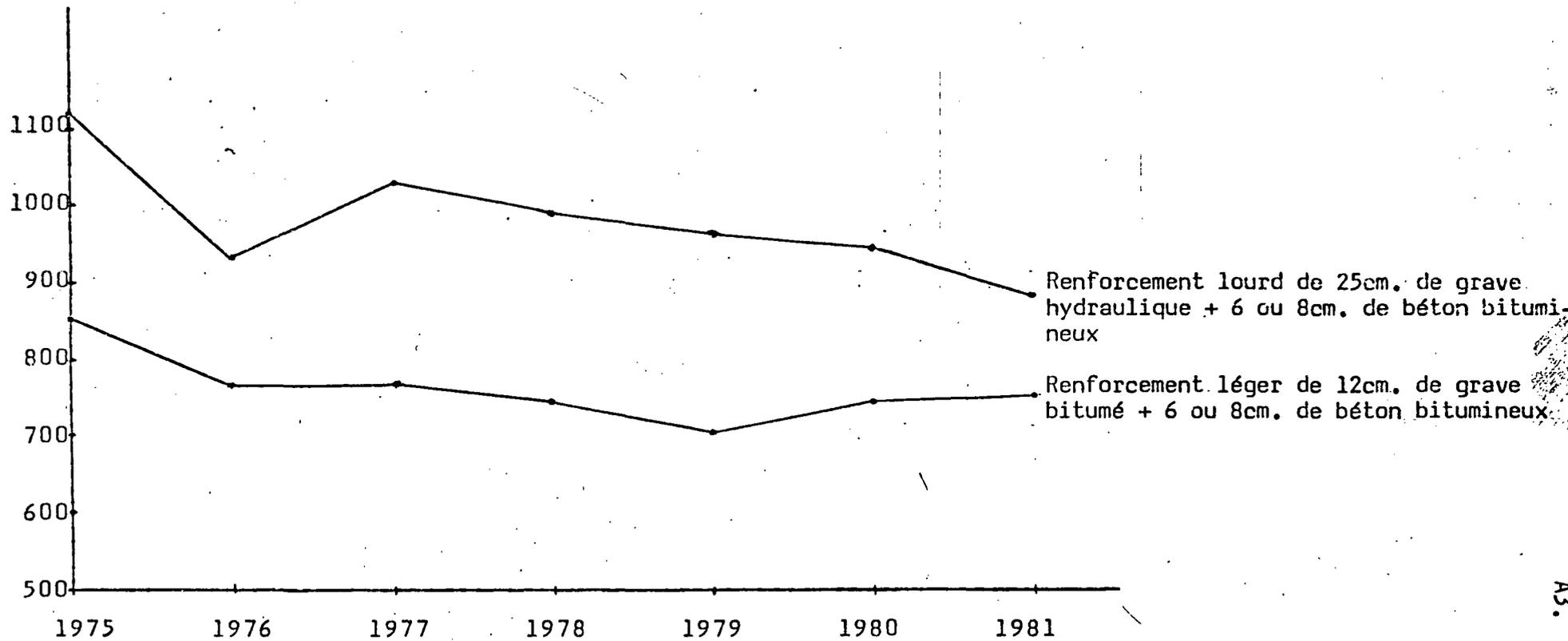
Il est remarquable de constater que le coût des travaux de renforcement a baissé en francs constants sur l'ensemble de la période, quel que soit le déflateur utilisé : formation brute de capital fixe des administrations ou index IP, qui traduit l'évolution du coût des travaux publics.

Pour voir si cette baisse résulte d'un gain de productivité ou d'une variation de l'importance des travaux, on a procédé à une analyse du coût pour un type donné de renforcement ; cela a été fait d'une part pour un renforcement léger de 12 cm de grave-bitume + 8 ou 6 cm de béton bitumineux, et d'autre part pour un renforcement lourd de 25 cm de grave hydraulique + 8 ou 6 cm de béton bitumineux ; les évolutions obtenues figurent sur le graphique ci-après.

EVOLUTION DU COUT POUR UN TYPE DONNE DE RENFORCEMENT

(coût ramené à 7m. de largeur)

(en milliers de francs constants 1981)
(déflateur : indice FBCF des Administrations)



On observe dans les cas considérés, qui recouvrent la plupart des renforcements légers d'une part et la plupart des renforcements lourds d'autre part, une diminution du coût des travaux, ce qui ne peut s'expliquer que par des gains de productivité, à mettre en relation avec les efforts accomplis pour mieux organiser les chantiers et les approvisionnements.

Les principales fluctuations constatées sur le graphique de la page A2 sont dues :

- Au renchérissement important du bitume suite à chacun des chocs pétroliers : c'est en particulier le cas en 1974 et 1980.

- Aux effets pervers du plan de soutien à l'économie de 1975 qui s'est traduit par un accroissement brusque de la demande en fin d'année, et par conséquent par une hausse des prix unitaires. De façon générale, pour peser à la baisse sur le coût des renforcements, il faut bien préparer et programmer les diverses opérations ; à cet égard, les variations erratiques dans la mise en place des crédits sont toujours défavorables.

Le coût kilométrique moyen d'une section de route renforcée est fonction de plusieurs paramètres, mais surtout de l'épaisseur nécessaire du renforcement qui dépend principalement :

- du trafic lourd,
- de l'état de la chaussée à renforcer,
- du climat du secteur où se situe la route à renforcer.

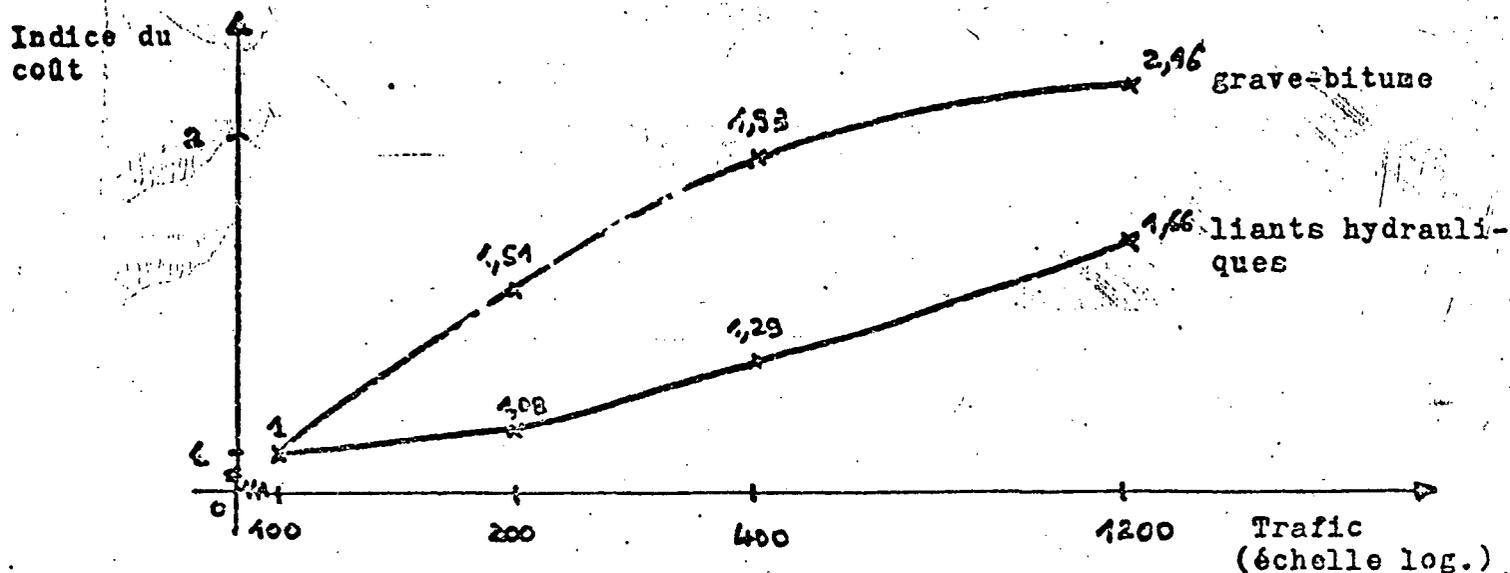
C'est d'ailleurs en fonction de ces paramètres que le guide de dimensionnement donne les épaisseurs de renforcement pour les deux grandes catégories de techniques : couche de base en grave-bitume, ou traitée aux liants hydrauliques.

A.1.1.1 - Incidence du trafic lourd :

On prend en compte, pour dimensionner un renforcement, le trafic lourd prévu l'année de réalisation (dernier trafic connu augmenté de 3 % par an), avec le cas échéant une correction si le trafic futur est censé évoluer différemment de la moyenne.

Les classes de trafic retenues sont celles indiquées au § I.5.2 du rapport.

Toutes choses égales par ailleurs, et notamment l'état de la chaussée, le graphique qui suit donne la variation de l'indice du coût du renforcement en fonction du trafic (l'indice 1 correspond au trafic T_3).



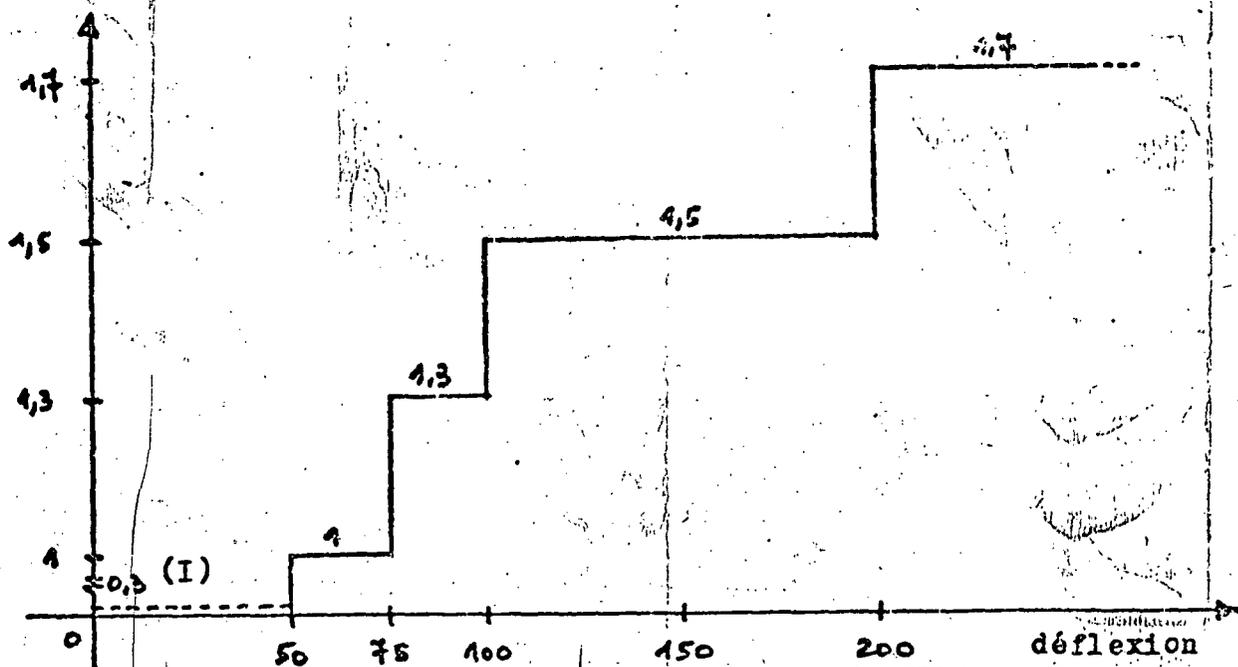
On constate que pour les graves traitées aux liants hydrauliques (qui ont une épaisseur minimale d'utilisation relativement élevée), la courbe coût du renforcement/trafic a une élasticité à peu près constante et égale à 10 %.

Pour la grave-bitume, la courbe est à élasticité décroissante (de 50 à 4 %).

A.1.1.2. Incidence de l'état de la chaussée

L'état de la chaussée à renforcer est caractérisé par un indicateur global synthétique qui tient compte : de la déflexion (principalement), des matériaux en place, des derniers travaux réalisés, etc..

Le graphique ci-dessous donne, pour une classe de trafic T_1 , l'évolution de l'indice du coût d'un renforcement en matériaux bitumineux en fonction de la valeur de la déflexion.

Indice du
coût

(1) en supposant un tapis d'entretien de 4

Nota : l'évolution du coût en fonction de l'état de la chaussée est moins nette pour les renforcements en graves hydrauliques dans la mesure où il existe pour ces matériaux une épaisseur d'emploi minimale relativement élevée.

Il est intéressant de montrer, sur quelques projets réels de renforcement qui ont dû, faute de crédits suffisants, être différés, l'augmentation du coût consécutive à la détérioration de l'état de la chaussée.

Nous comparerons donc ci-dessous deux études successives de dimensionnement conduites à plusieurs années d'intervalle sur les mêmes sections de routes. Il faut noter par ailleurs que les itinéraires concernés par cette analyse comparative (ici réduite à quelques exemples significatifs) n'ont pas subi d'hiver particulièrement difficile.

- RN 6 Joigny-Auxerre dans l'Yonne (trafic T_0) - date de la première étude : 1974 - actualisation en 1981.

On constate une augmentation du dimensionnement sur 2/3 de la section considérée et une augmentation du coût du renforcement d'environ 20 % (malgré l'importance des travaux d'entretien effectués entre-temps).

- RN 21 Mirande-limite des Hautes Pyrénées dans le Gers (trafic T_1-T_2), date de la première étude : 1976 - actualisation en 1980.

On constate entre les deux études, d'une part une augmentation du trafic (passage de T_2 à T_1 sur 40 % de la section), d'autre part une augmentation de dimensionnement sur 80 % de la longueur, et du coût du renforcement d'environ 20 %.

- - RN 74 Château-Salins-Puttelange en Moselle (trafic T_2) - date de la première étude : 1976 - actualisation en 1979.

On constate une augmentation du dimensionnement sur 1/3 de la longueur et une augmentation du coût du renforcement d'environ 10 %.

- RN 120 Uzerche-Tulle en Corrèze (trafic $T_2 - T_3$) - date de la première étude : 1976 - actualisation en 1981.

On constate une augmentation du dimensionnement sur 50 % de la longueur et une augmentation du coût de renforcement d'environ 20 %.

Ces exemples (certes insuffisamment nombreux pour constituer un échantillon statistique représentatif) conduiraient à un surcoût d'environ 20 % pour un retard de 5 ans. Mais ce surcoût serait sans doute plus que proportionnel si le retard était plus important, car des études théoriques et des observations ont montré que le processus de dégradation des chaussées est rarement linéaire : l'accumulation des charges et les intempéries provoquent de brusques accélérations des détériorations.

A.1.1.3 - Le surcoût dû à la mise hors gel des chaussées

Outre l'adaptation de la chaussée aux charges qu'elle supporte, l'un des objectifs des renforcements est de mettre, dans toute la mesure du possible, la chaussée à l'abri des dégradations survenant dans les périodes de dégel, permettant ainsi la circulation de tous les véhicules en toutes saisons. Ceci nécessite une épaisseur de chaussée (et donc de renforcement) d'autant plus grande que les conditions climatiques de la région sont plus sévères.

On caractérise la rigueur de l'hiver contre lequel on désire protéger la chaussée (appelé hiver de référence) par son indice de gel (c'est à dire la somme des températures moyennes journalières négatives) exprimé en degrés x jours.

On a défini deux hivers de référence :

- l'hiver rigoureux exceptionnel, qui est, en un lieu donné, le plus rigoureux des hivers survenus durant la période 1951-1975, et dont la périodicité peut être estimée entre 20 et 30 ans ; l'hiver 1962-1963 (et dans certaines régions l'hiver 1955/1956) est un exemple d'hiver rigoureux exceptionnel.

- l'hiver rigoureux non exceptionnel, qui est en général l'hiver de rang n° 3 (quantifié en indice de gel) rencontré en un lieu entre 1951 et 1975 à une périodicité estimée à 10 ans environ. L'hiver 1970/1971 est un exemple d'hiver rigoureux non exceptionnel.

La protection contre les effets du gel apportée aux chaussées/ par les renforcements est modulée en fonction du trafic :

- Pour les trafics T_0 et T_1 : protection contre l'hiver rigoureux exceptionnel.

- Pour les trafics T_2 et inférieurs : protection contre l'hiver rigoureux non exceptionnel.

Une méthode rigoureuse a été mise au point pour prendre en compte le gel dans le dimensionnement des renforcements ; on est conduit à ajouter au dimensionnement "normal" une épaisseur très variable selon les cas. Il se peut en effet que l'épaisseur de renforcement nécessaire pour adapter la chaussée au trafic qu'elle supporte, compte tenu de son état, soit du même coup suffisante pour la protéger contre un hiver exceptionnel. Il se peut aussi que des sur-épaisseurs très importantes soient nécessaires et viennent alourdir considérablement le coût du renforcement.

A titre d'illustration, citons deux cas réels différents :

- La RN 26, dans l'Eure et l'Orne a été renforcée sur 23 km. Le dimensionnement sans prise en compte du gel aurait abouti à des rechargements de 8 à 14 cm (permettant d'ailleurs de résister à l'hiver non exceptionnel). Pour mettre la chaussée à l'abri d'un hiver rigoureux exceptionnel, il a fallu, pour 95 % de la longueur, passer à une épaisseur de 25 cm de grave-laitier + 8 cm de béton bitumineux. Le coût total est ainsi passé de 13,4 millions de F. 1980 à 20 millions de F. 1980, soit un accroissement de près de 50 %.

- La RN 154 dans l'Eure et Loir a été renforcée sur 24 km. Le dimensionnement initial était de 25 cm de grave-laitier + 8 cm de béton bitumineux (permettant d'ailleurs de résister à l'hiver non exceptionnel). Pour mettre la chaussée à l'abri d'un hiver exceptionnel (en prenant cependant quelques risques), il a fallu accroître de 3 cm l'épaisseur de grave-laitier pour 76 % de la longueur et accroître simultanément de 2 cm l'épaisseur de la couche de surface pour 56 % de la longueur. Le coût total est ainsi passé de 29,5 millions de francs 1981 à 32 millions de F. 1981, soit une augmentation d'environ 8,5 %.

A.1.2 - Coût kilométrique moyen d'un itinéraire renforcé

Comme il a été dit ci-avant, on prend ici en compte la longueur totale de l'itinéraire sans déduire la longueur des sections non renforcées.

Par définition on appelle taux de renforcement le rapport de la longueur réellement traitée (quel que soit le dimensionnement) et de la longueur totale de l'itinéraire.

Dans une certaine mesure, ce taux fournit une image de l'évolution de la dégradation du réseau et il a très sensiblement augmenté au fil des années, comme le montre le tableau ci-dessous, qui donne en francs constants 1981 le coût kilométrique moyen des itinéraires renforcés par groupe d'années (calculé par division du budget annuel par le kilométrage total des itinéraires renforcés).

Années	1969-72	1973-75	1976-78	1979-81
coût moyen en milliers de F. 1981 (1) (moyenne pondérée)	660	750	810	900
Taux de renforcement	60 %	81 %	92 %	95 %

On peut constater que l'accroissement en francs constants du coût kilométrique moyen d'un itinéraire renforcé est très largement expliqué par l'accroissement du taux de renforcement : ainsi, sur la période 1969-1981 considérée, le coût a été multiplié par 1,4, alors que le taux de renforcement était multiplié par 1,6.

D'autres facteurs interviennent pour expliquer le passage des chiffres donnés au § A.1.1 à ceux du tableau ci-dessus.

- La largeur moyenne des chaussées renforcées ; par exemple, elle était de l'ordre de 8,3 m en 1979 et 1980 contre 7,7 environ entre 1976 et 1978 (elle est fonction principalement du kilométrage de routes à 3 voies et plus inscrites au programme de renforcement de l'année).

(1) Déflateur indice F.B.C.F. des Administrations.

- La part des crédits consacrés au programme de rattrapage des sections différées (traverses d'agglomération essentiellement).

A.1.3 - Décomposition du coût des travaux par nature - Importance des travaux d'accompagnement :

Les travaux exécutés dans le cadre des renforcements coordonnés peuvent être répartis en cinq catégories :

a) les travaux de renforcements proprement dits (traitement de la chaussée y compris son calibrage avec la couche de fondation nécessaire (1), et rehaussement des accotements).

b) les travaux annexes (liés à la remise en état de la chaussée ; ils concernent son assainissement, le dérasement des accotements, la dépose et la remise en place de la signalisation verticale, etc...).

c) les points d'arrêt d'urgence (travaux d'équipement de la route exécutés au titre des renforcements coordonnés).

d) les aménagements localisés quand des travaux de faible importance permettent d'améliorer la géométrie de la route : écrêtement de dos d'âne, légères reprises de virages.

e) quelques travaux d'élargissement de la plate-forme (mais ceux-ci sont souvent financés sur d'autres crédits).

La décomposition des travaux par nature a été la suivante au cours des années 1978-1979-1980 :

(Voir tableau page suivante)

(1) mais non compris les terrassements et ouvrages éventuellement nécessaires, qui constituent la rubrique (e) ; le calibrage de chaussée se fait en principe de façon à obtenir une largeur de 3,5 m par file de circulation ; toutefois, une largeur moindre est retenue lorsque le coût serait prohibitif en regard du trafic intéressé.

Nature des travaux	1978	1979	1980
Travaux de renforcement	86,6 %	85,8 %	85,8 %
Travaux annexes	8 %	9,4 %	7,3 %
Points d'arrêt	1,7 %	1,4 %	1,3 %
Aménagements localisés	1,9 %	2,2 %	1,1 %
Elargissement de la plate- forme (non compris part financée par le FSIR 01) (?)	1,8 %	1,2 %	4,5 % (3)
	100 %	100 %	100 %

(2) devenu depuis le chapitre budgétaire 53-43.

(3) L'augmentation brusque de ce poste en 1980 provient de ce que, cette année-là, on a traité des routes en moyenne plus étroites.



ANNEXE A 2

LES ENQUETES EFFECTUEES SUR L'INCIDENCE ECONOMIQUE
DES BARRIERES DE DEGEL

Le II?2.1.1 du rapport de la présente étude RCB indique quels sont les types d'effets des barrières de dégel qui ont paru a priori pouvoir se produire, et explique que, la plupart d'entre eux concernant les entreprises, il a été jugé souhaitable de faire des enquêtes auprès d'un certain nombre d'entre elles.

A.2.1 - Nature des enquêtes - Nombre d'entreprises enquêtées :

Les enquêtes suivantes ont été lancées :

1°) Des entreprises ont été enquêtées par le Service d'Analyse Economique et du Plan du Ministère des Transports. Ont été choisies (grâce au concours de représentants de la FNTR, qui avaient donné une liste) des entreprises travaillant sur tout le territoire national et/ou ayant une activité de nature à être particulièrement sensible aux barrières de dégel.

Quelques enquêtes se sont faites par interviews, (auprès d'entreprises implantées dans la région parisienne), mais la plupart des entreprises ont été consultées par lettre. En tout, 16 entreprises ont été enquêtées.

2°) Des enquêtes par interviews ont été réalisées par le Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de l'Est auprès d'entreprises implantées à proximité de routes où ont été placées des barrières de dégel lors de l'hiver 1980-1981, à savoir :

- la RN 61 dans les départements du Bas-Rhin et de la Moselle.
- la RN 411 entre Toul et Dieulouard (Meurthe-et-Moselle).
- la RN 63 dans le Bas-Rhin.
- la RN 35 dans la Meuse.

38 interviews ont été ainsi réalisées. Les entreprises ont été choisies à partir d'entretiens avec les Chambres de Commerce et d'Industrie.

3°) Une enquête postale a été lancée par le CETE de l'Est auprès de 3 000 entreprises environ, situées dans les mêmes secteurs que ceux indiqués précédemment.

404 réponses ont été reçues (13 %)

A.2.2 - Résultats des enquêtes :

Les principaux résultats obtenus sont indiqués ci-après :

1°) Le nombre d'entreprises déclarant avoir été gênées par les barrières de dégel est : - de 49 sur 54 (91 %) pour l'ensemble des enquêtes par interviews
- de 106 sur 404 (26 %) pour l'enquête postale

La discordance entre ces deux pourcentages peut surprendre. On peut cependant l'expliquer :

- par le fait que, lors des enquêtes par interviews, on avait recherché des entreprises paraissant a priori susceptibles d'être gênées par les barrières de dégel, alors que le questionnaire postal a été envoyé à toutes les entreprises d'un secteur géographique sans sélection ;

- par le fait que les entreprises ayant répondu à l'enquête postale se sont rarement déclarées gênées lorsqu'elles ne font pas effectuer leurs transports par leurs propres moyens ; or on peut supposer que la gêne est en fait la même, mais que c'est alors le transporteur qui la subit ; cela conduit à considérer comme sous-estimé le taux de gêne relevé lors de l'enquête postale (a contrario cependant, on peut se demander si les entreprises gênées n'ont pas été davantage motivées pour répondre au questionnaire, et si donc les taux de réponses sont les mêmes qu'il y ait ou qu'il n'y ait pas de gêne).

L'enquête postale permet en outre de calculer un taux de gêne tenant compte de l'importance des transports par route effectués par ou pour l'entreprise. Comme on pouvait s'y attendre, le taux de gêne est supérieur pour les entreprises faisant acheminer beaucoup de marchandises par route. On trouve que les entreprises se déclarant gênées représentent 61 % du tonnage déclaré transporté par route.

2°) Les déclarations sur la nature de la gêne sont les suivantes (on regroupe ici les résultats des enquêtes par interviews et ceux de l'enquête postale) :

- allongement de parcours : pour 95 entreprises,
- changement de mode de transport, transbordement, utilisation de camions plus petits ou moins chargés : pour 78 entreprises,
- nécessité de constituer des stocks de précaution à l'approvisionnement, immobilisation de stocks à la vente : pour 36 entreprises,
- perturbation de la production, pouvant aller jusqu'à l'arrêt total ou partiel : pour 62 entreprises (on n'a pas considéré le cas des transporteurs, mais uniquement le cas des entreprises ayant une production au sens strict),
- autres conséquences : pour 38 entreprises.

Ces résultats appellent les commentaires suivants :

- le total des chiffres ci-dessus dépasse largement celui des entreprises déclarant avoir été affectées, du fait que plusieurs natures de gêne sont généralement citées par l'entreprise enquêtée ; la politique suivie est souvent différente entre l'approvisionnement et la vente, selon l'urgence des transports, etc...

- l'allongement de parcours est le plus souvent cité.
- le changement de mode ou de charge de camion vient ensuite.
- les "autres conséquences" citées sont (les deux premières étant les plus fréquentes, les autres n'étant mentionnées que rarement) :
 - le travail administratif supplémentaire nécessité par la perturbation des transports et ses répercussions
 - le préjudice commercial (pertes de clients non livrés en temps utile)
 - des avaries dans les produits
 - le blocage de véhicules
 - l'application de pénalités de retard
 - la perte de fret de retour
 - des manutentions supplémentaires
 - des retards de personnel

3°) Lors de l'enquête postale, il a été demandé aux entreprises de chiffrer la gêne ressentie. Cela a été fait par 53 entreprises. Grâce aux données physiques recueillies, le CETE de l'Est a pu chiffrer la gêne pour 20 entreprises supplémentaires.

Les pertes annuelles ainsi chiffrées sont les suivantes (1) :

- pour le secteur de la RN 35 : 7.455.000 F.
- pour le secteur de la RN 61 : 168.000 F.
- pour le secteur de la RN 63 : 303.000 F.
- pour le secteur de la RN 411 : 285.000 F.

Même si on tient compte que pour la RN 35 il n'y a pas de déviation possible, contrairement aux trois autres cas, l'écart entre les chiffres précédents ne manque pas de surprendre. Il faut dire que 3 entreprises déclarent à elles seules avoir subi des pertes de 5.163.000 F. et qu'il s'agit malheureusement de cas pour lesquels les éléments recueillis ne permettent guère de vérifications par recoupements.

On est donc contraint d'émettre quelques doutes sur les pertes annoncées par les entreprises.

On peut noter que les pertes correspondant à des perturbations de production, sur-stockage et pertes commerciales représentent 88 % du total. Même si les 3 entreprises visées ci-dessus contribuent fortement à l'obtention de ce pourcentage, il paraît probable que, lorsqu'une réponse transport peut être apportée, elle coûte généralement beaucoup moins cher à l'entreprise.

(1) Elles ne sont pas toutes à mettre au débit des routes nationales desservant directement le secteur en cause : les entreprises ont intégré dans leurs calculs les gênes afférentes à des barrières placées sur d'autres routes. Mais à l'inverse, les routes étudiées gênent d'autres entreprises que celles implantées à proximité, qui ont seules été enquêtées.

ANNEXE A 3LES MESURES DE VITESSES EFFECTUEES AVANT ET APRES
RENFORCEMENTA.3.1 - Nature des mesures effectuées :

Afin de voir si les renforcements de chaussées ont une influence sur la vitesse des véhicules, il a été effectué des mesures de vitesses avant et après renforcement sur un certain nombre de routes renforcées au titre du programme 1981.

Ces routes sont les suivantes :

- RN 6 - section de Saulieu à la limite Côte d'Or-Yonne
- RN 80 - section Marmagne-Autun
- RN 26 - entre l'Aigle et Argentan
- RN 154 - entre Dreux et Chartres.

Les mesures ont été faites par les Centres d'Etudes Techniques de l'Equipement de Lyon et Rouen, au moyen d'appareils du type "analyseurs de vitesses", placés en des points où la vitesse pratiquée a paru voisine de la moyenne sur la section.

La durée des mesures a été :

- pour la RN 6 : 7 jours avant renforcement + 7 jours après renforcement,
- pour la RN 80 : 7 jours avant renforcement + 7 jours après renforcement,
- pour la RN 26 : 14 jours avant renforcement + 14 jours après renforcement,
- pour la RN 154 : 4 jours avant renforcement + 4 jours après renforcement.

A.3.2 - Résultats des mesures :

On a obtenu, pour chaque série de mesures, l'histogramme des vitesses.

On peut en extraire les principaux résultats suivants :

	RN 6	RN 80	RN 26	RN 154
<u>Vitesse moyenne (en km/h) :</u>				
- avant renforcement	81	70	87	83
- après renforcement	88	82	91	91
Pourcentage d'augmentation	8 %	17 %	4 %	9 %
<u>Proportion d'usagers roulant à plus de 90 km/h :</u>				
- avant renforcement	30 %	8 %	42 %	31 %
- après renforcement	46 %	33 %	51 %	45 %
<u>V 15 (vitesse dépassée par 15 % des véhicules) en km/h :</u>				
- avant renforcement	98	86	104	102
- après renforcement	105	99	109	111
Pourcentage d'augmentation	7 %	15 %	5 %	9 %

A.3.3 - Commentaires :

On observe dans tous les cas une augmentation de la vitesse pratiquée.

Certes d'autres facteurs que le renforcement ont pu jouer; notamment, dans le cas de la RN 26, les conditions atmosphériques ont été meilleures lors des mesures après renforcement.

Cependant, il semble que l'on puisse conclure que les renforcements augmentent la vitesse des usagers.

C'est sur la RN 80 que l'effet est le plus important. Cela peut s'expliquer, du fait que les travaux annexes réalisés en même temps que le renforcement, sans modifier fondamentalement les conditions de circulation, ont permis d'améliorer sensiblement les caractéristiques géométriques de la route, qui étaient au départ assez médiocres : élargissement à 7 m. d'une chaussée auparavant assez étroite, rectifications de virages, écrêtements en profil en long.

Mais on constate une augmentation de vitesse sensible également sur les autres routes, dont les caractéristiques géométriques n'ont guère été améliorées.

Il semble donc que le meilleur confort procuré par l'amélioration de l'uni incite les conducteurs à accélérer, comme on pouvait s'y attendre a priori.



ANNEXE A 4

CONSISTANCE DE LA STRATEGIE RENFORCEMENT + ENTRETIEN
PREVENTIF MISE EN OEUVRE SUR LE RESEAU ROUTIER
NATIONAL

1. Exemples de dimensionnements de renforcement

Les exemples donnés sont relatifs à une déflexion de 100 à 150/100° mm, c'est à dire un cas moyen de dégradation structurelle de la chaussée.

Trafic (1)	T ₀ (750-2000)	T ₁ (300-750)	T ₂ (150-300)
Epaisseur et nature des couches de renforcement	15-18cm GB + 8-10cm BB OU 28cm GH + 14 cm BB	12-18cm GB + 8 cm BB OU 25 cm GH + 8 cm BB	12-15 cm GB + 6 cm BB OU 25 cm GH + 6 cm BB

(1) les classes de trafic sont définies par le nombre de poids lourds de plus de 5 t de charge utile par jour sur la voie la plus chargée.

nota: GB = grave-bitume; BB = Béton bitumineux; GH= grave hydraulique.

2. Scénarios d'entretien à long terme envisagés

Structures	T 0	T 1	T 2	T 3	< T 3
STRUCTURES TRAITEES AUX LIANTS HYDRAULIQUES	4 ans 33 % CF 5 ans 33 % CF 6 ans 33 % CF 8 ans 60 % BB 4 40 % BB 8 12 ans 50 % CF 16 ans 60 % BB 4 40 % BB 8 24 ans 60 % BB 4 40 % BB 8	3 ans 33 % CF 4 ans 33 % CF 5 ans 33 % CF 8 ans 20 % ES 40 % BB 4 40 % BB 8 12 ans 50 % CF 16 ans 20 % ES 40 % BB 4 40 % BB 8 24 ans 20 % ES 40 % BB 4 40 % BB 8	4 ans 30 % CF 5 ans 30 % CF 8 ans 20 % ES 40 % BB 4 40 % BB 6 12 ans 50 % CF 16 ans 20 % ES 40 % BB 4 40 % BB 6 24 ans 20 % ES 40 % BB 4 40 % BB 6	4 ans 30 % CF 5 ans 30 % CF 8 ans 40 % ES 10 ans 20 % BB 4 40 % BB 6 15 ans 40 % CF 18 ans 40 % BB 6 20 ans 20 % BB 4 40 % ES	 10 ans 60 % ES 20 % BB 4 20 % BB 6 20 ans 60 % ES 20 % BB 4 20 % BB 6
STRUCTURES MIXTES BASE HYDROCARBONEE	5 ans 20 % CF 9 ans 60 % BB 4 40 % BB 8 17 ans 60 % BB 4 40 % BB 8 25 ans 60 % BB 4 40 % BB 8	5 ans 20 % CF 9 ans 20 % ES 40 % BB 4 40 % BB 8 17 ans 20 % ES 40 % BB 4 40 % BB 8 25 ans 20 % ES 40 % BB 4 40 % BB 8	9 ans 20 % ES 40 % BB 4 40 % BB 6 17 ans 20 % ES 40 % BB 4 40 % BB 6 25 ans 20 % ES 40 % BB 4 40 % BB 6	10 ans 40 % ES 20 % BB 4 40 % BB 6 20 ans 40 % ES 20 % BB 4 40 % BB 6	10 ans 60 % ES 20 % BB 4 20 % BB 6 20 ans 60 % ES 20 % BB 4 20 % BB 6
STRUCTURES RIGIDES (BETON DE CIMENT)	5 ans GJ + ES 10 ans GJ 12 ans ES 15 ans GJ 19 ans ES 20 ans GJ 25 ans reconstruction voile lente (1)	5 ans GJ + ES 10 ans GJ 12 ans ES 15 ans GJ 19 ans ES 20 ans GJ 25 ans 22 GL+8 BB ou reconstruction	7 ans GJ + ES 13 ans GJ 15 ans ES 19 ans GJ 23 ans ES 25 ans 20 GL+6 BB ou reconstruction	7 ans GJ + ES 13 ans GJ 17 ans ES 19 ans GJ 25 ans 10 BB ou reconstruction	7 ans GJ 10 ans ES 14 ans GJ 20 ans GJ + ES 25 ans 8 BB ou reconstruction

C.F. : Colmatage de fissures -- E.S. : Enduit superficiel -- G.J. : Garnissage des joints -- B.B. : Béton bitumineux -- G.L. : Grava - laitier

ANNEXE A 5HYPOTHESES PRISES EN COMPTE DANS LE CALCUL ECONOMIQUE

On trouvera ci-après les principales hypothèses prises en compte dans le calcul économique.

A.5.1. Catégories de routes considérées :

Le calcul a été mené par les 4 catégories de routes suivantes :

1°) Routes à trafic fort en climat rude :

Il s'agit des routes à trafic To ou T1 situées dans un secteur où l'indice de gel en hiver exceptionnel est supérieur à 150 (1).

Le trafic moyen au 1/1/83 a été pris égal à 1.600 PL/j et 9.000 VL/j(2)

On a considéré la nécessité d'une protection un hiver courant sur deux par une barrière de dégel de 12 T (durée moyenne de pose : 15 jours), et chaque hiver rigoureux non exceptionnel par une barrière de dégel de 3,5 T (durées moyennes de pose respectives : 20 jours et 30 jours).

2°) Routes à trafic fort en climat doux :

Il s'agit des routes à trafic To ou T1 situées dans un secteur où l'indice de gel en hiver exceptionnel est inférieur à 150.

Le trafic moyen est le même que pour la catégorie précédente.

(1) Les définitions des classes de trafic et des indices de gel figure au § I.5.2. du rapport.

(2) PL = Poids lourds - VL = véhicules légers.

On suppose que, comme on se trouve dans un secteur climatique plus favorable, une barrière de dégel en hiver courant n'est pas nécessaire. En hiver rigoureux non exceptionnel et en hiver exceptionnel, une barrière de dégel de 12 T sera posée (durées moyennes respectives de pose: 15 jours et 20 jours).

3°) Routes à trafic faible en climat rude :

Il s'agit des routes à trafic T2 ou inférieur situées dans un secteur à l'indice de gel en hiver rigoureux non exceptionnel est supérieur à 100.

Le trafic moyen a été pris égal à 300 PL/j et 2700 VL/j (au 1/1/83).

Les barrières de dégel posées sont supposées être les mêmes qu'en 1°.

4°) Routes à trafic faible en climat doux :

Il s'agit des routes à trafic T2 ou inférieur situées dans un secteur où l'indice de gel en hiver rigoureux non exceptionnel est inférieur à 100.

Ces routes ont le même trafic moyen qu'en 3° et sont l'objet des mêmes poses de barrières de dégel qu'en 2°.

Pour toutes les catégories de routes considérées, on suppose que le trafic augmenterait au rythme suivant, qui est à très peu de chose près celui admis par la Direction des Routes dans son instruction sur les calculs de rentabilité : de 1983 à 1990, augmentation linéaire de 3 % base 1983, à partir de 1990 augmentation au taux géométrique de 1 %.

On constatera que le critère état de la chaussée n'a pas été introduit. Il a été supposé en effet que l'état de la chaussée était lui-même conséquence du trafic et du climat (cette corrélation n'étant pas forcément dans le sens que l'on pourrait supposer a priori : le tableau ID inséré dans le paragraphe § I.5.4. du rapport montre que l'état des chaussées à renforcer est d'autant meilleur qu'elles sont plus circulées, ce qui s'explique certainement par le fait qu'elles ont été mieux entretenues).

A.5.2 - Coût d'entretien :

Tous les coûts ont été donnés en francs constants 1981.

A.5.2.1 - Avant renforcement :

IL s'agit de l'entretien curatif.

On est parti de la dépense moyenne actuelle (24 700 F/km) en valeur 1982, soit 21 900 en valeur 1981, dont on s'est écarté en plus ou moins en fonction des caractéristiques de trafic et de climat, pour arriver aux chiffres suivants :

- trafic fort climat rude : 30 700 F/km
- trafic fort climat doux : 24 100 F/km
- trafic faible climat rude : 24 100 F/km
- trafic faible climat doux : 17 500 F/km.

On a prévu que cette dépense augmenterait au fur et à mesure que les chaussées se dégradent, à un taux (géométrique) annuel de 9 %, intermédiaire entre ceux constatés sur la période 1977-1982 (6 %) et sur la période 1980-1982 (13 %). On a toutefois plafonné la dépense kilométrique pour chaque catégorie au double de la valeur actuelle.

En variante, on a considéré un accroissement annuel limité à 5 % pendant 10 ans.

A.5.2.2. - Après renforcement en une seule phase :

On est parti des séquences d'entretien théoriques du SETRA (cf annexe A.4, § 2). On y a ajouté l'entretien des dépendances (en supposant que les chaussées nécessitent 80 % des dépenses d'entretien et les abords 20 %).

Les coûts unitaires suivants (en valeur 1981) ont été utilisés :

- Colmatage des fissures :	18.000 F/km
- Enduit superficiel	73.000 F/km
- Béton bitumineux 4 cm	180.000 F/km
- 6 cm	268.000 F/km
- 8 cm	313.000 F/km
- Travaux annexes d'entretien T_0	: 7.200 F/km
T_1	: 6.500 F/km
T_2	: 6.000 F/km
T_3	: 3.500 F/km
- Béton bitumineux 10 cm	391.000 F/km
- 12 cm	469.000 F/km

On a en outre utilisé les clés de répartition suivantes :

- dans chaque classe de trafic : 40 % de routes sur base aux liants hydrauliques et 60 % sur base aux liants hydrocarbonés.

- le trafic fort est constitué de $1/3$ de T_0 et $2/3$ de T_1 .

- le trafic faible est constitué de $1/2$ de T_2 et $1/2$ de T_3 .

Par rapport à la moyenne tous climats, on a appliqué un coefficient multiplicateur de 1,10 pour les routes en climat rude et de 0,95 pour les routes en climat doux.

Ces calculs conduisent aux coûts moyens d'entretien préventif suivants :

trafic fort	climat rude	: 36.900 F/km
trafic fort	climat doux	: 31.800 F/km
trafic faible	climat rude	: 25.900 F/km
trafic faible	climat doux	: 22.400 F/km.

Ces coûts sont un peu supérieurs à ceux d'entretien curatif donnés au paragraphe précédent.

Mais ces coûts ne sont pas directement comparables car :

- les niveaux de service après les deux types d'entretien sont bien différents

- l'entretien curatif n'agit qu'en surface, l'entretien préventif a une certaine action sur la structure de la route.

- les coûts d'entretien curatif sont issus de coûts constatés et les, coûts d'entretien préventif de coûts théoriques (on notera cependant que, pour l'instant, les séquences théoriques sont assez bien respectées).

- les coûts d'entretien curatif correspondent à de petites opérations chaque année alors que l'entretien préventif correspond à de grosses opérations, espacées et dont les premières importantes sont assez éloignées dans le temps.

- Ce dernier facteur, et le fait qu'on a pris en compte une augmentation au fil des ans des dépenses d'entretien curatif, expliquent que, bien que les coûts moyens d'entretien préventif qui viennent d'être mentionnés soient un peu supérieurs aux montants donnés pour l'entretien curatif, on trouve dans les calculs de bénéfice actualisé un chiffre pour l'entretien préventif au contraire sensiblement inférieur à celui de l'entretien curatif économisé après renforcement.

A.5.2.3 - Dans le cas d'un renforcement progressif :

Le montant des dépenses d'entretien a été déterminé de la même façon qu'en A.5.2.2, en supprimant les enduits superficiels et tapis d'enrobés prévus durant les dix premières années de chaque séquence, du fait que la surface de la chaussée sera refaite grâce à l'application des couches successives de renforcement.

A.5.3 - Coût de reconstruction en cas de ruine :

Il a été pris égal à (toujours en francs 1981) :

- route trafic fort climat rude :.....	2 050 000 F
- route trafic fort climat doux :.....	1 540 000 F
- route trafic faible climat rude :.....	1 400 000 F
- route trafic faible climat doux :.....	1 050 000 F

Pour la probabilité de ruine, on a fait les hypothèses suivantes (qu'on a prises indépendantes de la catégorie de route et invariables dans le temps) :

A.5.3.1 - Avant renforcement :

Le risque a été chiffré à 26 % en hiver rigoureux non exceptionnel et 60 % en hiver exceptionnel (cf. le § 1.5.4.2 du rapport), si la pose de barrières de dégel ne réduisait pas le risque de ruine.

En fonction de l'efficacité présumée des barrières de dégel, on a pris les 2/3 du niveau de risque précédent.

A.5.3.2 - Après renforcement en une seule phase :

Risque considéré comme nul.

A.5.3.3 - Après renforcement progressif :

Ce renforcement étant supposé en 3 phases (cf. ci-après), on a considéré que le niveau de risque diminue de $1/3$ du niveau initial après application de chaque couche de renforcement.

Dans le calcul du bénéfice actualisé, on a pris en compte le fait que, s'il y a reconstruction, elle se fait avec un dimensionnement tel que tout risque ultérieur est évité.

A.5.4 - Pertes économiques résultant des entraves à la circulation subies par les usagers avant renforcement :

A.5.4.1 - Effet des barrières de dégel :

La perte économique a été chiffrée en supposant d'après les résultats des enquêtes dont il a été rendu compte dans l'annexe A 2, qu'en moyenne :

- a) - 20 % des camions dépassant le tonnage autorisé sont déroutés par un itinéraire de déviation, représentant un allongement de 30 km,
- b) - 5 % des camions continuent à passer, mais en étant moins chargés (il en faut alors 3 fois plus pour transporter le même tonnage de marchandises),
- c) - 5 % des camions sont remplacés par des camions plus petits en nombre double,
- d) 20 % des transports donnent lieu à une autre conséquence (changement de mode, transports différés donnant lieu à accroissement des stocks, perturbation de la production ou/et préjudice commercial).

- e) 50 % des camions passent sur la route à la suite de dérogation ou d'infraction, ou à une date ultérieure sans que cela ait une conséquence sensible sur l'entreprise.

Malheureusement, les doutes émis sur les évaluations de pertes faites par les entreprises ne permettent guère de se baser sur les chiffres qu'elles ont donnés. On a donc été conduit à partir d'éléments objectifs connus (longueur moyenne d'une section sans barrière de dégel, répartition des poids lourds par classes de tonnage, coûts kilométriques), qui permettent de chiffrer le coût dans les cas (a), (b) et (c). La perte (d) ne peut malheureusement être calculée à partir de tels éléments objectifs ; faute de mieux, on a considéré que cette perte, étant certainement supérieur à qui se passe lorsqu'une réponse transport est possible, pouvait être évaluée par défaut comme la moyenne des valeurs obtenues dans les cas (a), (b), (c) ; la perte ainsi obtenue est vraisemblablement très sous-estimée. Dans le cas (e), la perte est évidemment nulle.

Le calcul a nécessité l'utilisation des données complémentaires ci-après :

- coût kilométrique des poids lourds utilisés normalement : 2,92 F (1)
- coût kilométrique des mêmes camions moins chargés pour respecter la barrière de dégel : 2,52 F (1)
- coût kilométrique des camions de remplacement plus petits : 2,37F (1)

(1) Il s'agit ici d'un coût marginal et hors taxes (hors TVA et hors TIPP notamment comme il est normal dans un calcul économique pour la collectivité. Ceci explique que ces valeurs soient nettement inférieures à celles données habituellement.

- le nombre de poids lourds dont le PTC (poids total en charge) est supérieur à 12 T, est 0,89 fois le chiffre des comptages routiers (poids lourds de plus de 5 T de charge utile),

- le nombre de poids lourds de PTC supérieur à 3,5 T est 1,22 fois celui des comptages routiers (les deux dernières hypothèses résultent de données sur la répartition par classes de tonnages du parc et des parcours moyens, et des histogrammes de pesées);

- la longueur de la section sous barrière est de 40 km. (c'est la moyenne nationale que l'on peut déduire du classement pour l'hiver courant : 3 694 km classés pour l'hiver 1980-1981, répartis en environ 90 sections).

On a supposé qu'un renforcement en une seule phase permet la suppression totale des barrières de dégel.

Dans le cas d'un renforcement progressif, on a estimé que, après 2 couches, les barrières de dégel seront totalement supprimées, et que, après une seule couche, elles ne seront plus posées (à 12 T), qu'en hiver rigoureux non exceptionnel et en hiver exceptionnel, avec les durées moyennes suivantes :

- en climat rude : 15 jours pour l'hiver rigoureux non exceptionnel,
20 jours pour l'hiver exceptionnel.

- en climat doux : 10 jours pour l'hiver rigoureux non exceptionnel,
15 jours pour l'hiver exceptionnel.

A.5.4.2 - Effet des graves dégradations ou coupures :

Leur probabilité est celle indiquée au § A.5.3. ci-dessus.

La gêne pour les usagers a été chiffrée comme étant la somme, pour la période s'écoulant jusqu'à la reconstruction (dont la longueur a été estimée à 60 jours) :

- des pertes de temps des usagers de véhicules légers, dont la vitesse moyenne passerait de 80 à 30 km/h ; la perte économique correspondante a été chiffrée sur la base de la valeur du temps retenue par la Direction des Routes, à savoir 32 F/h valeur 1980, soit 36 F/h valeur 1981 ;

- de l'augmentation du coût de fonctionnement des véhicules légers, qui a été supposé doubler (d'après les données sur les études de l'Ontario et celles relatives à des pays africains), soit une perte hors taxes de 0,45 F par véhicule et par kilomètre ;

- des pertes pour les poids lourds, chiffrées comme s'il s'agissait d'une barrière de dégel à 3,5 T.

A.5.5 - Variation des coûts d'exploitation des véhicules :

On est parti des données disponibles sur les études de l'Ontario.

On a utilisé non pas les chiffres absolus, qui concernent des véhicules assez différents de ceux utilisés en France, mais les variations relatives, à savoir :

- pour les véhicules légers, 20 % entre une route à coefficient RCI (uni) de 4 parcourue à 80 km/h, supposée représenter une route moyenne française avant renforcement, et une route à coefficient RCI de 8 (route excellente telle qu'une route renforcée), parcourue à la même vitesse.

- pour les poids lourds, 10 %, la vitesse supposée inchangée à 70 km/h.

Toutefois, pour les véhicules légers, on a ramené de 20 % à 10 % l'économie pour tenir compte de l'effet pervers de l'augmentation de vitesse constatée après renforcement.

Pour les poids lourds, on a, par prudence, ramené le gain à 5 %.

A.5.6 - Valeur du temps gagné du fait de l'augmentation de vitesse :

Il a été supposé que la vitesse moyenne des véhicules légers passerait de 80 à 90 km/h et que celle des poids lourds ne changerait pas.

Les effets pervers de l'augmentation de vitesse ayant été pris en compte, par ailleurs (réduction du gain de coût de fonctionnement des véhicules et annulation de l'amélioration de la sécurité à laquelle devrait conduire un meilleur uni), il a paru admissible de valoriser l'avantage recueilli en gain de temps (qui est une certaine façon d'investir le meilleur confort obtenu).

A.5.7 - Effets sur la consommation énergétique :

Ces effets se trouvent incorporés dans les éléments relatifs aux coûts (de fonctionnement des véhicules, du renforcement, de l'entretien). On n'a pas ici introduit de majoration des dépenses en produits pétroliers par un prix fictif (ce qui se fait parfois pour représenter le risque de rupture d'approvisionnement en pétrole et l'effet défavorable des importations de pétrole sur la balance des paiements).

A.5.8 - Coût du renforcement :

A.5.8.1 - Renforcement en une seule phase :

Les valeurs prises en compte ont été déduites des coûts moyens donnés par le SETRA pour les années 1978 à 1980. On a par ailleurs supposé qu'à l'avenir le taux de renforcement serait de 100 %. (1) On a ainsi obtenu les chiffres suivants par une route de 7 m de largeur (en francs 1981).

- route à trafic fort avec climat rude : 800 000 F/km
- route à trafic fort avec climat doux : 735 000 F/km
- route à trafic faible avec climat rude : 825 000 F/km
- route à trafic faible avec climat doux : 640 000 F/km.

A.5.8.2 - Renforcement progressif :

On s'est basé sur les séquences suivantes :

(1) Pour 95 % actuellement. C'est une façon de prendre en compte l'aggravation de l'état du réseau.

- trafics T0 et T1	:	12 cm	"	"	0
		10 cm	"	"	5
		8 cm	"	"	10
- trafic T2	:	10 cm	"	"	0
		8 cm	"	"	5
		6 cm	"	"	10
- trafic T3	:	8 cm	"	"	0
		6 cm	"	"	5
		6 cm	"	"	10

Par rapport au coût moyen pour tous climats, on a apporté un correctif pour les climats rude et doux proportionnel à ce qui a été trouvé pour le renforcement en une seule phase.

D'où, en valeur actualisée, les coûts suivants (pour les routes à trafic faible, on a pris la moyenne des valeurs relatives à T2 et T3):

- route à trafic fort avec climat rude :..... 900 000 F/km
- route à trafic fort avec climat doux :..... 850 000 F/km
- route à trafic faible avec climat rude :..... 850 000 F/km
- route à trafic faible avec climat doux :..... 650 000 F/km

ANNEXE A 6Consommation énergétique résultant du renforcement et
de l'entretien ultérieur

Les tableaux ci-après, établis par un Groupe de travail SETRA - Laboratoire central des ponts et chaussées, donnent la consommation énergétique résultant du renforcement et de l'entretien préventif qui suit le renforcement.

Les deux premiers tableaux donnent la consommation énergétique lors des travaux de renforcement, le troisième la même consommation augmentée de celle de l'entretien ultérieur.

Pour avoir l'effet total du renforcement, il faudrait prendre les chiffres du dernier tableau et en retrancher la consommation de l'entretien curatif effectué en l'absence du renforcement ; mais aucune donnée n'est disponible pour ce dernier ; avec les errements actuels qui font que l'entretien curatif est réduit, on obtiendrait des chiffres un peu inférieurs seulement à ceux du tableau 3.

"L'entretien péréqué" correspond à une consommation énergétique calculée avec un taux d'actualisation de 9 %, par analogie avec ce qui est fait dans les calculs de rentabilité économique.

Les chiffres non entre parenthèses correspondent à la consommation énergétique totale y compris bitume. Les chiffres entre parenthèses représentent la part bitume.

La classe de chaussée correspond à l'importance du renforcement (qui, à trafic donné, est fonction du climat et de l'état de la chaussée).

EQUIVALENT ENERGETIQUE DES STRUCTURES DE CHAUSSEES UTILISEES EN RENFORCEMENT

(en t/m² de chaussée à 2 voies)

(épaisseur de la couche de roulement de

COUCHE DE PASE EN GRAVE BITUMEE (l'ancienne chaussée 5 < C₁ < 10 cm)

CLASSE CHAUSSEE	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
T ₀		2050 (1510)	2300 (1700)	2570 (1890)		
T ₁		1780 (1350)	2050 (1510) ou 1780 (1350)	2300 (1700)		2570 (1890)
T ₂			1220 (960)	1810 (1330) ou 1780 (1350)	2060 (1510)	2320 (1700)
T ₃				1280 (960)	1220 (870)	1810 (1327)

COUCHE DE BASE EN GRAVE LATTIER

CLASSE CHAUSSEE	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
T ₀		2.060	(1380)	2030 (1380)		
T ₁			1320	(800)	1350 (800)	
T ₂				1090	(620)	
T ₃					1060 (620)	

REMARQUE : Les nombres entre parenthèses représentent la part bitume dans le contenu énergétique.

COSTES ENERGETIQUES SUR 25 ANS DES STRUCTURES DE CHAUSSEE UTILISEES EN RENFORCEMENT

(en th/ml de chaussée à 2 voies)

TYPE DE RENFORCEMENT	T ₀		T ₁		T ₂		T ₃		
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	
GRAVE BITUME *	Chaussée C ₃	4470	2880	3700	2300	2910	1720	/	/
		(3420)	(2160)	(2880)	(1760)	(2260)	(1310)		
GRAVE LAITIER	Chaussée C ₅	4740	3150	4220	2820	3690	2500	2375	1530
		(3610)	(2350)	(3230)	(2110)	(2810)	(1860)	(1795)	(1120)
GRAVE LAITIER	Chaussée C ₃	4235	2700	3240	1890	/	/	/	/
		(3105)	(1890)	(2335)	(1250)				
GRAVE LAITIER	Chaussée C ₅	4255	2720	3270	1920	2720	1570	2225	1370
		(3105)	(1890)	(2335)	(1250)	(1920)	(1000)	(1555)	(870)

* Les épaisseurs de la couche de roulement de l'ancienne chaussée : $5 < \lambda_2 < 10$ cm.

(1) Construction + entretien cumulé.

(2) Construction + entretien périodique.

ANNEXE A 7LES PRATIQUES ETRANGERES EN MATIERE DE REMISE EN ETAT
ET ENTRETIEN DES CHAUSSEES

La comparaison entre les pratiques étrangères et françaises en matière de remise en état et d'entretien des chaussées appelle les deux observations préalables suivantes :

- En premier lieu, se pose un problème terminologique. Le renforcement (ou remise en état ou reconstruction) comprend, selon la plupart des pays étrangers et des groupes de travail internationaux, l'ensemble des opérations d'entretien qui améliorent peu ou prou les caractéristiques structurelles des chaussées (c'est le cas en général des couches de plus de 3 ou 4 cm d'épaisseur).
- En second lieu, et c'est là le point essentiel, il est exceptionnel qu'un réseau routier important se trouve globalement très sous-dimensionné par suite d'un sous-entretien chronique grave (comme c'était le cas en France à la fin des années 1960) et que le problème de remise en état se pose donc avec d'autant d'acuité.

Dans tous les pays sur lesquels nous possédons des éléments, la remise en état des qualités structurelles des chaussées est pourtant considérée comme une étape indispensable et prioritaire (et peut se traduire par des épaisseurs de matériaux importantes), mais, dans le cadre d'un réseau à peu près "normalement" entretenu, la distribution des chaussées en fonction des indices de qualité est à peu près homogène et, par conséquent, les solutions d'entretien et de remise en état possibles (pour l'ensemble d'un réseau) apparaissent comme un ensemble continu.

Tous les pays s'accordent cependant pour considérer que, suite à un programme d'investissements ambitieux, l'entretien n'a pas reçu toute l'attention qu'il exige, et que les crédits alloués pour le maintien des infrastructures existantes sont insuffisants, car une augmentation sensible serait rentable pour la collectivité.

Partout, les recherches, études et expérimentations s'orientent autour de trois points:

- Mise en place d'un système de surveillance systématique des chaussées et définition d'indicateurs d'état quantifiés.
- Mise au point de normes d'intervention en fonction du niveau de service que l'on souhaite offrir à l'utilisateur.
- Elaboration d'un système de choix des priorités et de gestion rationnelle des crédits d'entretien et de remise en état.

Des progrès notables ont été accomplis dans ces différents domaines, comme en témoignent les colloques, ainsi que les études et articles publiés. On trouvera ci-dessous une représentation des principales études menées à l'étranger et des conclusions essentielles des spécialistes de l'entretien et de la remise en état des chaussées :

A.7.1 - Groupes de recherches internationaux :

A.7.1.1 - Groupe de recherche C₁₀ de l'OCDE : "Renforcements des chaussées"
Paris, septembre 1976.

Le rapport expose en détail les motifs de renforcement des chaussées et en particulier:

- Faire face à une demande de trafic accrue ou inattendue.
- Répondre à un accroissement des charges autorisées à l'essieu.
- Eliminer les restrictions de circulation (par exemple les barrières de dégel).
- Rattraper un retard d'entretien.

Le kilométrage de routes auscultées en vue du renforcement et le kilométrage d'études de renforcement effectuées sont des indicateurs significatifs de l'ampleur du problème. Le tableau ci-dessous donne ces valeurs pour les pays membres du groupe.

Pays	Danemark	Espagne	France	Japon	Norvège	Royaume- Uni	Suède
Longueur auscultée (km)	2500	15000	50000	85000	15000	4800	100
Année	73/75	65/74	65/68	72/74	65	73/75	70/75
Longueur d'études renforce- ment (km)	100 par an	9000	12000	600 à 700 par an	300 par an	1000	P.M.

Il est également intéressant de citer les conclusions du groupe de travail:

"Le montant des dépenses de renforcement varie beaucoup d'un pays à l'autre ... Ces écarts reflètent dans une certaine mesure le fait que les définitions ... sont assez différentes d'un pays à l'autre. Il est probable que les niveaux de coûts différents reflètent également des normes de conception différentes. Les pays où les hivers sont rigoureux dépensent évidemment des sommes plus importantes pour une même longueur de réseau et une même charge de circulation".

La réponse au questionnaire de l'O.C.D.E. fournie par les Etats-Unis par MM. R.A. McCOMB et T.F. McMAHON mérite d'être citée.

Elle indique que beaucoup de routes arrivent au terme de leur durée de vie et exigent une remise en état pour faire face à l'augmentation du trafic, des charges lourdes, et aux exigences du public relatives à un niveau de service plus élevé et des normes de sécurité plus sévères.

Bien qu'il soit impossible d'estimer avec une bonne précision le kilométrage de renforcements nécessaire (les responsabilités en matière d'entretien routier sont réparties, aux Etats-Unis, entre des milliers de services), les prévisions indiquent que pour satisfaire les besoins routiers à l'horizon 1990, il faudrait dépenser 600 milliards de dollars, dont la plus grande partie pour l'amélioration des infrastructures existantes. Sur 2 millions de km de routes, 450000 nécessiteront un rechargement et 225000 un renforcement ou reconstruction.

A.7.1.2 - Commission XIV ATR-VSS-FG (1) : Problèmes de l'entretien des routes, septembre 1979 :

Cette commission, prolongée par une série d'interventions au Congrès de la VSS à Engelberg en 1980, a permis de confronter les expériences de la République Fédérale d'Allemagne, de la Suisse, et de la France.

(1) ATR = Association technique de la route - VSS et FG : organismes homologues en Suisse et en RFA.

Le Guide Technique de l'entretien Routier utilisé en France est actuellement en cours d'expérimentation en Suisse et en R.F.A. et, malgré des conceptions de politique routière différentes, ces deux pays considèrent qu'il est parfaitement applicable chez eux, moyennant quelques adaptations. Des groupes de travail spécifiques ont été constitués dans chacun des pays concernés? En R.F.A., notamment, un groupe est chargé d'examiner la question de la gestion et de l'entretien des routes, y compris la remise en état et la reconstruction, des points de vue technique (comportement dans le temps) et économique.

A.7.2 - Congrès et conférences internationaux :

A.7.2.1 - XXI^e Congrès Mondial de la Route, Vienne, Septembre 1979 :

Le rapport du Comité Technique de la viabilité hivernale et de l'entretien, et surtout celui de la conférence-débat sur l'entretien soulignent l'intérêt général pour des normes d'entretien, aussi bien normes d'intervention (traduisant le niveau de service) que normes de réalisation (traduisant le degré de productivité).

Il existe différents systèmes qui permettent, à partir de l'évaluation de l'état de la chaussée, de déterminer le traitement approprié et de dégager des ordres de priorité, (en fonction des normes retenues) et on peut en particulier citer les systèmes d'optimisation CHART et MARCH utilisés au Royaume-Uni.

Les conclusions et recommandations de la conférence-débat méritent d'être citées:

"Un réseau en mauvais état exige des interventions d'urgence fréquentes et peu efficaces. Tôt ou tard, une politique de redressement, difficile et onéreuse, s'impose... A terme, une diminution prolongée des crédits d'entretien coûte donc en définitive plus cher que l'économie immédiate que l'on croit réaliser".

A.7.2.2 - Conférence pan-africaine sur l'entretien et la remise en état des routes, Accra, novembre 1977 :

Deux rapports particulièrement importants sont à signaler dans le cadre de cette conférence organisée par la Commission Economique pour l'Afrique, en coopération avec les gouvernements de la France, du Royaume-Uni et de la République Fédérale d'Allemagne.

A.7.2.2.1 - "Evaluation de la priorité économique de l'entretien routier",
C.G. HARRAL et P.E. FOSSBERG, Banque Mondiale.

Le rapport présente l'élaboration et l'utilisation d'un modèle de normes d'entretien et de dimensionnement des chaussées (HDM). Le modèle permet de prévoir les coûts engendrés par différentes options d'entretien et de dimensionnement, et notamment différentes stratégies progressives, pour un projet routier donné, ou pour un ensemble de liaisons, ou pour tout un réseau routier. Il traite des relations entre les coûts de construction et d'entretien, et les coûts des usagers. Trois études de cas sont présentées: (1) Politique d'entretien des routes non revêtues; (2) Analyse économique de détermination de la date optimale de revêtement des chaussées non revêtues; (3) Analyse des politique d'entretien des routes revêtues. La conclusion est que des niveaux d'entretien généralement bien supérieurs à ceux que l'on constate dans la plupart des pays africains seraient extrêmement rentables.

A.7.2.2.2 - "Considérations théoriques et pratiques qui influencent la programmation des remises en état de chaussées", J.J. GANDY et R.J. VIAPREE, Royaume-Uni.

Le rapport est issu de l'expérience acquise par ses auteurs dans divers pays africains. Il traite de la définition du concept de remise en état par rapport à l'entretien, d'une part, la reconstruction partielle de l'autre. On examine les coûts d'entretien et les coûts d'usage des véhicules dans le cadre de diverses stratégies de remise en état. Les problèmes suivants sont en particulier traités: processus de dégradation des chaussées; recueil des données nécessaires au choix du dimensionnement; choix du niveau de remise en état en fonction des matériaux disponibles; solution optimale dans le temps des investissements; documents contractuels.

A.7.2.3 - Conférence régionale IRF (1) de Nairobi, janvier 1980 :

Les principales conclusions de la conférence en ce qui concerne le thème dont nous traitons sont les suivantes :

- (1) International of road federation.

- Les pays africains doivent se soucier davantage de la surveillance et de l'entretien de leur réseau.
- Le problème de l'entretien a été largement évoqué dans plusieurs conférences, et de façon très forte par la Banque Mondiale. Il est admis qu'il faut consacrer en moyenne 2 à 3% du coût d'investissement à l'entretien annuel des routes.

A.7.2.4 - "Aspects of road maintenance", Symposium du Rijkswegenbouwlaboratorium, Delft, 1977 :

Ce symposium, consacré à la gestion et à la méthodologie de l'entretien routier, à la fois sous l'aspect économique, technique et administratif, a permis de confronter les points de vue de la Belgique, de la République Fédérale Allemande, du Royaume-Uni et de la France.

Les principaux éléments à retenir sont les suivants:

- En Belgique, le choix des tâches d'entretien (entretien préventif, renouvellement, renforcement) est fonction de l'indice de viabilité. Une Commission Ministérielle a été chargée de développer des méthodes rationnelles d'entretien (en particulier choix des priorités et définition de programmes).
- Au Royaume-Uni, le Comité MARSHALL avait en 1970 défini un système complet de normes provisoires d'entretien et de remise en état. Cependant, les crédits d'entretien ont été sensiblement réduits, par décision politique. D'où une vive inquiétude quant aux conséquences à terme, qui a conduit à mettre en place un plan d'observation sur des sections de routes pour examiner concrètement les impacts d'une réduction du niveau d'entretien.
- En République Fédérale d'Allemagne, les années 1950 ont connu une augmentation considérable du trafic et des problèmes généralisés de portance sont apparus sur le réseau autoroutier, pour la plus grande partie âgé de 20 ans. On a dû le renforcer par apport de couches épaisses (de 20 à 30 cm pour les autoroutes en béton). Les autres routes (fédérales, des Laender, des districts) ont aussi été renforcées dans un court laps de temps (avec des couches de 10 à 15 cm en moyenne, atteignant souvent 30 cm en rives), conformément aux prescriptions établies à cette fin en 1958.

C'est pourquoi, actuellement, le renforcement des chaussées n'est plus un problème en République Fédérale d'Allemagne. La capacité portante des chaussées étant suffisante, celles-ci peuvent être entretenues normalement (restauration des qualités superficielles) et c'est la politique suivie depuis le début des années 1970.

A.7.3 - Conférences et colloques nationaux :

Parmi les documents publiés, nous retiendrons particulièrement les rapports présentés lors de deux séminaires tenus aux Etats-Unis, à 12 ans d'intervalle, et qui permettent de mesurer l'ampleur des progrès accomplis en matière de gestion du système d'entretien des routes.

A.7.3.1 - "Maintenance Management" Highway Research Board Special Report 100, Washington D.C. 1968. (Séminaire tenu à l'université d'Etat de l'Ohio).

Le séminaire a traité des différents aspects de l'entretien routier dans bon nombre d'Etats américains: organisation et gestion, évaluation des chaussées, analyse coût-efficacité pour définir le niveau de service et les priorités, exécution, contrôle d'efficacité des réalisations, et recherches en matière d'entretien.

L'intervention du Directeur Fédéral des Routes (J.TURNER) est significative: il constate que de 1950 à 1967, les dépenses d'entretien ont augmenté de 67% contre 39% pour les dépenses d'investissement. Il signale qu'on a accordé moins d'attention à la gestion et à la recherche dans le domaine de l'entretien routier que dans celui de l'investissement, bien qu'on dépense en entretien des sommes qui approchent rapidement des dépenses de construction. Il affirme que la rentabilité des dépenses d'entretien est certainement plus grande que celle des dépenses d'investissement.

A.7.3.2 - "Maintaining the maintenance management system", Transportation Research Record 781, 1980 : (Séminaire tenu à Hilton Head, Caroline du Sud).

Deux conceptions différentes s'affrontaient jusqu'alors aux Etats-Unis en ce qui concerne la remise en état des chaussées: l'une consistant à régler les problèmes quand ils se présentent; l'autre visant à optimiser les ressources dans un cadre plus vaste: prévision du comportement des chaussées, et programmation de l'entretien et des renforcements dans le temps.

Le séminaire évoqué ici montre que cette deuxième approche l'a emporté pratiquement dans tous les Etats et des procédures systématiques de choix des niveaux de service, ainsi que des normes de qualité, ont été élaborées. Nombre de rapports insistent sur la programmation à terme des interventions en fonction des bénéfices et impacts économiques escomptés.

En 1975, pour 68000 km de routes inter-Etats, 500 millions de dollars ont été dépensés pour les renouvellements de couches de surface, les renforcements et les reconstructions, alors que les besoins étaient estimés à 2 milliards de dollars. Ce réseau a d'ailleurs subi une nette dégradation entre 1975 et 1980, le pourcentage de renforcements et de reconstructions nécessaires ayant triplé sur la période.

nota: D'après les renseignements en notre possession, le programme R-R-R de remises en état aurait atteint le montant de 1,75 milliards de dollars en 1980.

A.7.4 - Etudes et articles divers :

A.7.4.1 - "Ontario Pavement Analysis of Costs" (OPAC), RR 200 et RR 201, F. W. JUNG, R. KHER, W. A. PHANG, Ministry of Transportation and Communications, Ontario 1975:

Il s'agit sans doute du modèle d'optimisation le plus élaboré que l'on connaisse. Il est actuellement opérationnel et utilisé par différentes provinces du Canada. Il se compose de deux parties: d'une part un modèle de prévision à terme du comportement des chaussées, pour différentes conditions de site et d'environnement; issu des essais AASHO, le modèle a été adapté aux conditions de l'Ontario et il fournit la durée de vie prévisible, à chaque moment du temps, en fonction du dimensionnement initial de la chaussée et des interventions d'entretien qu'elle reçoit.

D'autre part, un système de calcul des coûts (investissement, entretien, renforcement, valeur résiduelle, gênes causées aux usagers, coût généralisé d'usage) débouche sur un modèle de choix de stratégies construction/ entretien optimales. A noter que si on tient compte de l'ensemble des coûts, c'est la structure qui a le coût d'investissement le plus élevé (parmi celles qui ont été étudiées) qui offre le bilan économique le plus favorable à long terme. De manière générale, le bilan économique global est d'autant plus favorable que les rechargements (7,5 cm) sont moins souvent nécessaires.

A.7.4.2 - "Maintenance costs : the road to ruin", Sutton Surrey, Royaume-Uni, 1980 :

En termes de dépenses pour la collectivité, le coût de fonctionnement des véhicules croît quand les routes se dégradent. Une étude empirique récente a montré que la réduction de l'usure et de l'entretien des véhicules sur une route bien entretenue peut abaisser le coût de fonctionnement jusqu'à 15% par rapport à une route à mauvais uni. Les calculs montrent que la rentabilité de l'entretien est très élevée et peut dépasser 100% par an. Bien que l'enquête nationale sur l'état des chaussées montre que les dégradations des routes britanniques ne s'aggravent pas, on peut penser que l'utilisation systématique d'enduits superficiels

à bon marché, de préférence aux rechargements, ne fait que masquer généralement l'état véritable de la structure. Une étude menée aux Etats-Unis sur les stratégies de rechargements, à partir de l'indice de viabilité effectif (P.S.I.) a conclu que le coût d'un renforcement par suite d'un entretien différé est supérieur de 60% à celui d'un rechargement périodique. L'auteur pense que le gouvernement devrait prendre davantage en considération les coûts des usagers pour prendre ses décisions en matière d'entretien.

A.7.4.3 - "the next five years - The future for road construction in Britain, TRRL (1), London, Royaume-Uni 1980 :

L'auteur examine les effets possibles des contraintes énergétiques et économiques sur la conception, la construction, et l'entretien des routes au Royaume-Uni. Le réseau autoroutier atteignant 2250 km, le programme de constructions massives arrive à sa fin, sauf en ce qui concerne les aménagements et reconstructions. L'accroissement des poids d'essieux a entraîné une agressivité plus grande des véhicules et donc une ruine prématurée des chaussées. Les chaussées neuves ou reconstruites devront bénéficier de normes plus élevées. Compte tenu des restrictions relatives aux budgets d'entretien, il faudra concentrer les travaux sur les principaux itinéraires, malgré l'état de dégradation des routes secondaires.

L'augmentation du prix du bitume et les contraintes économiques favorisent le développement de techniques d'entretien comme le recyclage des matériaux, et la mise en oeuvre de programmes d'entretien planifiés.

A.7.4.4 - "Establish criteria for rehabilitation of California pavements"
B. D. MURRAY, Sacramento, 1979:

On a évalué, à l'aide des données recueillies sur l'état des chaussées, les durées de vie des divers types de traitement: enduits superficiels, bétons bitumineux en couche mince, et rechargements de structure. Les routes examinées dans l'étude ont été traitées entre 1965 et 1975. La durée d'usage des couches de béton bitumineux a en général été établie à partir du faïençage et celle des chaussées en béton de ciment à partir de la fissuration.

(1) Homologue britannique du laboratoire central des ponts et chaussées.

A.7.4.5 - "Resurfacing, Restoration, and Rehabilitation of interstate highways ; criteria and logic used to determine needs and estimates of costs", H. F. SOUTHGATE, D. C. NEWBERRY, J. R. DEEN, J. H. HAVENS, Kentucky Department of Transportation, Lexington 1977 :

Ce rapport rassemble les données et corrélations utilisées par les services routiers du Kentucky pour estimer les coûts (sous diverses contraintes) de renouvellement des couches de surface, de renforcement et de reconstruction. Les données recueillies portent sur l'examen d'une série de marchés de construction de routes inter-Etats, sur l'uni des revêtements, sur le trafic, sur la classification des routes, sur l'agressivité des différentes configurations de véhicules. Des corrélations sont présentées en ce qui concerne l'indice de viabilité, la durée de vie théorique en fatigue, la valeur résiduelle, ainsi qu'entre l'indice de viabilité et l'uni des revêtements. L'épaisseur nécessaire des couches a été déterminée pour les chaussées souples et pour les chaussées rigides.

A.7.4.6 - "Kentucky's pavement management system", J. H. HAVENS, E. B. DRAKE, Kentucky Department of Transportation, Lexington, 1977 :

Le rapport traite du concept de "gestion des chaussées" et présente une méthode de détermination des priorités pour les rechargements, et de calcul de l'épaisseur des rechargements, ainsi que de l'ordonnancement dans le temps. Il traite des procédures de retour des données "terrain" de manière automatique. L'état des chaussées devrait être analysé séparément pour éviter des ajustements incorrects du modèle de dimensionnement dûs à des causes de rupture autres que la fatigue. Un rechargement, qu'il vise à accroître la durée de vie ou à améliorer les qualités superficielles, apporte à la structure une épaisseur supplémentaire et modifie donc sa durée de vie. Le calcul des coûts des R-R-R (resurfacing, restoration, rehabilitation) à la fin de 1976 a fourni l'occasion de mettre en place un système de gestion des routes, par ailleurs nécessaire. La méthodologie de calcul des coûts est présentée en fonction du dimensionnement des rechargements et de la programmation des réfections de couches de surface sur le réseau inter-Etat du Kentucky. Certains paramètres peuvent altérer la performance des chaussées et perturber un système de gestion fondé uniquement sur l'adaptation structurelle des chaussées. De tels paramètres comme la fissuration en dallots, l'utilisation de granulats artificiels, l'adhérence, l'uni, l'orniérage, sont examinés dans le rapport.

RENFORCEMENTS COORDONNES ET OPERATIONS F.S.I.R.

REPARTITION DES FINANCEMENTS

NATURE DES OPERATIONS	PRISE EN CHARGE "R.C."	PRISE EN CHARGE "F.S.I.R."
I - Renforcement sans calibrage d'emprise, ni rectification	Totalité de la dépense	Néant
II - Renforcement avec calibrage d'emprise, rectifications et aménagements (opérations FSIR indissociables et programmées simultanément)	a) Travaux à l'intérieur de la bande de chaussée de 7 m Couches de roulement et de base sur les rectifications. b) Travaux sur chaussée existante Couche de base et de roulement sur élargissement et rectifications.	- Acquisitions foncières - Tous travaux à l'extérieur de la bande de chaussée de 7 m - Acquisitions foncières - Tous travaux non pris en charge par l'Etat
III - Opérations F.S.I.R. dissociables et non programmées simultanément (ex. déviation ou voie P.E.)	Néant	- Acquisitions foncières - Tous travaux

ANNEXE A 9TRAVAUX D'ACCOMPAGNEMENT DES RENFORCEMENTS
COORDONNESFiches techniques sur quelques opérations :

- A9.1 - RN 74 Château-Salins - Morhange
MOSELLE
- A9.2 - RN 21 Mirande - limite Hautes Pyrénées
GERS
- A9.3 - RN 26 Limite Eure - Argentan
ORNE
- A9.4 - RN 145 La Croisière - Bellac
HAUTE VIENNE
- A9.5 - RN 116 Ille sur Têt - Mont-Louis
PYRENEES ORIENTALES
(cas d'une route en site difficile)

A9.1 - Renforcement et aménagement de la RN 74 dans le département de la MOSELLE Section Château-Salins - Morhange :

1 - Définition et données sur l'opération

* Caractéristiques de la section :

- longueur 20,8 km.
- Trafic T2 2300 veh/jour dont 17 % de P.L.

* Consistance de l'opération

- calibrage et renforcement de la chaussée à 6,50 m entre bandes blanches
- calibrage de la plateforme à 10,50 m, soit 6,50 m + 2 accôttements de 2 m
- amélioration du tracé (rectification de virages et de profil en long).

2 - Détail des travaux d'accompagnement

Rectifications des virages ou écrêttements de dos d'âne sur 4,2 km de façon à obtenir des caractéristiques géométriques compatibles avec une vitesse de référence de 60 km/h (rayons minimaux absolus de 120 m en plan, et 1 600 m en angle saillant).

A9.2 - Renforcement et aménagement de la RN 21 dans le département du GERS
 Section Mirande - limite des Hautes pyrénées.

1 - Définition et données sur l'opération

* Caractéristiques de la section :

longueur 26,3 km

trafic T2 4500 veh/jour dont 12 % de PL

* Consistance de l'opération

- calibrage et renforcement de la chaussée à 7 m entre bandes blanches,

- calibrage de la plateforme à 11 m, soit 7 m + 2 accotements de 2 m

- amélioration du tracé.

2 - Détail des travaux d'accompagnement

Rectifications de virages et écartements sur 3,2 km

3 - Coût de l'opération 82

Renforcements coordonnés	19,8 MF
Calibrage de la plateforme	2,15 MF
Travaux d'accompagnement (coût marginal c.a.d. non compris couches de base et roulement)	4,85 MF
	<hr/>
	26,8 MF

soit 1 019 000 F/km

dont 80 000 Fr./km pour calibrage
 180 000 Fr./km pour travaux
 d'accompagnement

A9.3 - Renforcement de la RN 26 dans l'OrneDéfinition et données de l'opération

-- caractéristiques de la section

- longueur 64,4 km
- trafic 5 800 veh/j en 1977 dont 20 % PL (soit T1)
à l'Est de l'Aigle
- 4 000 véh/j en 1977 dont 11 % PL (soit T2 faible)
à l'Ouest de l'Aigle

— consistance de l'opération

- calibrage et renforcement de la chaussée à 6,50 m entre bandes blanches
à l'Ouest de l'Aigle, à 7 m à l'Est.
- pas de rectifications de tracé ou de profil.

A9. 4 - Renforcement et aménagement de la RN 145 dans la Haute-Vienne
(La Croisière - Bellac) :

1 - Définition et données sur l'opération

* caractéristiques de la section

- longueur 30 km
- trafic 2 700 véh/j en 1975 dont 11 % de PL (trafic T2)

* consistance de l'opération

Cette section faisant partie de l'axe Centre-Europe-Atlantique a été aménagée à ce titre dans le cadre d'un cofinancement Etat-Région à l'occasion du renforcement de la chaussée.

- calibrage et renforcement de la chaussée à 7 m entre bandes de rive
- calibrage de la plate-forme à 11 m soit 7 m + 2 accotements de 2 m
- amélioration du tracé (rectifications de virages et de profil en long).

2 - Détail des travaux d'accompagnement

Les rectifications de virages et de profil en long au nombre de 10 ont concerné 8,5 km de route, l'objectif étant d'assurer des conditions de circulation homogènes sur l'ensemble de la section en choisissant une vitesse de référence de 80 km/h.

Le coût des travaux correspondant ressort à 16,1 MF.

Une solution ramenant la vitesse de référence à 60 km/h avait été examinée. Elle conduisait à supprimer complètement 3 des 10 opérations initialement prévues, et à réduire les caractéristiques projetées sur 5 autres. Le coût était ramené à 9,3 MF.

3 - Bilan financier (en F. 1979) :

Sur crédits "RC" :

- | | |
|--|---------|
| - renforcement et calibrage à 7 m de la chaussée (sur 21 km) | 12,7 MF |
| - Couche de base et de roulement sur rectifications (8,5 km) | 3,6 MF |

Sur crédits "Investissements"

- | | |
|---|---------|
| - calibrage de PF (1) au droit des sections uniquement renforcées | 2,4 MF |
| - sections rectifiées (couches de base et de roulement non comprises) | 12,5 MF |

31,2 MF

Soit un coût global au km de 1,04 MF la remise en état des chaussées ressortant à 0,54 MF/km et l'aménagement géométrique (calibrage PF et rectifications) à 0,50 MF/km.

Le coût du seul calibrage de PF ressort à 0,11 MF par km effectivement traité (2,4 MF/21 km), celui des rectifications à 1,89 MF $\left(\frac{12,5 + 3,6 \text{ MF}}{8,5 \text{ km}} \right)$

A9. 5 - Renforcement et aménagement de la RN 116 entre Ille-sur-Têt et Mont-Louis (Pyrénées-Orientales) :

I - Définition et données sur l'opération :

- Caractéristiques de la section :

- . Longueur 52 km.
- . Trafic moyen annuel : de 3 400 à 5 000 véhicules/jour selon les tronçons-pointes très marquées durant les week-ends et les vacances scolaires (route desservant des stations de montagne).
- . Pourcentage PL : de 5 à 9 % selon les tronçons.
- . Route située en site difficile, notamment de Villefranche-de-Conflent à Mont-Louis (25 km.) où la route se développe à flanc de montagne.
- . Route très sinueuse de Villefranche-de-Conflent à Mont-Louis, avec une chaussée de 5,5 m à 6 m de largeur.

- Consistance de l'opération :

- . Renforcement et calibrage de la chaussée à 6 m. ou 7 m. de largeur selon tronçons.
- . Consolidation ou reconstruction de murs de soutènement vétustes.
- . Rectifications de virages et autres aménagements ponctuels.
- . Remplacement de la plupart des dispositifs de sécurité (parapets souvent en mauvais état et dont la hauteur sera insuffisante après renforcement de la chaussée).
- . Equipement d'axe.
- . Réalisation d'un créneau à 3 voies et prolongement d'un créneau à 4 voies.

II - Commentaires :

2.1. D'autres options moins ou plus ambitieuses ont été étudiées également. Elles diffèrent principalement par le nombre de rectifications de virages et aménagements ponctuels et celui des créneaux de dépassement, ainsi que par la largeur de calibrage dans certains tronçons (mais, quelle que soit l'option, il

n'a pas été envisagé de sortir de la plateforme actuelle, de largeur courante 7,5 m, dans la section la plus difficile, ce qui oblige à y limiter la largeur de chaussée à 6 m.).

Suivant les opérations, le montant de la dépense varie de 1,2 à 1,9 M Fr./km.

2.2. La protection contre les chutes de pierres n'a pas été incluse. Elle a été considérée comme tout-à-fait dissociable des renforcements coordonnés et son examen a donc été prévu dans un autre cadre.

III - Coût de l'opération (en millions de francs valeur mai 1978) :

Nature des travaux	Coût global	Coût au kilomètre
Renforcement de la chaussée et travaux annexes	24,1	0,485
Calibrage de la plateforme	3,8	0,075
Equipement d'axe	7,7	0,155
Réfection des murs de soutènement	16,7	0,335
Opérations d'aménagement ponctuelles	6,5	0,130
"Opérations d'investissement"	4,7	0,095
TOTAL	63,5	1,275

A N N E X E A 10

BUDGET SOUHAITABLE POUR L'ENTRETIEN DU RESEAU NATIONAL

Cette annexe a pour but de fixer des ordres de grandeur et de montrer l'évolution que devra subir le budget d'entretien dans les prochaines années, compte-tenu de l'achèvement du programme de renforcements coordonnés. On considèrera pour l'achèvement de ce programme les trois hypothèses de rythme retenu dans les autres parties de l'étude, c'est-à-dire l'achèvement en 6 ans, en 10 ans ou en 15 ans. Dans ce calcul on ne distinguera ni les structures de chaussées ni les types de trafic mais on utilisera des coûts moyens d'entretien. Cela est suffisant pour répondre aux objectifs fixés.

A.10.1 - Entretien curatif

Suivant le rythme choisi, le kilométrage du réseau non renforcé soumis à un entretien curatif ira en diminuant (il restera 8 200 km fin 82). Cependant la dégradation progressive de l'état du réseau non renforcé nous a poussé à retenir une augmentation du coût kilométrique de cet entretien curatif. En partant du niveau actuel de 22 000 F ⁽¹⁾ au kilomètre, on considère qu'une augmentation de 9 % par an (taux géométrique, équivalant sensiblement à un taux linéaire de 10 %) sera nécessaire jusqu'à atteindre le double de la valeur actuelle ; ensuite le prix de l'entretien est supposé stable.

Les trois rythmes retenus (notés respectivement hyp. 1 pour le rythme rapide, hyp. 2 pour le rythme intermédiaire et hyp. 3 pour le rythme lent, dans tous les tableaux suivants) laisseront les kilométrages suivants sur le budget entretien curatif.

(1) tous les prix sont donnés en francs constants 81 et TTC.

	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
Hyp.1	8200	6570	4930	3300	1670	830	0									
Hyp.2	8200	7170	6130	5100	4070	3030	2000	1500	1000	500	0					
Hyp.3	8200	7550	6900	6250	5600	4950	4300	3650	3000	2350	1700	1360	1020	680	340	0

Cela nécessitera les crédits suivants (en millions de francs)

	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
Hyp.1	180	160	130	95	50	30	0									
Hyp.2	180	170	160	145	125	100	75	60	45	20	0					
Hyp.3	180	180	180	180	175	170	160	145	130	105	75	60	45	30	15	0

A.10.2 - Entretien préventif.

Pour les routes inscrites au programme d'entretien préventif, on se basera sur le programme de renforcements coordonnés et de routes neuves réalisés depuis 1969 et on utilisera à partir de 1985 les trois hypothèses retenues, auxquelles on ajoutera un kilométrage moyen de 65 km de routes neuves par an quel que soit le rythme de renforcements. On obtient ainsi les kilométrages suivants :

	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82			
	750	750	1670	1420	1360	1860	2705	1260	1560	870	890	800	610	690			
	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Hyp.1	1695	1695	1695	1695	895	895	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Hyp.2	1095	1095	1095	1095	1095	1095	565	565	565	565	65	65	65	65	65	65	65
Hyp.3	715	715	715	715	715	715	715	715	715	715	395	395	395	395	395	65	65

On obtient la longueur à entretenir chaque année en multipliant cette matrice des longueurs par âge par la matrice des probabilités d'intervention. Dans cette note, on retiendra une probabilité d'intervention décrite par une loi normale d'écart-type 2 ans et de moyenne 8 ans pour la première intervention (16 ans pour la seconde,...), ce qui est conforme aux séquences théoriques d'entretien préventif proposées par le SETRA (on notera cependant qu'un premier bilan du comportement des structures a fait apparaître une moyenne de 7 ans pour la première intervention); par la suite on multiplie les longueurs obtenues par un coefficient constant (1,17 : constaté) pour obtenir des longueurs équivalentes de chaussées 7 m. et tenir compte du réseau non renforcé en bon état et inscrit à l'entretien préventif.

On obtient ainsi, suivant les trois rythmes, les longueurs équivalentes à entretenir suivantes (en kilomètres) :

	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Hyp.1	2070	2200	2280	2350	2440	2570	2770	3050	3370	3680	3900	3970	3910	3760	3630	3600	3700	3870
Hyp.2	2070	2200	2280	2350	2430	2550	2700	2890	3100	3300	3450	3560	3650	3680	3720	3770	3840	3880
Hyp.3	2070	2200	2280	2350	2430	2530	2650	2790	2920	3030	3110	3180	3260	3370	3480	3610	3720	3780

L'estimation du budget se fait ensuite en multipliant cette longueur par un coût moyen, calculé sur la base des séquences théoriques pour le trafic T 1, soit :

- 20 % de la longueur en enduit superficiel
- 40 % de la longueur en tapis mince
- 40 % de la longueur en tapis de 8 cm

Le trafic T 1 a été retenu, car il est, d'une part, un trafic moyen, d'autre part, la classe de trafic la plus répandue sur le réseau national.

On chiffre le coût des travaux en utilisant les prix unitaires suivants :

- Enduit superficiel : 9,30 F/m²
- Tapis mince : 234 F/T
- Tapis de 8 cm : 222 F/T

Le coût des travaux sur chaussées ainsi obtenu est ensuite majoré de 13 % pour tenir compte des travaux annexes et des études. On obtient alors les budgets suivants pour l'entretien préventif (en millions de francs).

	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Hyp.1	495	525	545	565	585	615	665	730	805	880	935	950	935	900	870	860	885	925
Hyp.2	495	525	545	565	580	610	645	690	745	790	825	855	870	880	890	905	920	930
Hyp.3	495	525	545	565	580	605	635	670	700	725	745	760	780	805	835	865	890	905

A.10.3 - Budget total entretien

On calcule enfin les budgets d'entretien en ajoutant le budget entretien préventif*(accotements...) que l'on considère constant et égal à la valeur actuelle 115 millions de francs.

* (préventif), le budget entretien curatif, et le budget entretien courant (accotements...)

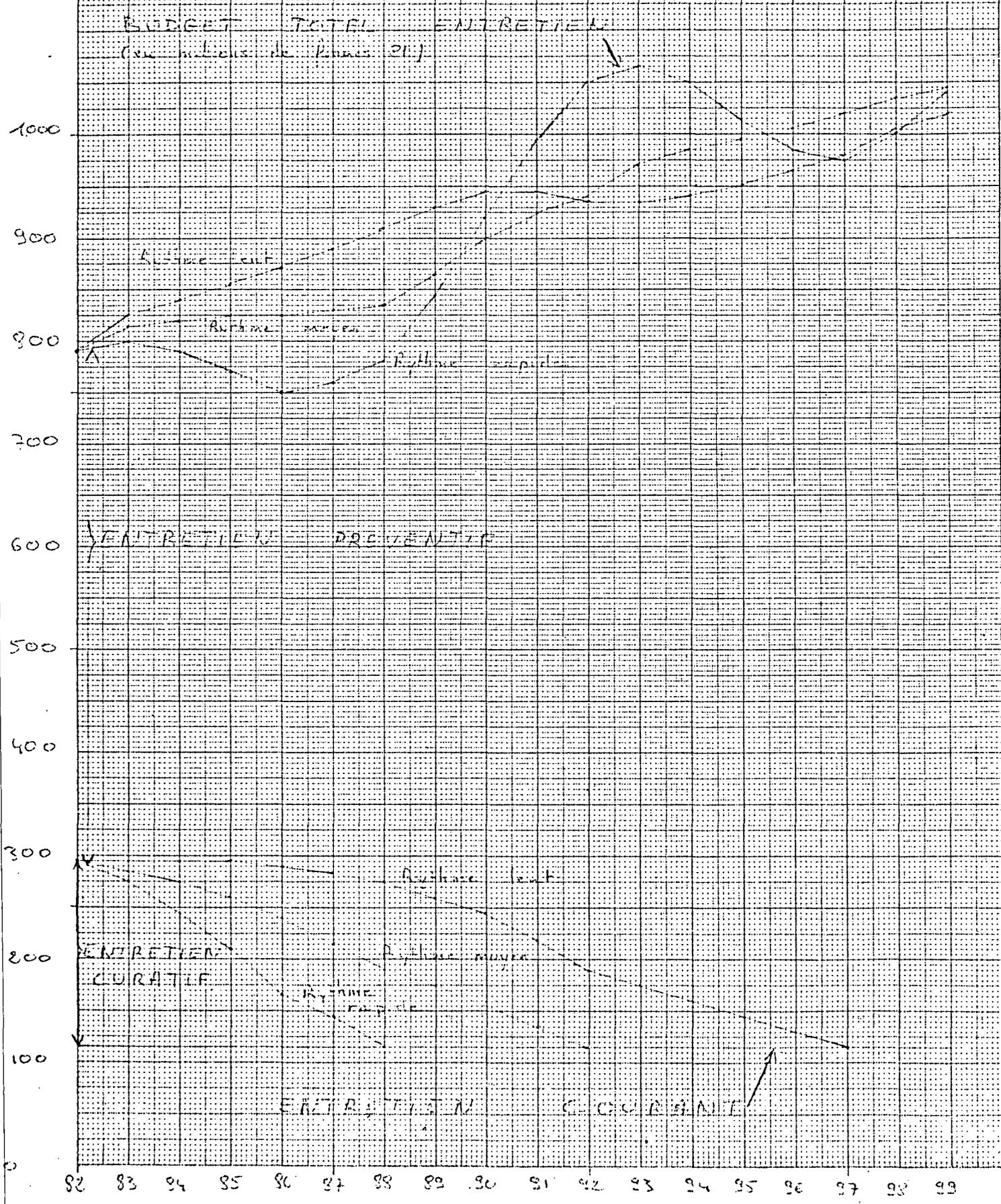
soit les totaux suivants (en millions de francs 81) :

	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Hyp.1	790	800	790	770	750	760	780	845	920	995	1050	1065	1050	1015	985	975	1000	1040
Hyp.2	790	815	820	825	825	830	835	865	900	925	940	970	985	995	1005	1020	1035	1045
Hyp.3	790	825	840	855	870	890	910	930	945	945	935	935	940	950	965	980	1005	1020

(on trouvera en annexe une représentation graphique de ce tableau).

A.10.4 - Conclusions

On remarque donc que seule l'hypothèse 1 permet une diminution temporaire du budget d'entretien dans de faibles proportions; mais elle sera suivie d'une forte augmentation. Les hypothèses 2 et 3 proposent une évolution progressive. Dans tous les cas, on observe que l'entretien préventif de l'ensemble du réseau nécessitera un budget plus important que le budget entretien actuel. Cela provient de ce que l'entretien actuel sur routes en attente de renforcement n'est qu'un entretien réduit, destiné à effectuer les réparations les plus nécessaires, sans assurer aux usagers un niveau de service satisfaisant.



Evolution du type de renforcement

Les graphiques donnent :

- d'une part les longueurs cumulées en fonction des différents types de renforcement
- d'autre part les % des différents types de renforcement pour chaque programme annuel

Pour ce dernier graphique on peut constater

- * l'importance des renforcements lourds lors des premières années du programme RC 69-70-71 que traduit la remise en état d'une première série d'itinéraires très importants et assez vulnérables à l'époque (RN 4 - 12 - 10 - 20).
- * une décroissance très nette des renforcements lourds entre les années 72-79 ; il s'agissait alors de traiter une deuxième génération d'itinéraires moins chargés.
- * une remontée très importante des renforcements lourds depuis 1979 qui traduit la dégradation du réseau face à un rythme de renforcement beaucoup trop lent.

EVOLUTION DES TYPES DE RENFORCEMENT

SETRA

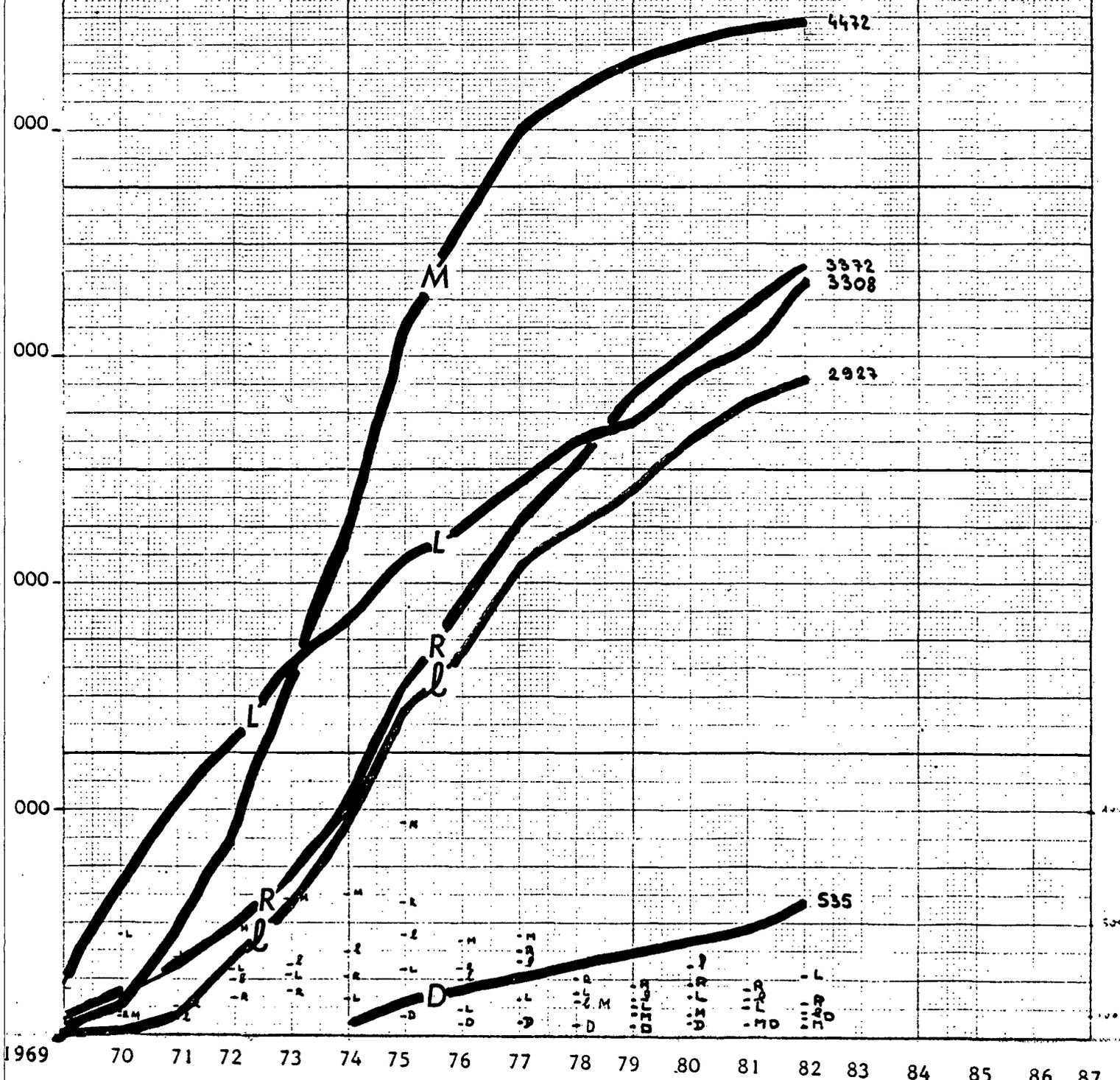
RENFORCEMENTS
COORDONNES

1

- les courbes représentent les longueurs cumulées des types de renforcements
- les points (marques L, M etc) représentent le kilométrage annuel des types de renforcements

- R rechargement
- L renforcement léger
- M " moyen
- L " lourd
- D décaissement

NB : de 69 à 73 il n'y a pas de distinction entre renforcement lourd et décaissement ils sont cumulés dans la même courbe L ou D est insignifiant.



LES PAPIERS CANSON - FRANCE

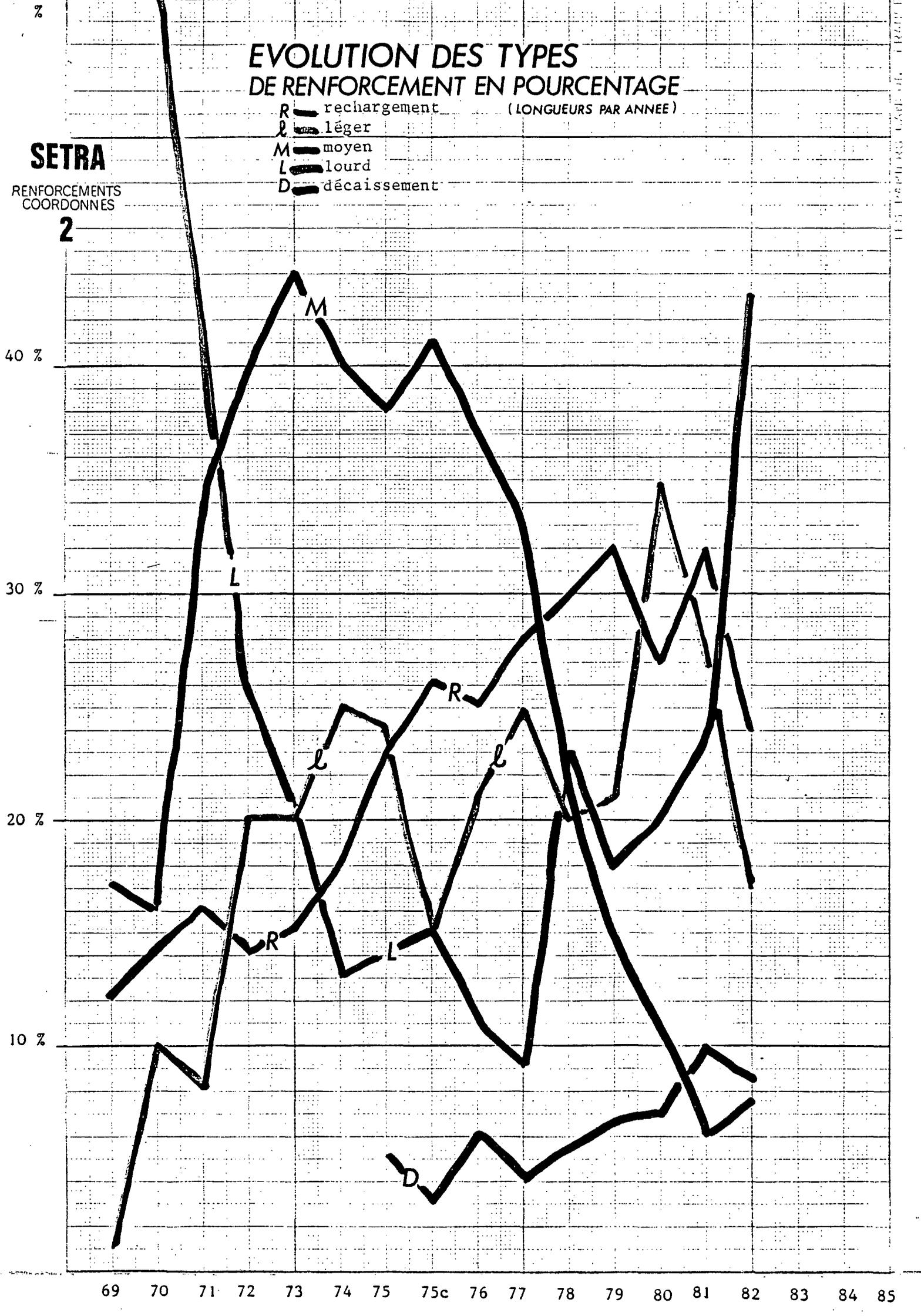
EVOLUTION DES TYPES DE RENFORCEMENT EN POURCENTAGE

- R — rechargement (LONGUEURS PAR ANNEE)
- l — léger
- M — moyen
- L — lourd
- D — décaissement

SETRA

RENFORCEMENTS COORDONNES

2



LES LONGUEURS PAR ANNEE

ANNEXE A 12
 MODE DE CALCUL DE L'AVANTAGE AFFERENT A LA SUPPRESSION
 DU RISQUE DE RECONSTRUCTION ENCOURE PAR L'ETAT

On considère que le renforcement en une seule phase permet de supprimer tout risque que l'Etat ait à reconstruire la chaussée à la suite d'un hiver rigoureux. Pour un renforcement progressif, on suppose que le risque demeure tant que toutes les couches de renforcement n'ont pas été mises en place, mais est réduit d'un tiers après exécution de chaque couche.

A.12.1 - Prise en compte dans le calcul du taux de rentabilité immédiate :

Le taux de rentabilité immédiate étant introduit pour savoir si l'investissement est réalisé à sa date optimale, nous procéderons à la comparaison des bénéfices actualisés obtenus si le renforcement est réalisé l'année 0 ou s'il l'est l'année 1.

A.12.1.1 - Cas du renforcement en une seule phase :

Si R est le coût du renforcement, A_1, \dots, A_n, \dots les avantages annuels qu'il procure durant les années 1, ..., n, ..., a le taux d'actualisation, le bénéfice actualisé obtenu si le renforcement est réalisé l'année 0 est :

$$B_0 = -R + \frac{A_1}{1+a} + \frac{A_2}{(1+a)^2} + \dots + \frac{A_n}{(1+a)^n} + \dots$$

Si on attend l'année 1, deux éventualités peuvent se produire :

- ou la chaussée n'a pas été ruinée entre temps (probabilité $1 - p$, si p est la probabilité de ruine), et on renforce l'année 1, en obtenant le bénéfice B_1 , qui actualisé à l'année 0 s'écrit :

$$B_1 = -\frac{R}{1+a} + \frac{A_2}{(1+a)^2} + \dots + \frac{A_n}{(1+a)^n} + \dots$$

- ou la chaussée a été ruinée entre temps et il faut la reconstruire l'année 1, pour un coût C ; cela procure ensuite les mêmes avantages que le renforcement, et on a alors le bénéfice B'_1 , qui actualisé à l'année 0 s'écrit :

$$B'_1 = - \frac{C}{1+a} + \frac{A_2}{(1+a)^2} + \dots + \frac{A_n}{(1+a)^n} + \dots$$

Il valait mieux renforcer l'année 0 si :

$$-B_0 > (1-p) \cdot B_1 + p \cdot B'_1$$

On trouve que cette condition équivaut à :

$$\frac{A_1 + p(C-R)}{R} > a$$

Par rapport à la formule classique $r > a$ où r est le taux de rentabilité immédiate A_1 , on voit qu'il faut ajouter à l'avantage A_1 le terme $p(C-R)$.

\overline{R}
Cette quantité a donc été introduite dans les calculs de taux de rentabilité immédiate effectués (on notera qu'il convient alors de ne pas intégrer dans A_1 l'avantage lié à la suppression du risque de reconstruction, sous peine d'un double compte).

Ceci s'est fait en calculant p à partir des hypothèses faites sur la probabilité de ruine pour chaque type d'hiver (cf. § A5.3.1.) :

- en cas d'hiver rigoureux non exceptionnel (probabilité 0,1, puisque cet hiver est supposé revenir en moyenne tous les 10 ans), on a pris un risque de ruine de $\frac{2}{3} \times 0,26$,

- en cas d'hiver exceptionnel (probabilité 0,05, cet hiver étant supposé survenir tous les 20 ans en moyenne), on a pris un risque de ruine de $\frac{2}{3} \times 0,60$

D'où :

$$p = 0,1 \times \frac{2}{3} \times 0,26 + 0,05 \times \frac{2}{3} \times 0,60 \approx 0,037$$

Quant à R et C, leurs valeurs figurent aux § A5.8.1 et A5.3. respectivement.

A.12.1.2 - Cas du renforcement progressif :

La condition pour que le renforcement soit préférable l'année 0 est toujours :

$$B_0 > (1-p) \cdot B_1 + p \cdot B'_1$$

Mais les termes qui dans B_0 , B_1 et B'_1 représentent les avantages relatifs aux années 2 à 11 ne sont plus identiques, du fait que l'avantage lié à la suppression du risque de reconstruction est moindre en cas de renforcement progressif, tant que ce dernier n'est pas achevé, qu'en cas de reconstruction (où tout risque de nouvelle ruine est supposé nul) ; si on désigne par A'_i cet avantage pour l'année i en cas de renforcement en une seule phase ou de reconstruction, l'avantage pour le renforcement progressif n'est que $\frac{1}{3} A'_i$ tant qu'une seule couche de renforcement a été mise en place, puis $\frac{2}{3} A'_i$ lorsqu'il y a deux couches sur trois.

Or A'_i est égal à $p (1-p)^{i-1} \cdot C$, car la probabilité de ruine chaque hiver est égale au produit de p par la probabilité que la chaussée initiale ait pu être conservée, donc n'ait pas dû être reconstruite antérieurement, cette dernière probabilité étant $(1-p)^{i-1}$.

Cela permet de faire le calcul de la quantité qu'il faut prendre comme taux de rentabilité immédiate. On doit tenir compte de ce que, si le renforcement progressif n'est démarré que l'année 1 (bénéfice B_1), les 2ème et 3ème couches sont aussi décalées d'un an.

A.12.2 - Prise en compte dans le calcul du bénéfice actualisé :

A.12.2.1 - Cas du renforcement en une seule phase :

On a vu ci-avant que l'avantage l'année i est $p (1-p)^{i-1} \cdot C$.

La partie du bénéfice actualisé correspondant à l'avantage considéré est donc :

$$\frac{C \cdot p}{1+a} + \frac{C \cdot p(1-p)}{(1+a)^2} + \dots + \frac{C \cdot p(1-p)^{i-1}}{(1+a)^i} + \dots$$

Cette quantité est égale à : $\frac{C \cdot p}{a+p}$

soit 0,29 C puisque $p = 0,037$ et $a = 0,09$

A.12.2.2 - Cas du renforcement progressif :

Il faut déduire de la quantité calculée comme indiqué en A.12.2.1 la somme actualisée des risques de reconstruction restant encourus tant que les trois couches de renforcement n'ont pas été mises en place. Cette somme actualisée se calcule par addition de termes $\frac{C \cdot p' (1-p')^{i-1}}{(1+a)^i}$,

pour $1 \leq i \leq 5$ et $\frac{C \cdot p'' (1-p'')^{i-6} (1-p')^5}{(1+a)^i}$ pour $6 \leq i \leq 10$,

p' étant la probabilité de ruine lorsqu'il n'y a qu'une couche en place
($p' = \frac{2}{3} p = 0,025$)

et p'' étant la probabilité de ruine lorsqu'il y a deux couches en place
($p'' = \frac{1}{3} p = 0,012$)

Tous calculs faits, on trouve 0,17 C.

<u>TABLE DES MATIERES</u>	Pages
<u>LETTRE AU MINISTRE DES TRANSPORTS</u>	1
<u>LETTRE AU MINISTRE DE L'ECONOMIE ET DES FINANCES</u>	3
<u>NOTE INTRODUCTIVE</u>	5
<u>PREAMBULE</u>	23
<u>CHAPITRE I - BILAN-PHYSICO FINANCIER DES RENFORCEMENTS COORDONNES</u> <u>DEPUIS L'ORIGINE</u>	29
<u>I.1 - Le lancement des renforcements coordonnés</u>	29
I.1.1 - Les dégâts de l'hiver 1962-1963	29
I.1.2 - Le rapport de 1964 de l'Inspection des Finances	30
I.1.3 - Les opérations préliminaires au lancement de la politique de renforcements coordonnés	31
<u>I.2 - Consistance de la politique des renforcements coordonnés</u>	32
I.2.1 - Les objectifs des renforcements coordonnés	32
I.2.2 - Description de l'opération de renforcement	33
I.2.3 - La programmation des renforcements coordonnés	34
I.2.4 - L'entretien préventif des routes renforcées	34
<u>I.3 - Bilan global de l'exécution des renforcements coordonnés</u>	35
<u>I.4 - Analyse du coût des renforcements coordonnés</u>	40
<u>I.5 - Caractéristiques du réseau restant à renforcer</u>	40
I.5.1 - Longueur de ce réseau	40
I.5.2 - Caractéristiques du réseau à renforcer autres que sa longueur et son état	41

I.5.3 - Les routes nationales en site difficile	43
I.5.4 - L'état du réseau à renforcer	44
<u>CHAPITRE II - LES EFFETS DES RENFORCEMENTS COORDONNES DEPUIS L'ORIGINE</u>	47
<u>II.1 - Effets sur le budget de l'Etat</u>	48
II.1.1 - Incidence sur le coût d'entretien des chaussées	48
II.1.2 - Suppression du risque de reconstruction de certaines routes	53
<u>II.2 - Effets pour les usagers</u>	54
II.2.1 - Suppression des risques d'entrave à la circulation	54
II.2.2 - Variation des coûts de fonctionnement des véhicules	58
II.2.3 - Incidence sur la sécurité	60
II.2.4 - Incidence sur le confort	63
II.2.5 - Influence sur les temps de parcours	63
II.2.6 - Gêne causée aux usagers par les travaux	64
<u>II.3 - Effets divers</u>	64
II.3.1 - Effet sur l'emploi et plus généralement sur l'activité économique de l'argent investi dans les travaux de renforcement	64
II.3.2 - Effet sur la consommation énergétique	65
II.3.3 - Effets sur l'aménagement du territoire	66
II.3.4 - Incitation à l'amélioration des techniques routières	67
II.3.5 - Incitation à une politique rationnelle renforcement-entretien des réseaux locaux	68
<u>CHAPITRE III - CHOIX DE LA STRATEGIE DE RENFORCEMENT ET D'ENTRETIEN ET RYTHME A DONNER AU PROGRAMME DE RENFORCEMENTS</u>	70
<u>III.1 - Présentation des stratégies envisageables pour la remise en état et l'entretien des chaussées</u>	70

III.1.1 - Stratégie 1 : Emploi partiels et réparations localisées	70
III.1.2 - Stratégie 2 : Renforcement en une seule phase et entretien préventif	71
III.1.3 - Stratégie 3 : Rechargement progressif et entretien préventif	71
III.1.4 - Stratégie 4 : Renforcement de structure et entretien curatif	71
III.1.5 - Stratégie 5 : Rechargement progressif et entretien curatif	72
<u>III.2 - Principaux éléments de choix entre les diverses stratégies</u>	<u>72</u>
III.2.1 - Stratégie 1	72
III.2.2 - La comparaison des stratégies par le calcul économique	74
<u>III.3 - Principes devant guider le choix du rythme de renforcement</u>	<u>86</u>
III.3.1 - Considérations générales	86
III.3.2 - Comparaison de la rentabilité des renforcements avec celle d'autres investissements dans le secteur des transports	87
III.3.3 - Considérations particulières aux routes à trafic faible	94
<u>III.4 - Rythmes de renforcements envisagés</u>	<u>97</u>
<u>III.5 - Niveau d'entretien à assurer sur le réseau non encore renforcé</u>	<u>102</u>
<u>CHAPITRE IV - PROBLEMES CONNEXES</u>	<u>103</u>
<u>IV.1 - Le renforcement des traverses d'agglomération</u>	<u>104</u>
IV.1.1 - Spécificité du renforcement des traverses d'agglomération	104
IV.1.2 - Eléments chiffrés sur les traverses d'agglomération	105
IV.1.3 - Propositions	107

<u>IV.2</u> -	<u>- Liaison entre renforcement des chaussées et renforcement des ouvrages d'art</u>	109
IV.2.1	- Position du problème	109
IV.2.2	- Situation actuelle des ouvrages d'art du réseau routier national	110
IV.2.3	- Politique de la Direction des Routes en matière de renforcement d'ouvrages d'art	111
IV.2.4	- Propositions pour améliorer les relations entre renforcement des ouvrages d'art et renforcement des chaussées	112
<u>IV.3</u> -	<u>Consistance à donner aux travaux d'accompagnement réalisés lors du renforcement</u>	115
IV.3.1	- Nomenclature des travaux d'accompagnement	116
IV.3.2	- Les pratiques actuelles	117
IV.3.3	- Propositions	119
<u>CONCLUSION</u> -	<u>SYNTHESE DES PROPOSITIONS ET BESOINS EN CREDITS</u>	125
1	- Synthèse des propositions	125
2	- Besoins en crédits	126

<u>Annexe A1 : Analyse du coût des renforcements coordonnés</u>	A1
A1.1 - Coût kilométrique moyen d'une section de route renforcée	A1
A1.2 - Coût kilométrique moyen d'un itinéraire renforcé	A9
<u>Annexe A2 : Les enquêtes effectuées sur l'incidence économique des barrières de dégel</u>	A12
A2.1 - Nature des enquêtes - Nombre d'entreprises enquêtées	A12
A2.2 - Résultats des enquêtes	A13
<u>Annexe A3 : Les mesures de vitesses effectuées avant et après renforcement</u>	A16
A3.1 - Nature des mesures effectuées	A16
A3.2 - Résultats des mesures	A17
A3.3 - Commentaires	A17
<u>Annexe A4 : Consistance de la stratégie renforcement + entretien préventif mise en oeuvre sur le réseau routier national</u>	A19
<u>Annexe A5 : Hypothèses prises en compte dans le calcul économique</u>	A21
A5.1 - Catégories de routes considérées	A21
A5.2 - Coût d'entretien	A23
A5.3 - Coût de reconstruction en cas de ruine	A26
A5.4 - Pertes économiques résultant des entraves à la circulation subies par les usagers avant renforcement	A27
A5.5 - Variation des coûts d'exploitation des véhicules	A30
A5.6 - Valeur du temps gagné du fait de l'augmentation de vitesse	A31
A5.7 - Effets sur la consommation énergétique	A31
A5.8 - Coût du renforcement	A31

<u>Annexe A6</u> : <u>Consommation énergétique résultant du renforcement et de l'entretien ultérieur</u>	A33
<u>Annexe A7</u> : <u>Les pratiques étrangères en matière de remise en état et entretien des chaussées</u>	A36
A7.1 - Groupes de recherches internationaux	A37
A7.2 - Congrès et conférences et conférences internationaux	A39
A7.3 - Conférences et colloques nationaux	A42
A7.4 - Etudes et articles divers	A43
<u>Annexe A8</u> : <u>Renforcements coordonnés et opérations F.S.I.R.</u>	A46
<u>Annexe A9</u> : <u>Travaux d'accompagnement des renforcements coordonnés</u>	A47
A9.1 - Renforcement et aménagement de la RN 74 dans le département de la MOSELLE Section Château-Salins-Morhange	A48
A9.2 - Renforcement et aménagement de la RN 21 dans le département du GERS Section Mirande - limite des Hautes Pyrénées	A50
A9.3 - Renforcement de la RN 26 dans l'Orne	A51
A9.4 - Renforcement et aménagement de la RN 145 dans la Haute-Vienne (La Croisière-Bellac)	A52
A9.5 - Renforcement et aménagement de la RN 116 entre Ille-sur-Têt et Mont-Louis (Pyrénées-Orientales)	A53
<u>Annexe A10</u> : <u>Budget souhaitable pour l'entretien du réseau national</u>	A55
A10.1 - Entretien curatif	A55
A10.2 - Entretien préventif	A56
A10.3 - Budget total entretien	A57
A10.4 - Conclusions	A58

Annexe A11 : Evolution du type de renforcement A60

Annexe A12 : Mode de calcul de l'avantage afférent à la suppression
du risque de reconstruction encouru par l'Etat A63

A12.1 - Prise en compte dans le calcul du taux de rentabilité
immédiate A63

A12.2 - Prise en compte dans le calcul du bénéfice actualisé A65

